轮机工程手册

人民交通出版社

（下）

轮 机 工 程 手 册

下 册

《轮机工程手册》编委会

人 民 交 通 出 版 社

(京)新登字091号

内容提要

本手册分上、中、下三册，主要内容如下。

上册——绪论；第1卷轮机工程基础：理论基础、技术基础、管理基础；第2卷燃料、润滑油、涂料及水：石油的基本知识、燃料、船用润滑剂、涂料、船舶水处理；第3卷金属与非金属材料：金属材料、非金属材料。

中册——第4卷船舶动力机械：船舶柴油机、船舶锅炉、船舶汽轮机及其装置、船舶燃气轮机装置、核动力、船舶联合动力装置；第5卷船舶辅助机械：船用泵、空气压送机械、船用换热器、海水淡化装置、船舶制冷装置、碟式分离机、液压传动、操舵装置、锚机和绞缆机、船舶起重设备、船舶减摇和侧推装置。

下册——第6卷船舶动力装置：船舶柴油机动力装置与系统、轴系与传动设备、船舶机械与设备的振动噪声控制；第7卷船舶系统：通用附件、供水系统、船舶压载、油污水和舱底水系统、船舶生活污水和垃圾处理系统、船舶通风空气调节和加热系统、船舶消防系统、油船专用系统、散装运输危险化学品和液化气体船舶的专用系统；第8卷船舶电气：船舶电气元件、计算机基础、船舶电气系统、船舶电工材料、船舶电气检验与安全；第9卷机舱自动化：机舱自动化概论和规范、自动化仪表及控制器件、机舱自动控制系统、柴油机遥控操纵系统、集中监视系统。

轮机工程手册

Lunji Gongcheng Shouce

下　册

《轮机工程手册》编委会

人民交通出版社出版发行

（100013 北京和平里东街10号）

各地新华书店经销

北京四季青印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16　印张：197　插页：　字数：5043千

1994年5月　第1版

1994年5月　第1版　第1次印刷

印数：0001－3700册　定价：（上、中、下三册）：250.00　下册 200.00元

ISBN7-114-00361-7

U·00289

目　录

第 6 卷

船舶动力装置

主　　编　周轶尘

副 主 编　刘学范

主　　审　马瑞彬　徐　敏　蒋昌炎

执　　笔　刘元诚　刘学范　许运秀　任知先　余珩亭
　　　　　张乐天　金华建　周轶尘　周继良　杨绳祖
　　　　　顾宣炎　殷福荣　聂德耀　蒋淦清　蒋慰昌

审　　稿　朱伯骏　邱友鹤　沈嘉祺　周尧兴　张德鑫
　　　　　徐　敏　钱永年　崔存纲　蒋慰昌

特约编辑　蒋淦清

第1篇　船舶柴油机动力装置与机桨配合

第1章　船舶柴油机动力装置常用技术经济指标

动力装置的性能常用一些特定的指标来表示，即：技术指标、经济指标及性能指标。

1　技术指标

技术指标是标志整个动力装置或设备的技术性能和结构特征的重要参数，计有功率指标、重量指标和尺寸指标等。

1.1　功率指标

它表示船舶机器设备的作功能力。船舶动力装置的功率一般是按船舶的最大航速来确定的，随着船舶营运时间的延长，船体水线以下锈蚀或附生物增多，使船体阻力增加。为了保持船舶的航速，船舶动力装置的功率应当有贮备，要高于桨设计功率的5%～10%。

1.1.1　船舶有效功率 P_E[1][3]

指推进船舶航行所需的功率。如已知船舶的航行速度为 V_S(m/s)、运行阻力为R(N)，则有效功率：

$$P_E = 0.735 \cdot \frac{R \cdot V_S}{75 \times 9.8} = R \times V_S \times 10^{-3} \quad \text{kW}$$

如将 V_S 的量纲以 n mile/h 计，则

$$P_E = \frac{R \cdot V_S}{1943} \quad \text{kW}$$

式中的有效功率 P_E，可以从船模或实船静水试验中得出；阻力R，相当于以速度 V_S 拖动船模（或实船）时绳索上的拖曳力。

1.1.2　主机的供给功率

如果考虑了推进轴系的传动损失，主机的供给功率实际上就是指主机的额定功率

$$P_n = \frac{P_E}{\eta_p' \cdot \eta_c} = \frac{R \cdot V_S}{\eta_p' \cdot \eta_c} \times 10^{-3} \quad \text{kW}$$

式中：P_n ——主机的额定功率；

η_p' ——船后螺旋桨效率，取0.45～0.75；

η_c ——轴系传动效率，取0.94～0.98。

新船设计时，估算船舶的有效功率 P_E 可用“海军常数法”计算[2]：

$$P_E = \frac{D^{\frac{2}{3}} \cdot V_S^3}{C_B} \quad \text{kW}$$

式中：D ——排水量，t；

V_S ——航速，kn；

C_B ——海军常数，

$$C_B=\frac{D_0^{\frac{2}{3}}\cdot V_0^3}{P_{E0}}$$

其中：D_0、V_0、P_{E0}——为母型船的排水量、航速和有效功率。

1.1.3 相对功率

对应于船舶每吨排水量所需的主机额定功率。即：

$$P_a=\frac{P_n}{D}\qquad kW/t$$

或

$$P_a=\frac{D^{\frac{2}{3}}\cdot V_s^3}{C_2 D}=\frac{1}{C_2}\cdot\frac{V_s^3}{\sqrt[3]{D}}\qquad kW/t$$

式中： $C_2=\eta_p'\cdot\eta_c\cdot C_B$

相对功率 P_a 与船速 V_S 的三次方成正比，与排水量的立方根成反比。故高速船舶每吨排水量所需要的功率较大。

1.2 重量指标

通常是相对于主机功率或者船舶的排水量而言。即在一定的排水量下，为了保证船舶具有足够的载重量，要求动力装置的重量轻些为好。但对于排水量相同的船舶，由于彼此的航速不同，所需要的总动率也不同，从而动力装置的重量相差也很大。

装置的重量指标，常采用主机的单位重量 g_m、动力装置的单位重量 g_{zn}、主机的相对重量 α_m 和动力装置的相对重量 α_{zn}来表示。

1.2.1 主机的单位重量 g_m

指主机单位功率的重量，表示式为：

$$g_m=\frac{G_m}{P_n}\qquad kg/kW$$

式中：G_m ——主机重量，kg；

P_n ——主机额定功率，kW。

内河船舶及军用舰艇的 g_m 值较小。

1.2.2 动力装置的单位重量 g_{zn}

指主机单位功率所需动力装置的重量

$$g_{zn}=\frac{G_{zn}}{P_n}\qquad kg/kW$$

式中：G_{zn}——动力装置的总重量（包括主机、辅机、管路、轴系、电站及锅炉等），kg。

1.2.3 主机的相对重量 α_m

指主机重量 G_m 与船舶满载排水量 D 之比，

即：
$$\alpha_m=\frac{G_m}{D}\qquad kg/t$$

式中：D——船舶满载排水量，t。

1.2.4 动力装置的相对重量 α_{zn}

指动力装置重量 G_{zn} 与船舶满载排水量 D 之比，即：

$$\alpha_{zn}=\frac{G_{zn}}{D} \quad \text{kg/t}$$

表 6.1.1—1 列出了几艘船舶的重量指标。

表 6.1.1—1　　几艘船舶的重量指标

船　型	航速 kn	排水量 t	机　型	台数×功率 PS (kW)	主机转速 r/min	主机单位重量 kg/ps (kg/kW)	装置单位重量 kg/ps (kg/kW)	主机相对重量 kg/t	装置相对重量 kg/t	相对功率 kW/t
湖北浅水推船		50.3	6135cab	2×98 (2×72)	1500	16 (22)		64		2.86
1.2m 吃水 250PS 拖船	8.1	59	6160ZA13	1×250 (1×184)	1000	10.4 (14)		44.5		3.12
江蓉型	15	1,360	6KVD	2×1200 (2×883)	520	12.5 (17)		22		1.30
申汉线大班轮	16	3680	12VE300	2×2000 (2×1471)	275	17.5 (23.8)		19		0.80
申宁线客货船	14.4	3660	6ESDZ $\frac{43}{82}$	2×2000 (2×1471)	200	35.8 (48.6)		39		0.80
1300 人客货船	16.46	6188	5L35MCE	2×3400 (2×2500)	200	17 (23)		18.75		0.81
3000 吨沿海货船	12.5	4834	6ESDZ $\frac{43}{82}$	1×2000 (1×1471)	200	35.8 (43.6)	•	14.9		0.30
7000 吨干货船	13.5	10920	5RTA38	1×4650 (1×3420)	196	8.17 (11.11)		3.5		0.31
长征轮	18.1	7703	9ESDZ $\frac{43}{82}$	2×4500 (2×3310)	200	23.5 (31.96)		27.3		0.86
风字轮	16.5	20400	6ESD $\frac{76}{160}$	1×10000 (1×7355)	119					0.36
15000 吨经济干货船	14.45	20881	6RLA56	1×7590 (1×5582)	155	28.0 (38.1)		10.2		0.28
20000 吨散货船	14	25509	6RLB56	1×7680 (1×5648)	150	29.5 (40.2)		8.9		0.22
35000 吨散货船	14.5	48755	6RLB66	1×11100 (1×8164)	124	31.0 (42.2)		7.06		0.17
35000 吨经济干货船	14.2	50186	6RTA52	1×10860 (1×7988)	126	23.0 (31.3)		4.98		0.16
63000 吨油船	14.5	76179	6L6OMC	1×14198 (1×10443)	117	23.9 (32.5)		4.45		0.14

1.3 尺寸指标

动力装置的尺寸指标常用面积饱和度和容积饱和度来表示，以表征机舱的面积和容积的利用程度。

1.3.1 面积饱和度 K_s

指每平方米机舱面积所分配的主机功率，用公式表示为：

$$K_s=\frac{P_n}{S} \quad \text{kW/m}^2$$

式中：S——机舱所占的面积，m^2。

1.3.2 容积饱和度 K_v

指每立方米机舱容积所分配的主机功率，用公式表示为：

$$K_v = \frac{P_n}{V} \quad kW/m^3$$

式中：V——机舱所占的容积，m^3。

K_s 和 K_V 大，表示机舱内机械设备布置得紧凑，利用程度高。在保证动力装置正常工作及维修方便的条件下，应选取较大的 K_s 和 K_v 值。但不同类型的船舶，该指标是有差别的。表6.1.1—2为几艘船舶的 K_s 和 K_v 的数据。

表 6.1.1—2　　**几艘船舶的尺寸指标**

船　型	机舱长度 m	占全船长 %	机舱面积 m^2	机舱容积 m^3	每kW机舱长度 m	面积饱和度 PS/m^2 (kW/m^3)	容积饱和度 PS/m^3 (kW/m^3)	动力装置总重量 t	备　注
湖北浅水推船	5.5	25	29.7	73	0.031	8.1 (5.96)	3.3 (2.4)		
1.2m 吃水 250PS 拖船	7	29.6	36.6	89	0.038	6.65 (4.89)	2.7 (2)		
江蓉型	12.1	18.6	150.04	534.84	0.0068	16.13 (11.[illegible])	4.49 (3.3)	129.37	客货船
申汉线大班轮	17.8	17.1	292		0.0061	13.6 (10)			
申宁线客货船	15.75	14.9	240	1272	0.0054	15.8 (11.6)	3.1 (2.28)		机舱容积未计及机舱棚
1300 人客货船	17.5	16.2	300	3093	0.0035	22.6 (16.6)	2.19 (1.61)		
3000 吨沿海货船	17.95	18.0	113.6	1167	0.012	17.65 (13)	1.72 (1.26)		
7000 吨干货船	19.6	17.8	89.3	2452	0.0057	52.0 (38.2)	1.89 (1.39)		
长征轮									
风字轮	21.75	13.6	460	4370	0.003	21.7 (16)	2.3 (1.69)		
15000 吨经济干货船	20.3	14.5	160.4	2951.7	0.0036	47.3 (34.7)	2.57 (1.39)		
20000 吨散货船	24.96	16.2	249.6	3706.6	0.0044	30.76 (22.62)	2.07 (1.52)		
35000 吨散货船	24	12.9	297.4	6832	0.0029	37.32 (27.44)	1.62 (1.19)		
35000 吨经济干货船	24	12.9	276	6030	0.0030	39.34 (28.93)	1.80 (1.32)		
63000 吨油船	32.8	14.6	334	8994	0.0031	42.50 (31.25)	1.57 (1.16)		

2 经济指标

2.1 动力装置的总效率

主要由推进装置的热效率、柴油发电机组的热效率及燃油辅助锅炉的热效率所组成。对具有焚烧炉的船上尚须包括焚烧炉的热效率；对于具有废热利用设备的动力装置，尚应计及所回收的废热对动力装置总效率的影响。

1）推进装置的热效率 η_{Tz}

用推进装置所产生的有效功热当量和主机所消耗热之比来评价。其计算公式[4]为：

$$\eta_{Tz}=\frac{3600P_p}{G_{Tm}\times H_u}$$

式中： $P_p=P_n\times\eta_s$；

P_n—— 主机额定功率，kW；

η_s —— 轴系传动效率；

P_p—— 考虑轴系传动损失后所得的桨的接收功率，kW；

H_u—— 燃料的发热值，取 $H_u=4.18$kJ/kg；

G_{Tm}—— 主机每小时的耗油量，kg/h。

2） 柴油发电机组的热效率 η_{gc}

用柴油发电机组的电功率的热当量与其所消耗的热量之比来评价发电机热利用率及发电机效率的情况，表示为

$$\eta_{gc}=\frac{3600P_{gc}}{G_{Tg}\times H_u}$$

式中：P_{gc}—— 柴油发电机组运行时的额定功率，kW；

G_{Tg}—— 柴油发电机组每小时的耗油量，kg/h。

3） 燃油辅助锅炉效率 η_b

用燃油辅助锅炉有效利用的热量与该锅炉所消耗的热量之比来评价，可表示为：

$$\eta_b=\frac{H_{bs}}{G_{Tb}\times H_u}$$

式中：H_{bs} —— 锅炉有效利用的热量，kJ/h；

$$H_{bs}=G_{bs}(I_{bg}-I_{bw})\qquad \text{kJ/h};$$

G_{bs} —— 辅助锅炉蒸汽产量，kg/h；

I_{bg} —— 湿饱和蒸汽热焓，kJ/kg；

I_{bw} —— 锅炉给水的热焓，kJ/kg；

G_{Tb} —— 锅炉每小时的燃油耗量，kg/h。

2.2 柴油机的燃油消耗率 g_e

指在单位时间内柴油机额定功率所消耗的燃油量，即：

$$g_e=G_{Tm}/P_n\qquad \text{kg/kW}\cdot\text{h}。$$

式中：G_{Tm}—— 柴油机每小时燃油消耗量，kg/h。

燃油消耗率 g_e 常用来评定柴油机的经济性及计算船舶日耗油量的依据。

2.3 船舶主机日耗油量 G_{Dm}

指主机每 24h 的燃油消耗量，可用下式表示：

$$G_{D_m}=24\times10^{-3}P_{D_s}\cdot g_{es}\qquad 吨/天(t/d)$$

式中：G_{D_m}——主机日耗油量，t；

P_{D_s}——主机服务工况(Continuous Service Rating)下的常用功率，kW；

g_{e_s}——主机相应的燃油消耗率，kg/kW·h。

2.4 船舶日耗油量 G_D

指每 24h 全船主、辅机等所消耗的燃油总量，有时也称它为日耗油率(Daily fuel Consumpion)，可表示为：

$$G_D=G_{Dm}+G_{D_g}+G_{Db}\qquad t/d(吨/天)$$

式中：G_D——船舶日耗油量，t/d；

G_{D_g}——发电柴油机的日耗油量，t/d；

G_{Db}——燃油辅助锅炉的日耗油量，t/d。

2.5 每海里燃油消耗量 G_n

指船舶航行每海里所消耗的燃油总量，可表示为：

$$\begin{aligned}G_n&=G_T/V_s\\&=\frac{G_{Tm}+G_{T_g}+G_{Tb}+G_{Th}}{V_s}\times10^{-3}\qquad t/n\ mile\end{aligned}$$

式中：G_T——全船每小时燃油消耗量，t；

V_s——航速，kn；

G_n——每海里所消耗的燃油量，t/nmile；

G_{Tm}、G_{T_g}、G_{Tb}、G_{Th}——分别表示主机、发电柴油机、燃油辅助锅炉及厨房等每小时的燃油消耗量，kg/h。

2.6 运输船舶燃油消耗量国家标准[5]

中国于 1987 年制定了运输船舶燃油消耗量国家标准(GB7187.1～7187.3—87)，规定了海洋、长江及内河各类运输船舶燃油消耗量计算方法，其主要特点是：考虑了船速、水速、载量、运距及油品等因素对燃油消耗量的影响。

2.6.1 海洋运输船舶在考核期内燃油消耗量

海洋运输船舶在考核期内燃油消耗量的计算式为：

$$Q=Q_z+Q_f+Q_y$$

式中：Q——船舶在考核期① 的燃油消耗量(Check Time on Fuel Oil Consumption of Ship)，t；

Q_z——船舶主机燃油消耗量(它考虑了船舶每海里基本燃油消耗量，以及船舶的装载。船

① 考核期是指航运管理部门为考核营运船舶燃油消耗所规定的时间期限。

速、油品、航程等因素的影响),t;

Q_f——船舶辅机燃油消耗量(包括柴油发电机及燃油辅助锅炉在其航行和停泊时的燃油消耗量),t;

Q_y——船舶移泊燃油消耗量(包括主机及柴油发电机组),t。

2.6.2 长江运输船舶在考核期内燃油消耗量

长江运输船舶在考核期内燃油消耗量为:

$$Q=q_1t+q_2A+Q_0$$

式中:Q ——航次[①] (The Sequence of Voyage s)燃油消耗量,kg;

q_1——每小时基本耗油量[包括主机及柴油发电机组的油耗;考虑了船舶装载、船速(水速)等因素的影响],kg/h;

t ——航次标准航时,h;

q_2——单位周转量附加耗油量,kg/t·km;

A——航次实际完成的换算周转量(指船舶在各港际完成的实际周转量之和),t·km;

Q_0——辅助耗油量(包括停泊、暂泊及辅锅炉与生活炉灶等的燃油消耗量)。

每小时基本耗油量:

$$q_1=\alpha G_1+G_2$$

$$G_1=P_1g_{e1}$$

$$G_2=P_1g_{e2}$$

式中:q_1——每小时基本耗油量,kg/h;

α ——主机基本耗油系数(取值范围定为:客、客货船 α=1,其他运输船 0.5<α<1,具体数值由统计资料定);

G_1——主机每小时耗油量,kg/h;

G_2——辅机每小时耗油量,kg/h;

P_1——主机在常用工况下的轴功率,kW;

g_{e1}——主机在常用工况下的耗油率,kg/kW·h;

P_2——航行中辅机的轴功率,kW;

g_{e2}——航行中辅机的耗油率,kg/kW·h。

单位附加耗油量:

$$q_2=(1-\alpha)\cdot G_1\cdot t/A_0$$

式中:t ——航次标准航时,h;

A_0——航次常用换算周转量(取额定载量乘航距),t·km。

2.6.3 内河运输船舶在考核期内燃油消耗量

内河运输船舶在考核期内燃油消耗量为:

$$Q=K_1\cdot K_2q_1W_1+q_3W_1$$

式中:Q——船舶营运燃油消耗量,kg;

q_1——船舶空载基本燃油消耗量,kg/t·km;

K_1——水流速影响油耗的修正系数;

---

① 航次指营运船舶在终点港完车时起,至新终点港完车时止。

$$K_1=\frac{1}{1-(\frac{\mu}{V_1})^2}$$

式中：μ ——水的平均流速，km/h；

V_1——船舶空载航速，km/h；

K_2——船舶装载量修正系数：

$$K_2=1+\frac{q_2-q_1}{q_1}\cdot a$$

式中：q_2 ——船舶满载营运燃油单位消耗量，kg/t・km；

a ——实载率(为船舶额定换算周转量与船舶实载换算周转量之比值)；

W_1——船舶额定换算周转量，t・km；

q_3 ——船舶营运辅助燃油单位消耗量，kg/t・km；它包括主机非航行(移泊、编解队、港作)、辅机、锅炉、维修及厨房用油的总和，kg。

2.7 经济航速

经济航速是指船舶营运时能取得某种经济效果的航速。常用的经济航速有以下几种：节能航速、最低营运费用的航速、最大盈利的航速。

2.7.1 节能航速

节能航速是指每小时燃油消耗量最低时的静水航速，它常由主机按推进特性运行时能维持正常工作的最低转速所决定。营运船舶在实行减速航行时，主机所耗功率大大减小，其燃油消耗量将大幅度降低，但航速降低后，营运时间被延长，运输的周转量也少了。故当船舶须实行减速航行时，尚应联系企业的货源、运力及完成运输周转量的情况综合考虑后再决策。

2.7.2 最低营运费用的航速 V_e

船舶航行一天的费用，主要由其固定费(折旧费、修理费、船员工资、港口费、管理费、利息、税金以及船舶停泊期间的燃、润料费等)和船舶航行时的燃、润料费所构成。最低营运费的航速V_e，是指船舶每航行1海里上述固定费及航行费最低时的航速，可供船舶及其动力装置的性能评价及选型用。在能满足完成运输周转量的前提下，船舶按V_e航行，其成本费用最省，但它并未考虑停港时间及营运收入的影响，故不够全面。

2.7.3 最大盈利的航速 V_r

是指每天(或船舶在营运期间)能获得最大利润的航速。此航速的大小，往往与每海里(或公里)运费收入、停港天数及船舶每天付出的固定费有关。一般在净运费收入低、停港时间长，运距短，油价与油耗高的情况下，其盈利航速相对较小。

2.8 评价船舶动力装置设备选型及节能投资的经济标准

评价技术措施经济性的主要指标为投资回收期n_1，其计算式为：

$$n_1=\frac{\lg\frac{A}{A-ip}}{\lg(1+i)}$$

式中：P ——技术措施的投资额，它等于所用设备的成本、运费、安装费和税款等；

A ——技术措施增加的年收益，即每年节约的燃料费和设备维收保养费之差；

i ——贷款年息。

2.9 所需运费率 RFR[6]

它表示航运企业为获得一定的利润,使其运输船舶单位年产量所需的最低运费,此指标可用来对不同的船舶构成及设备选型进行评价,其值愈小则方案愈优。其介算公式为:

$$RFR=\frac{Y+P\cdot CRF}{Q}$$

式中: Y ——年营运费;

P ——船队造价;

Q ——年产量;

CRF ——投资回收因素,$CRF=\frac{i(1+i)^{n_1}}{(1+i)^{n_1}-1}$;

n_1 ——投资回收期(年);

i ——利息率%。

2.10 船舶经济指标计算示例

表 6.1.1—3 列示了几艘内河柴油机船舶经济指标计算实例。

表 6.1.1—3 几艘内河船舶经济指标计算实例

序号	项目 \ 动力装置 \ 省份	江苏	湖南	黑龙江	备注
		柴油机拖船船队	柴油机拖船船队	柴油机拖船船队	
1	船队构成	135PS 拖船+13×60t 驳船	270PS 拖船+6×120t 驳船	500PS 拖船+2×1000t 驳船	湖南、江苏船舶使用年限按 20 年、黑龙江按 25 年计算
2	船队造价(万元)	48.5	76	198.3	
3	船队年产量(千吨公里)	10524	15108	23940	
4	年营运费(万元) 其中燃料费(万元) (元/千吨公里)	21.78 3.037 2.88	25.8 5.63 3.73	26.25 7.219 3.02	
5	RFR(元/千吨公里)	28.66	29.18	15.62	
6	投资回收期(年)		5.0	9.2	贷款年利率按 6.48%计
7	热效率%	36.7	35.5	36.1	

表 6.1.1—4 为海船采用两种不同动力装置方案时某些经济指标计算方法示例。表中的计算结果虽然表明:烧煤蒸汽轮机动力装置的 RFR 值及年利润略优于柴油机动力装置。但是如果采用比表中所列油耗更低的柴油机,则情况就会变化。

表 6.1.1—4　　　　**海船采用不同动力装置方案经济指标算法示例**

序号	项目	单位	取数及计算方法	计算结果					
				柴油机船			烧煤汽轮机船		
1	载货吨位	吨	选取	35,000			35,000		
2	航程	海里	秦皇岛——黄埔线	1,440			1,440		
3	航速	节	选取	14			16		
4	年营运天数	天	选取	310			310		
5	每次停港时间	时	选取	30			30		
6	每航次日数	天	[②÷③+⑤]×2÷24	11.07			10		
7	年航次数	次	④÷⑥取整数	28			31		
8	年航行小时	时	⑦×②÷③×2	5760			5580		
9	主机功率	千瓦	选取	7353			11030		
10	辅机功率	千瓦	选取	441			441		
11	主机燃耗率	克/千瓦小时	选取	110(油)			292(标煤)		
12	辅机燃耗率	克/千瓦小时	选取	132(油)			132(油)		
13	辅锅炉耗油量	公斤/小时	选取	80(油)			80(油)		
14	燃料价格	元/吨	选取	460(油)			100(煤)		
15	航行燃料费	元	⑧×⑨×⑪×⑭×10^{-6} +⑧×⑩×⑫×⑭]×10^{-6} 或⑧×⑨×⑪×⑭×10^{-6}	4,260,557			3,348,000		
16	停港燃料费	元	⑤×⑦×2[⑩×⑫×⑭] ×10^{-6}	145,286			160,853		
17	年燃料费	元	⑮+⑯	4,405,843			3,508,853		
18	船舶造价 P	元	选取	30,000,000			37,500,000		
19	年检修费	元	⑱×4.2%	1,260,000			1,260,000		
20	年润料费	元	[⑰×8% 或⑰×5%	352,467			175,443		
21	船员人数	人	选取	45			47		
22	年工资费	元	㉑×3160×1.2	116,640			121,324		
23	年港口费	元	㉔×9.4%	743,568			823,236		
24	年营运成本	元	[⑰+⑲+⑳+㉒+㉓]×1.15	7,910,295			6,772,759		
25	每航次损失货运量	吨/次	选取				2,500		
26	年货运量 Q	吨	⑦×[①—㉕]	980,000			1,007,500		
27	投资回收因素 CRF		分别按 i=5%.10%及 15%计	0.0802	0.1175	0.16	0.0802	0.1175	0.16
28	R·F·R	元/吨	[⑱×㉗+㉔]÷㉖	10.52	11.67	12.97	9.71	11.10	12.68
29	运价	元/吨	按广州海运局现价	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
30	年利润	万元		1,125	1,012	885	1,238	1,098	939

3 性能指标

它主要包括可靠性、航速、机动性、续航力、生命力以及振动噪声特性，机舱自动化程度等。

3.1 可 靠 性

船舶动力装置的可靠性，常用在使用阶段的故障发生率及其因此而发生的停航时间来进行判断与考核。

现代船舶动力装置的设计与管理工作中，已含有可靠性计算的内容，用以预估装置及其设备的使用寿命及其在管理上所应采用的相应措施。

3.1.1 设备的可靠性

对于某一设备，其可靠性的表达式是：

$$R(t)=e^{-\lambda t}$$

$R(t)=1$ 表示在 t 时间内完全可靠。λ 是设备的失效率，它表示设备在单位工作时间内出现的失效事件次数，是根据实际使用时的失效数统计而得的，例如对某种泵进行调查：它经过 5000h 的正常使用后，100 台泵中有一台工作 500h 后失效；一台工作 1000h 后失效；一台工作 2000h 后失效，其余工作正常。100 台泵正常运转的总时数为 $1\times500+1\times1000+1\times2000+97\times5000=488500$h，其间只发生过三次失效，因此该泵经过 5000h 的工作失效率为：

$$\lambda=3/488500=6.14\times10^{-6}\text{次/h}$$

故一台泵工作 1000h 的可靠性为：

$$R(1000)=e^{-\lambda t}=e^{-6.14\times10^{-6}\times1000}=0.99388;$$

一台泵工作 5000h 的可靠性为：

$$R(5000)=e^{-6.14\times10^{-6}\times5000}=0.97698$$

3.1.2 装置系统的可靠性

动装整个系统的可靠性计算与其系统的结构型式有关。系统的基本结构形式可分为设备的串联和并联。其计算方法见表 6.1.1—5。

表 6.1.1—5　**系统可靠性的计算**

系统结构形式		可靠性 R	平均失效时间 t_s
串联	1 2 n; R R R; R_1 R_2 R_n	R^n $R_1\times R_2\times\cdots\cdots\times R_n$	$\frac{1}{n\lambda}$ $\frac{1}{(\lambda_1+\lambda_2+\cdots\cdots+\lambda_n)}$
并联	R R; R_1 R_2	$2R-R^2$ $R_1+R_2-R_1\times R_2$	$\frac{1}{\lambda}+\frac{1}{2\lambda}$ $\frac{1}{\lambda_1}+\frac{1}{\lambda_2}-\frac{1}{(\lambda_1+\lambda_2)}$
后备	R R; R_1 R_2	$R(1+\lambda t)$ $R_1+\frac{\lambda_1}{\lambda_2-\lambda_1}(R_1-R_2)$	$\frac{2}{\lambda}$ $\frac{1}{\lambda_1}+\frac{1}{\lambda_2}$

表中的 t_s 为平均失效时间，它是指一种设备发生失效事故的平均时间。对某一项单个设备来说，它是失效率的倒数，即 $t_s=\frac{1}{\lambda}$。例如上例中泵的失效率为 $\lambda=6.14\times10^{-6}$次/h。其平均

失效时间 $t_s=\frac{1}{\lambda}=488500/3=162833h$。对于具有多项设备的平均失效时间 t_s 的计算，参见表6.1.1—5中所列的计算公式。

这些计算，主要是用来解释和说明名词和定义。在实际设计与管理工作中，可靠性计算尚必须结合具体情况进行。设计者对所设计方案的工作可靠程度，虽已从理论上进行过计算与证明，但在船建成后其实际效果，还与管理人员的工作经验，维修制度及其执行情况，环境条件的变化等因素有关。

3.2 机 动 性

机动性是指船舶具有机动灵活运动的能力。为了实现这一要求，船舶动力装置必须具有可供船舶起航、加速、急停和倒车、转向及微速航行等性能。船舶的用途不同，对上述机动性的要求也有所不同。

3.2.1 起航

船舶从停泊状态到起航，需要一定时间才能完成。这段准备时间愈短，起航愈快。其时间的长短很大程度上取决于所采用主机的种类和性能，一般柴油机船的起航时间比汽轮机船短。大型柴油主机起动的准备时间决定于燃油、滑油、冷却、起动空气等辅助系统中准备时间最长的一个系统。中、小型柴油机往往是自带泵，辅助系统的准备时间短些。中、低速柴油机在准备起动时，其有关辅机及系统应处于工作状态，并应有一定准备时间用来给柴油机注油，盘车和暖机等，一般起动所需的时间约为2～10min。不同结构型式的主机，其起动时间虽有差异，但对一般民用运输船舶的整个运输计划影响不大。对消防船、救助船、港监巡逻艇，以及一些舰艇一般要求有较短的起航时间。

3.2.2 加速

船舶起航以后就进入加速阶段，船舶在慢速航行，为了提高航速，也要加速。船舶的加速时间与主机类型及推进器的型式有关，采用燃汽轮机和调距桨装置，其加速性要比采用柴油机作主机和定距桨装置为好。

3.2.3 急停和倒车

船在航行中，有时需要突然停止前进或实行后退，分别称其为“急停”或“倒车”。它们是依靠采用制动器使轴制动或使推进装置产生反向推力来实现的。

对于采用可反转式柴油机直接传动的定距桨推进装置，实行急停或倒车的过程是：首先停止柴油机的供油，使其停止功率输出，但由于船的惯性作用，船仍会向前继续滑行，这时螺旋桨被水冲击，反过来带动已经停止工作的主机曲轴，并与其同作正方向继续转动。随着船的滑行速度逐渐下降，螺旋桨的转速也相应下降，当其降至某一转速后，柴油机方可作反转 起动，并使桨发出反向推力；对于采用不可反转式柴油机定距桨推进装置，螺旋桨的反向转动是利用可反转齿轮箱来实现的。当其进行急停或倒车的操作时，可不必停止柴油机的工作，而是首先降低其转速，接着脱开正向离合器，使主机与螺旋桨脱离传动关系，再将反向离合器接上，迫使螺旋桨的转速下降至零，然后开始反向转动。

为缩短急停及反向时间，使直接传动的柴油机能及早作反向起动，或使反转离合器能及早接合，常在轴系上设置制动器。制动器可强使轴的转速在拖桨状态下迅速下降。制动器应与反向装置之间设有联锁装置。

一般来讲，从正车运转到倒车所需的时间为：

直接传动所需时间： 8～10s

间接传动所需时间： 3～8s

可调桨传动所需时间:5～10s

使用调距桨有利于急停与倒车，因为在急停时发动机不需停车，也无离合器的反向问题，而是用调整螺距的方式来产生反向推力，因此操作简便，并可以取得较大的反向推力，因而急停及倒车的效果较好。

3.2.4 转向

转向的方法及其适应性：

1)用舵操纵　是通常用来操船转向的一种方法。因舵的转向力矩决定于流过舵面的水流速度，船相对水的速度越低，舵的转向效果就越差。

2)双机双桨推进装置　通过调整两桨的速度（转速），使两桨所产生的推力不同，形成转向力矩，由于该力矩不受流速的影响，常用来弥补船在进、出港或低速航行时舵功能的不足。

3)主动舵　指在舵板后端上装设一小型电机驱动螺旋桨，它可随舵一同摆动，当主动舵摆至某一角度时开动电驱动的小螺旋桨，后者便会产生一个转向力矩。采用主动舵时即使船速为零，舵已失去转向作用，它仍有转向能力。

4)侧推器　用电机或小柴油机驱动的螺旋桨装置，常被横向装在某些不便离靠码头的大吨位船舶的船首，借侧推器产生的横向推力，使船首能作横向移动，再配合桨舵的作用，可使这类船舶较顺利、独立地离靠码头。

5)Z 型推进装置　采用了 Z 型传动轴系，其螺旋桨可绕垂直轴沿水平方向作 360°回转；特别是当采用两套推进装置时，尚可使两只螺旋桨的方向组合成许多不同的方案，可使船舶实现原地回转、急停、急转、快速进退、横向移动和微速航行等，由于还可使两只桨回转 180°同时朝前，故能发出较大的倒车推力（约正车推力的 85%～95%）。这种装置适于港作拖轮及操纵性要求高的船舶应用。

6)襟翼舵与倒车舵　前者由主舵与副舵组成。转舵时主、副舵的转 角不同，相当于增加其舵剖面的拱度，能产生更大的流体动力，从而改善船舶的操纵性能。倒车舵是指在螺旋桨前部所加装的舵及其传动装置，它可明显改善船队倒航时的操纵性：可以控制船队倒航航向，操纵船队下水不掉头在航道中停留，顺水离靠码头等；利用两螺旋桨的不同转向及正、倒车舵的同时配合使用，可使船队横移，进行编解队作业，或根据需要使船队原地回转。当推船搁浅时，主机开倒车，操纵倒车舵，可使推船自行脱浅等。经多年实践证明：上述舵装置及其控制方法在长江及某些水系分节驳顶推船队的应用获得了良好的效果。

3.2.5 微速航行

海洋考察船、海洋专业作业船、航标艇等常要求在极慢的航速下长时间活动（即要求微速航行），往往需要采用调距桨推进装置来实现，因为它可以不变主机转速的情况下通过改变桨的螺距取得任意的航速，直至为零。其次也可以采用 Z 型推进装置或主动舵来实现上述目的。但主动舵所能提供的推力往往较小。

3.3 续　航　力

船舶以设计航速航行耗尽其全部燃油储量所运行的距离叫做续航力，以海里计。可用它来决定船舶油舱的容量。续航力可用下式表达：

$$S=\frac{G_c \cdot V_s}{G_T}$$

式中：G_c——船舶燃油储量，t；

G_T——全船每小时燃油耗量，t/h；

V_s——设计航速，kn；

3.4 生命力

动力装置的两个主要任务是发出推力和提供电能。在某 种情况下，动力装置的部分设备会失去其工作能力（例如：主机、轴系或螺旋桨发生故障或意外情况）。当某种设备发生了损坏而其推 进力和电能仍能维持，没有全部丧失，就称这种动力装置具有生命力。能忍受的条件越恶劣，其生命力就越强。

对于双机双桨式推进装置，当其中一台主机或一个螺旋桨发生严重事故不能工作，而另外一台主机及其螺旋桨仍然可以正常工作，则推进力并没有完全丧失。从推进力上看，双机双桨推进装置在推进力上具有的生命力比单机单桨强。

3.5 振动和噪声的限制

参见本卷 6.3.1 和 6.3.2。

3.6 机舱自动化程度

为了减轻船上工作人员的劳动强度和减少其工作人员，应使船舶动力装置尽量实现自动化。近年来，新建船舶对船舶动力装置的自动化及远操纵均提出了明确的要求和内容。主要有：对中型以上船舶要求实现集控机舱（即要求主、辅机在集中控制室内进行集中监视和遥控）；主机实现驾驶台遥控；机舱内火警自动探测和灭火；辅机的应急自动切换和自动起动并车；发电机的调压和调频；机舱内各机器设备热工参数的自动调节和记录；运行故障的自动报警、记录和分析；主、辅机的应急自动安全保护；车钟的自动记录等。海船规范中还增加了关于“一定时间无人值班机舱的规定”。

参考文献

[1] 船舶名词术语编订组：船舶名词术语，国防工业出版社，1979 年 10 月

[2] 姜次平、邵世明：船舶阻力，上海交通大学出版社，1984 年 8 月

[3] 王国强、盛振邦：船舶推进，国防工业出版社，1985 年 12 月

[4] 西安交大：内燃机原理，中国农机出版社，1981 年 2 月

[5] 中华人民共和国国家标准：运输船舶燃油消耗量，1987 年发布

[6] 郭廷结、陈一昌：我国运输船舶动力发展方向研究资料汇编，交通部科技情报研究所，1984 年 6 月

[7] 朱树文：船舶动力装置原理与设计，国防工业出版社，1980 年 9 月

[8] 张乐天：民用船舶动力装置，人民交通出版社，1985 年 6 月

[9] 朱树文：船舶动力装置原理与设计，上海交大出版社，1985 年 6 月

第2章　柴油机动力装置的动力系统

为船舶动力装置中的主辅机服务并保障主辅机正常运转的管路系统称为动力系统。

动力系统按其任务的不同又可分为以下几种系统：

1)压缩空气系统；

2)冷却系统；

3)燃油系统；

4)滑油系统；

5)排气及废热利用系统。

1　起动系统

1.1　概　　述

船舶柴油机的起动方式可分为手摇起动、电动起动和压缩空气起动等三种方式。

手摇起动是利用人力手摇，使活塞运动而进行起动。通常，在25马力(1马力≐735.5W)以下四冲程或二冲程的小型柴油机，可采用手摇起动方式。

电动起动是利用电动机的力量带动曲柄连杆机构进行起动。在300马力以下的四冲程或二冲程的柴油机大部分采用电动起动方式。

压缩空气起动是利用压缩空气推动活塞运动而进行起动，起动扭矩和功率较大，广泛使用在中、大功率柴油机上，常用的最大起动压力为2.94MPa(30kgf/cm^2)。近来也有一些中、小功率柴油机利用气动马达的力量带动曲柄连杆机构进行起动。使用的空气压力为0.78MPa(8kgf/cm^2)。例如上海新中动力机厂生产的$\frac{\text{MAN}}{\text{B\&W}}$20/27系列柴油机，即采用这种起动方式(见图6.1.2—1)。

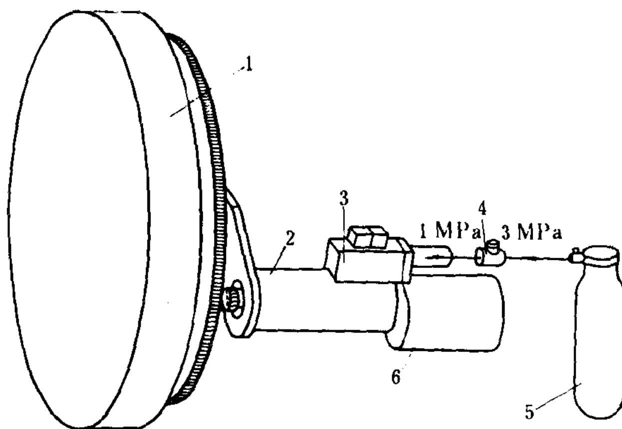


图6.1.2—1　气动马达起动简图

1—柴油机飞轮；2—空气起动马达；3—电动—气动阀；
4—减压阀；5—压缩空气瓶；6—消声器

压缩空气除了作为柴油机起动之外，在船舶上被广泛用于柴油机遥控、换向、离合器操纵，同时被用于压力柜充气、气笛、雾笛吹鸣，气动仪表和阀件的操纵，灭火剂的驱动喷射，海底门，滤器等的冲洗及杂用。

1.2 系统的主要设备和要求

压缩空气系统的功能是供给动力装置各用气设备以一定数量和质量的压缩空气。它由空气压缩机、空气瓶及管路附件（包括减压阀、滤器）等组成。

1.2.1 系统的主要设备

1）空气压缩机

空气压缩机是系统中主要设备之一，通常可分为低压、中压和高压空气压缩机，其型式又可分为单级、双级或多级。冷却方式有水冷和风冷两种，船舶上一般采用中压空气压缩机。

动力装置各种用气设备所需要的压缩空气压力范围见表 6.1.2—1。

表 6.1.2—1

名　　称	使用压力　MPa(kgf/cm²)
中、低速柴油机	1.177～2.942(12～30)
气动仪表、杂用	0.49　～0.981(5　～10)
气笛、雾笛	0.49　～0.981(5　～10)
海水、淡水压力柜	0.294～0.392(3　～4)
海底门吹洗等	0.294～0.392(3　～4)

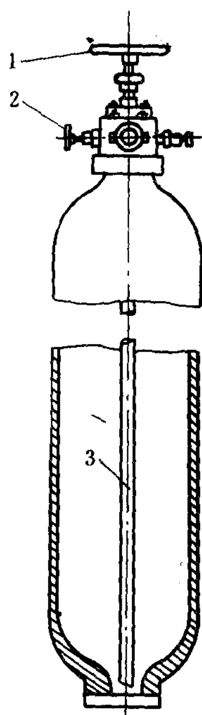


图 6.1.2—2　整锻式空气瓶
1—输出阀；2—放水阀；3—放水管

各种用气设备需要的压缩空气压力各不相同，为简化系统及设备，在选择空气压缩机时，往往以用气设备中所需要的最高压力作为依据，其它使用压力较低的用气设备则利用减压阀进行减压来满足。

2）空气瓶

空气瓶是用来储藏压缩空气，以供各用气设备耗用。通常，设有启动空气瓶、控制空气瓶、气笛空气瓶及杂用空气瓶等。

空气瓶的结构有整锻式和焊接式两种。整锻式适用较高的压力，容量小。全部附属设备均安置在瓶的头部，瓶 的本体上没有任何开口，通常是直立或斜放的。见图 6.1.2—2 所示。焊接式空气瓶是用钢板焊制而成，适用于中、低压力。大多是卧放的，不过受到机舱位置的限制，也有设计成立式的，如图 6.1.2—3 所示。在它的本体上装有充气阀、供气阀、放水阀、安全阀及压力表等，并且设有人孔门和人孔盖，便于检修。

1.2.2 系统的要求

1)采用压缩空气起动的柴油机,供起动用的空气压缩机至少需有两套,其中有一套是独立的(由柴油机以外的动力传动)。并且在1h内应充满所规定容量的空气瓶,该空气压缩机的总排量,应从0.69MPa($7kgf/cm^2$)开始计算。

2)作为主柴油机起动用的压缩空气瓶,在每一机舱内不应少于两个,瓶上最好装有压力自动控制设备,或者在管路上装置自动充气设备。

3)在空气压缩机充气给空气瓶的管路上,必须装有分离油水的部件,以防压缩机气缸油混入空气瓶内,产生油气后遇高温而爆炸。进入空气瓶的压缩空气极限温度不应超过60℃,否则应在空气压缩机出口加装冷却器。所有的压缩机、空气瓶、冷却器和减压阀后面的管路上都必须装置压力表和安全阀,安全阀的开启压力为工作压力的1.1倍。

4)对于可换向的主柴油机,与推进器直接联接传 动时,起动空气瓶的容量在不充气的条件下,供给主柴油机连续由冷机起动及倒转不应少于12次。对不需换向的主柴油机应满足从冷机状态下连续起动不少于6次。对辅柴油机、起动空气瓶容量应满足连续起动6次所需空气量。

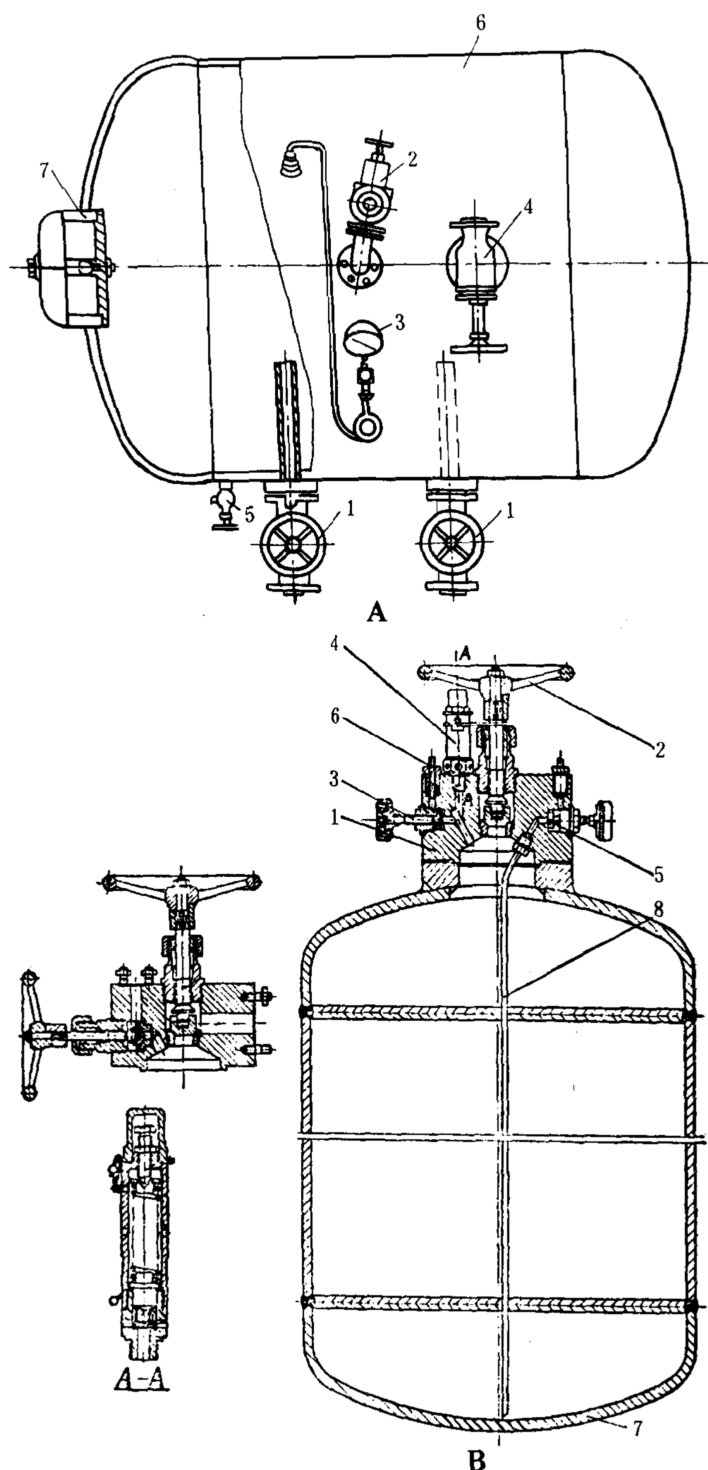


图6.1.2—3 焊接低压空气瓶

a)卧式;b)立式

1—出气阀;2—安全阀;3—压力表;4—充气阀;

5—泄水阀;6—空气瓶;7—人孔盖

5)船上装有两台以上的主柴油机时,空气瓶至主柴油机的起动空气管径必须保证至少在两台主柴油机同时起动之需要。管路上需装有放气阀,供柴油机起动后卸去管内压力用,压缩机至空气瓶的充气管路上也应装置放气阀。

6)在起动空气管路上还应装有止回装置及放泄残水装置,以免启动时水分大量冲入气缸。

空气瓶在船上若沿船的纵向安装时，瓶底必须向尾下钭，角度不小于 10°，以利于泄水。如必须水平安装时，则应在瓶的两端装置泄水设备。

7)除供主柴油机和辅柴油机起动用的 2.94MPa(30kgf/cm²)压缩空气之外，其它用途小于该压力的压缩空气，通常是通过减压阀装置减压后得到的。为避免减压阀被压缩空气中的杂质堵塞，在减压阀前都设有空气过滤器。减压阀前后设有截止阀，以备检修时用。检修时为不影响管路工作，还设有旁通管路。如图 6.1.2—4 所示。

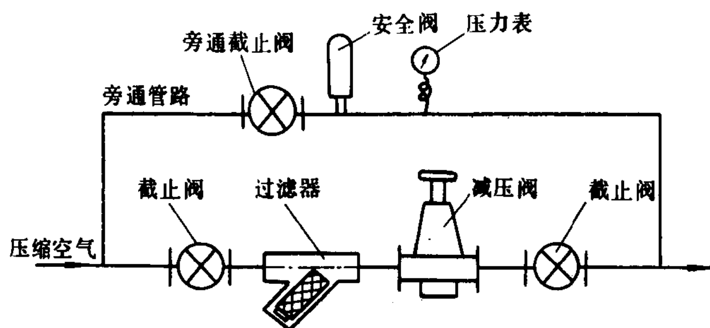


图 6.1.2—4 减压阀装置简图

8)所有主柴油机用的蓄电池组容量，在不向蓄电池充电的条件下，必须保证主柴油机不少于 20 次连续起动，而供给辅柴油机的不少于 10 次连续起动。每次起动的延续时间应不超过 5 秒钟。几部主柴油机都采用电动机起动时，相应的起动蓄电池组应按每一主柴油机和辅柴油机分开。在任何情况下，应能用其他柴油机的蓄电池组起动另外的任一发动机，或者备用蓄电池组在其不补充充电的情况下，能保证正常起动任何一台主柴油机和辅柴油机。

9)用电动机起动的柴油机，必须在其上装有充电发电机及蓄电池自动充电装置。

10)自动起动的应急发电机组，应配备至少能供三次连续起动的能源，除人工起动是有效者之外，还应配备在 30min 内能起动三次的第二能源。

1.3 主要设备的估算

1)空气瓶容积

空气瓶容积通常按柴油机每起动 1 次所耗自由空气量进行估算的。

空气瓶所放出自由空气量，可用下式计算：

$$V=[q_1+(Z-1)q_2]\cdot V_z\cdot 10^{-3} \qquad (6.1.2-1)$$

式中：q_1 ——冷态起动一次所耗单位气缸容积的自由空气量，一般取 5～7；

q_2 ——热态起动一次所耗单位气缸容积的自由空气量，一般取 3～5；

Z ——起动次数，一般为 6 或 12 次；

V_z ——柴油机气缸总容积，l；

$$V_z=\frac{\pi}{4}D^2\cdot S\cdot i \qquad (6.1.2-2)$$

式中：D ——气缸直径，cm；

S ——活塞行程，cm；

i ——气缸数。

空气瓶容积，由下式计算：

$$V_k=\frac{V}{p_2-p_1} \qquad (6.1.2-3)$$

式中：V_k ——空气瓶容积，m^3；

p_1 —— 最低起动压力，一般取 0.686MPa(7kgf/cm^2)；

p_2 —— 最高起动压力，一般取 2.94MPa(30kgf/cm^2)。

2)空气压缩机排量

供主柴油机起动空压机，一般应为独立驱动的空气压缩机。要求在 1h 内充满主柴油机所有起动空气瓶，并使压力达到所要求的最大压力。其排量可用下式计算：

$$Q=\frac{V_{k1}(p_1-p_3)}{t}\cdot 10^{-3} \tag{6.1.2—4}$$

式中：V_{k1} —— 所采用的空气瓶实际容积，l；

p_3 —— 空气瓶最小充气压力，一般取 0.49MPa；

t —— 充满主柴油机所有起动空气瓶的时间，一般为 1h。

1.4 压缩空气系统的管理要点

在备车时应将所有空气瓶充气到规定压力，供主机起动的压力一般为 1.76～2.94MPa (18～30kgf/cm^2)，供气笛及杂用为 0.39～0.98MPa(4～10kgf/cm^2)。并且放掉气瓶中的油和水，将气瓶与主起动阀之间的空气管路上所有的阀打开，如设有压缩空气气笛，则在备车时应将气笛瓶出口阀打开并放水，以备驾驶台随时使用。

压缩空气在充入空气瓶之前，应在压缩机空气冷却器内进行冷却，使其温度不超过 40℃，未经冷却的空气禁止充入空气瓶，否则可能导致爆炸。

主机起动前，应检查起动阀、进气阀、排气阀、扫气阀和安全阀的动作；检查柴油机的压力表和真空表的旋塞有无故障；检查换向机构以及调速器、紧急报警信号和保安系统是否正常。

柴油机起动完毕后，关闭空气起动阀或切断起动电源，放出起动空气管内的空气。

船舶长期停泊时，每周应检查压缩空气瓶的压力(起动用)，必要时开动空压机充气。

1.5 典型的压缩空气系统实例

中速柴油机动力装置的压缩空气系统实例：

图 6.1.2—5 为中速柴油机动力装置的压缩空气系统原理图之一，它常用于中、小型船舶上。

该系统在机舱内设两台空气压缩机，其中一台为备用。空气压缩机直接对主机起动空气瓶供气，并且根据主机起动空气瓶的压力高低，通过压力继电器自动起停。主机起动空气瓶出口的压缩空气，一路供主机起动用，另一路通过减压阀装置从 2.94MPa(30kgf/cm^2)减至0.98 MPa(10kgf/cm^2)供给气笛吹鸣，同时再有一路通过减压阀装置从 0.98MPa(10kgf/cm^2)减至 0.39(4kgf/cm^2)供给各种杂用。

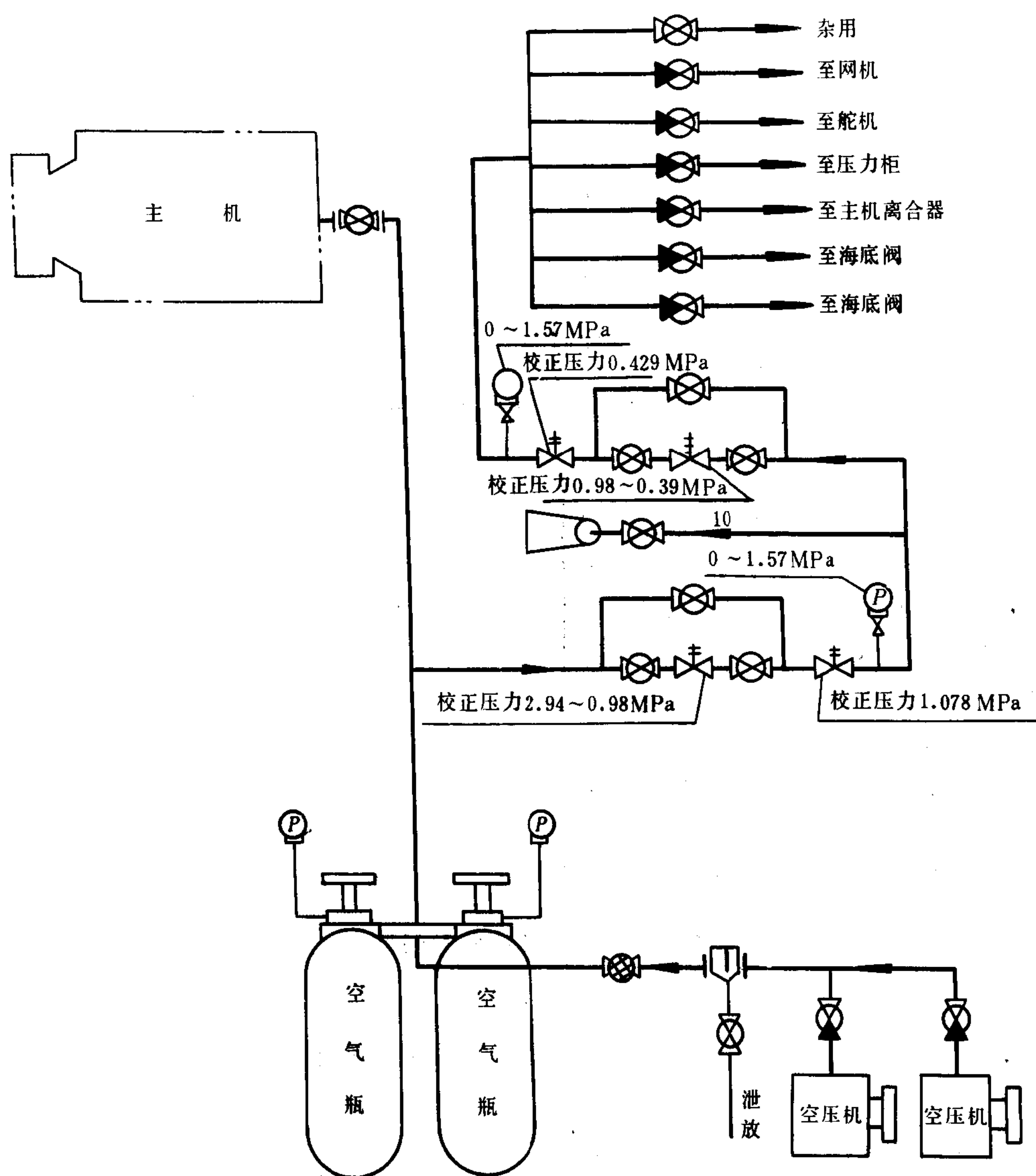


图 6.1.2 5 压缩空气系统原理图

· 低速柴油机动力装置空气压缩系统：

图 6.1.2—6 为某万吨级货船动力装置压缩空气系统原理图。机舱内设两台主空气压缩机组和一台辅空气压缩机组，由主空气压缩机利用压力继电器自动启停，对两只主空气瓶供气。由辅空气压缩机组对辅空气瓶供气，同时也可对主空气瓶进行补气。

主空气瓶出口的压缩空气，一路供主柴油机起动用，另一路可供辅柴油机起动，同时经由支总管通过四套减压阀装置，分别把 2.94MPa 的空气减压为 0.98MPa 供气笛空气瓶使用；减至 0.785MPa 供控制空气瓶使用；减至 0.29MPa 供杂用空气瓶使用，此外再接一路通过减压至 0.687MPa 直接供给甲板杂用及机舱各平台备用和油舱(柜)速闭阀控制用气。辅空气瓶专供辅柴油机起动用。

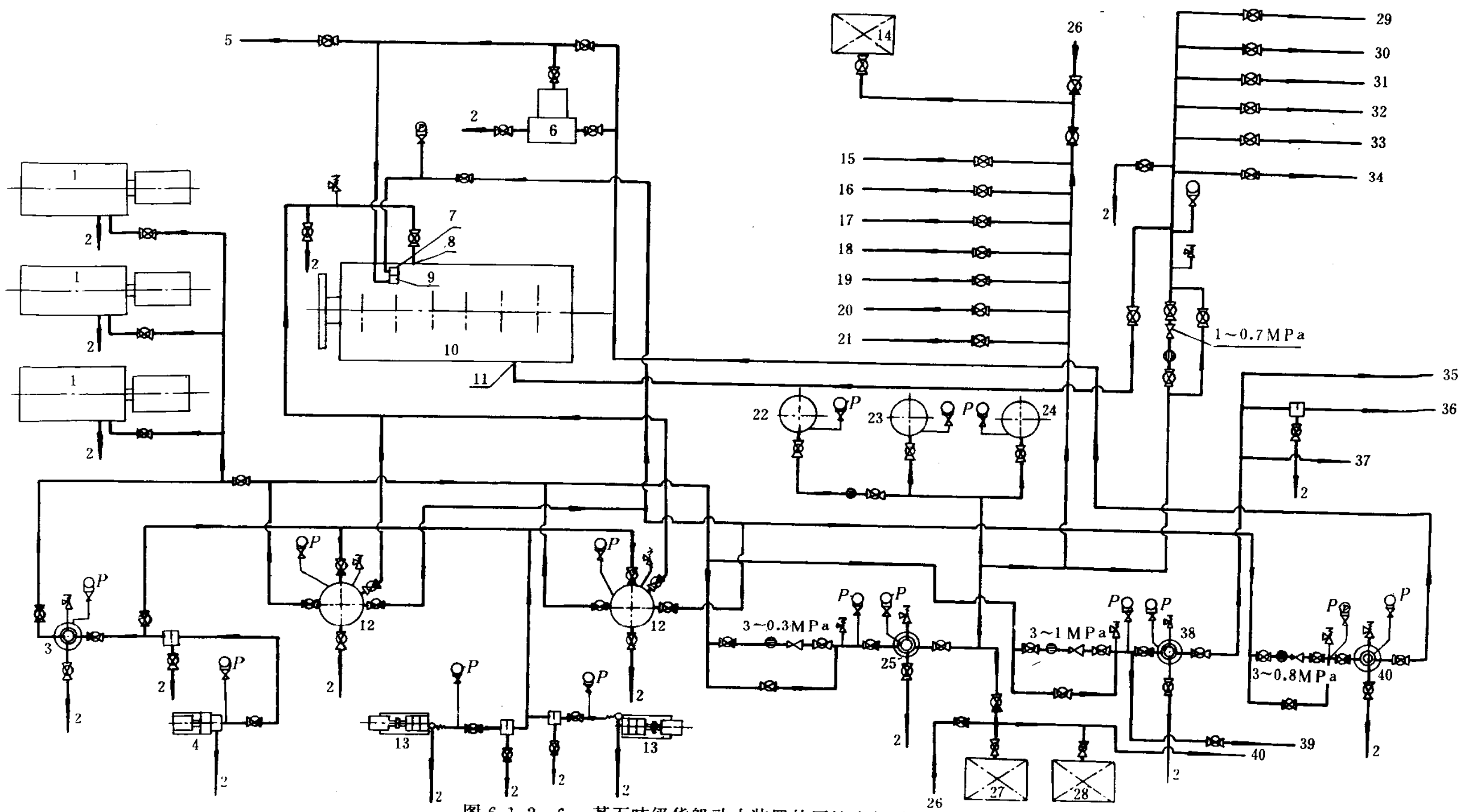


图 6.1.2—6　某万吨级货船动力装置的压缩空气系统原理图

1—柴油发电机组；2—泄放；3—辅机启动空气瓶($0.25m^3 \times 3MPa$)；4—辅空压机组($84m^3/h \times 3MPa$)；5—接机舱自动化控制空气；6—空气除湿器($50m^3/h \times 0.8MPa$)；7—备车空气和安全控制空气进口；8—至主机起动空气进口；9—控制系统空气进口；10—主机(6RTA52)；11—主机空冷器清洗 进口；12—主机起动空气瓶($4m^3 \times 3MPa$)；13—主空压机组($118m^3/n \times 3MPa$)；14—左舷高位海水箱；15—接锅炉吹洗；16—接污水处理装置；17—接主机 Co_2 灭火吹洗管；18—至机修间吹洗管；19—至喷油器试验台；20—至厨房油灶；21—备用；22—饮水压力柜；23—淡水压力柜；24—卫生水压力柜；25—杂用空气瓶($0.4m^3 \times 1MPa$)；26—蒸汽冲洗；27—右舷辅海水箱；28—右舷低位海水箱；29—接 Co_2 灭火站吹洗管；30—主甲板杂用；31—上平台备用；32—下平台备用；33—机舱底层备用；34—接油舱柜；35—接至气笛；36—接至雷达空气管；37—至船尾撇缆枪；38—气笛空气瓶($0.4m^3 \times 1MPa$)；39—接至船首空气瓶；40—至应急消防泵舱海水箱

2 冷却系统

2.1 概 述

冷却系统的功用是对需要散热的机械设备供应足够量的液体介质(淡水、海水、江水和冷却油)以带走热量,对受热机械进行冷却,使其设备在一定温度范围内能正常可靠地工作。在柴油机动力装置中需要散热冷却的机械设备有:

1)主、辅柴油机(气缸、活塞、喷油器、增压器等);

2)主、辅柴油机的滑油冷却器,淡水冷却器空气冷却器等热交换器;

3)轴系中的轴承、尾轴管等;

4)空气压缩机、冷凝器等设备。

冷却系统根据其工作特点可分为开式冷却和闭式冷却两种形式:

1)开式冷却:在 该系统中,冷却介质为舷外水(海水、江水)。采用舷外水直接进行冷却机械设备后,仍排出船外。开式冷却循环的形式比较简单。

2)闭式冷却:在该系统中,冷却介质为淡水。淡水由泵吸入,冷却机械设备后,仍回到泵的吸入口。进行闭式冷却循环。其舷外水(海水、江水)则冷却该闭式冷却循环系统,系统中的机械设备不直接接触舷外水。这种冷却方式又称间接冷却。

2.2 系统的分类和要求

2.2.1 开式冷却系统

图 6.1.2—7 所示为开式冷却系统原理图。海水泵自通海阀和滤器吸入海水或江水经滑油冷却器,然后进入柴油机冷却气缸套及气缸盖,再汇集于总管,通过截止止回阀后排至舷外。在排出管路上安装水温调节阀,以保持进入柴油机的水温在允许的范围内。

开式冷却系统的设备、管路均较简单。维护方便,舷外水源丰富。然而,舷外水往往夹有许多泥沙等污物杂质。对于海水,虽然泥沙污物较少,但它含有各种氯化物盐类和钙,镁碱土金属盐类及氧、二氧化碳气体等。这些杂质对金属壁起腐蚀作用,并在冷却空间沉积水垢,使传热条件变坏,影响柴油机运转。特别是柴油机气缸壁,由于热负荷较高,更容易因积垢而损坏。同样,舷外水温度随着航区和季节影响,变化幅度大,当过低的水温直接进入柴油机气缸造成缸壁内外温差悬殊,使缸壁热应力过大而导致碎裂。而散热过多,又会大大降低了柴油机的热效率。正是这些原因,开式系统只能应用于工作要求不高的小型船舶柴油机装置,以及一些冷却温度不高或对冷却水质要求不十分严格的各种热交换器、空压机、排气管、尾管等。一般大型柴油机动力装置多采用闭式冷却。

2.2.2 闭式冷却系统

如图 6.1.2—8 所示为闭式冷却系统原理图。闭式冷却管路就是用淡水冷却泵从淡水冷却器中吸出淡水,泵入需要冷却的设备或柴油机气缸和活塞后,然后又回到淡水冷却器中,这样形成了闭式淡水冷却循环系统。舷外水冷却闭式淡水循环冷却系统,即淡水从高温部件带走的热量在冷却器中被舷外水带走,降低其淡水温度,这使需冷却的设备内部不直接接触舷外水。

淡水在闭式系统内循环,它的体积会随着温度的变化而热胀冷缩,所以须设置淡水膨胀水箱。淡水在管路内循环时,温度较高,在淡水泵吸入口低压处容易产生汽化现象。为防止产生

汽化，以保证水泵的正常工作，膨胀水箱须设置在水泵吸入口中心以上一定的高度(对中速柴油机通常保持7～10m，对低速柴油机通常保持9～15m)，使吸入管路始终保持一定的静压头，从而避免产生汽化现象。若主、辅冷却水系统相通，膨胀水箱的高度应一致。

闭式冷却系统是用比较洁净的淡水进行循环冷却，水垢产生较少，流道通畅，能大大提高工作可靠性。另外，由于清洁的淡水不会产生析盐现象，也不会受到析盐温度(50～55℃)限制，故可提高柴油机淡水出口温度。淡水在柴油机的进、出口温度反映了柴油机的冷却状况，出口温度过低，使柴油机热损失增多，出口温度过高，使气缸套内表面温度高，缸壁上的润滑油膜容易蒸发，缸壁磨损加剧。并且还会使气缸套与气缸体所形成的水腔接合处的阻水橡皮圈加速老化，同时也容易引起淡水在水腔内汽化，使传热效果降低。淡水出口温度，一般对中、高速柴油机约为75～85℃左右，甚至高达90℃；对大型低速柴油机，气缸淡水温度为70～80℃，冷却废气涡轮壳体的淡水出口温度为80～85℃左右。为使冷却部件热应力正常，柴油机的淡水进、出口温差在10～15℃较适宜。表6.1.2—2为常用柴油机淡水温度。

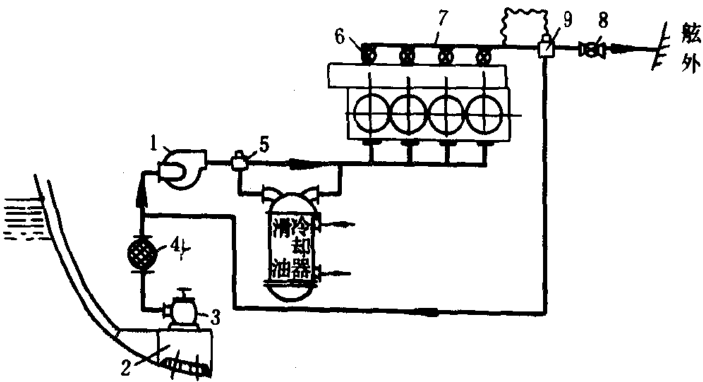


图6.1.2—7　开式冷却系统

1—海水泵；2—通海室；3—通海阀；4—过滤器；5—油温调节阀；6—阀；7—出水总管；8—舷边排出阀；9—水温调节阀

表6.1.2—2　**柴油机冷却淡水温度**

冷却介质 \ 柴油机名称		B&W(低速)	Sulzer(低速)	NVD48A(中速)	MAN 20/27(中速)	MWM(高速)	6300(中速)
缸套冷却淡水温度(℃)	进入	60	60	75			
	出口	80	85	85	80	80	70

闭式冷却系统广泛应用于大、中型船舶柴油机动力装置。

有些低速柴油机，它的活塞和喷油器的冷却是采用滑油和柴油，它是属于闭式系统的一种。活塞和喷油器系统分别独立。这种用油冷却的系统的特点是当活塞冷却密封装置失灵或破坏时，冷却油产生渗漏，这些渗漏的冷却油漏入曲轴箱回到滑油循环舱(柜)，而这些冷却油本身就是滑油，不会影响滑油质量；用柴油冷却喷油器，其密封装置破坏而引起渗漏时，冷却柴油漏入气缸，也不会引起什么严重问题。不过，油的冷却效果不及水的冷却效果好。油的比热仅为水的比热1/2。要达到同样冷却效果，冷却油量要比冷却水量大一倍，同时，油受高温影响，易引起碳化，产生积碳，影响传热。在选用滑油时，必须使用柴油机制造厂推荐或指定的滑油牌号。

采用水冷却时一旦密封部件失灵，气缸内进水，油膜被破坏降低润滑效果，冷却水漏入曲

轴箱，会使机油乳化，破坏润滑作用，当它循环到轴承时，会减低轴承内油膜的载荷能力，机件磨损增加，可能使轴承发生故障，降低柴油机使用寿命。

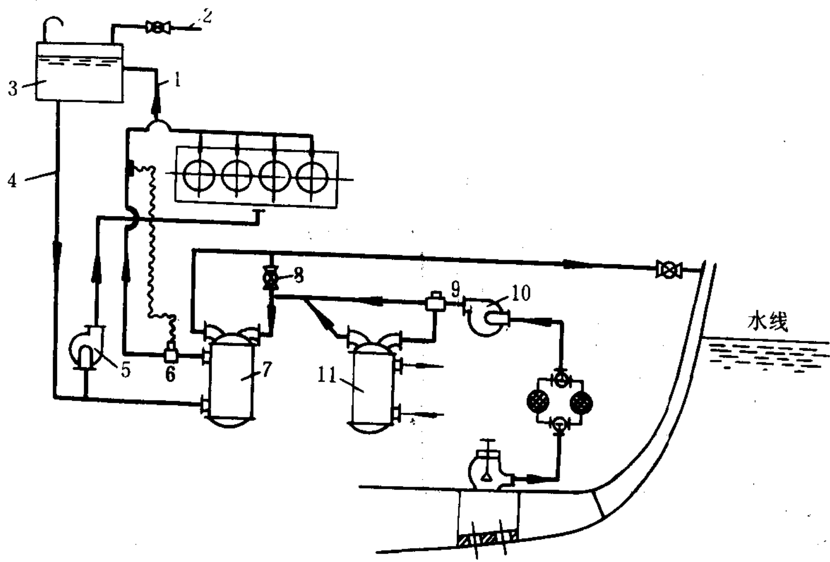
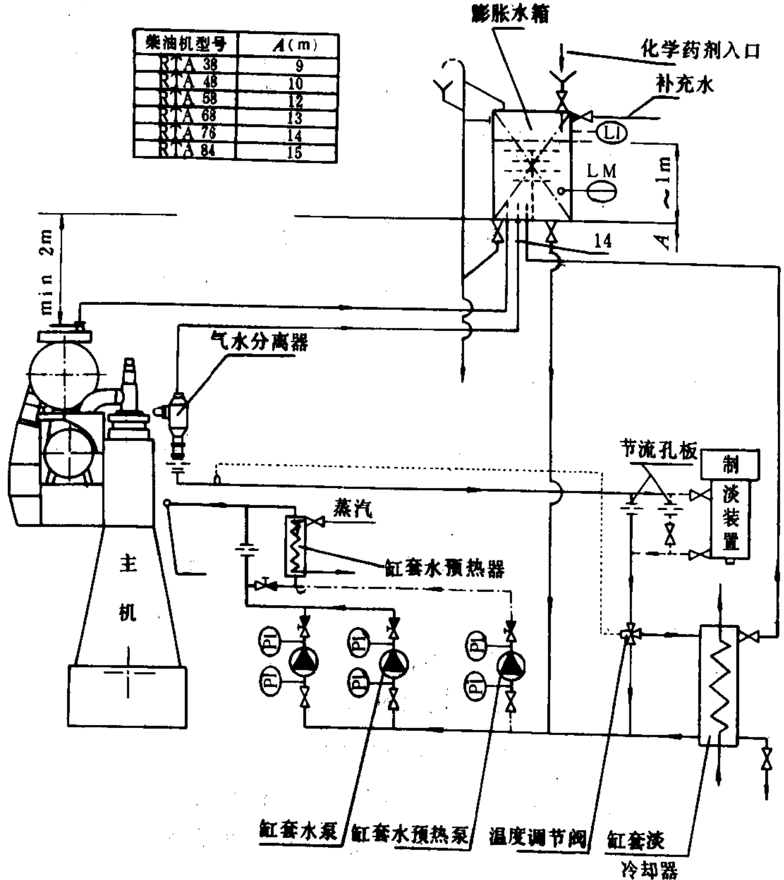


图 6.1.2—8　闭式冷却系统原理图

1—放气管；2—补充水管；3—膨胀水箱；4—供水管；5—淡水泵；6—水温调节阀；7—淡水冷却器；8—阀；9—油温调节阀；10—海水泵；11—滑油冷却器



柴油机型号	A(m)
RTA 38	9
RTA 48	10
RTA 58	12
RTA 68	13
RTA 76	14
RTA 84	15

图 6.1.2—9　Sulzer 柴油机缸套冷却系统

图 6.1.2—9 和图 6.1.2—10 分别为 Sulzer 柴油机的缸套冷却水系统和活塞淡水冷却系

统。缸套冷却系统为独立的闭式循环系统，通过自动温度调节阀使缸套冷却水出口水温保持在85℃，柴油机在起动前，其冷却淡水通过蒸汽或电加热器进行预热，预热水温达50℃左右，并由排量约为缸套冷却水泵容量5%的预热泵进行预热循环。活塞淡水冷却系统，为独立的闭式循环系统，冷却活塞后的淡水依靠重力流到活塞水泄放柜，由活塞冷却水泵抽出经冷却器冷却后再送入主机对活塞进行冷却。进入活塞冷却的淡水温度为55℃。

B&W 柴油机的活塞冷却采用油冷却系统，它是由主滑油系统中分出一路供给活塞冷却，经冷却后的滑油排到滑油循环舱(柜)中，与主滑油系统构成同一循环系统。

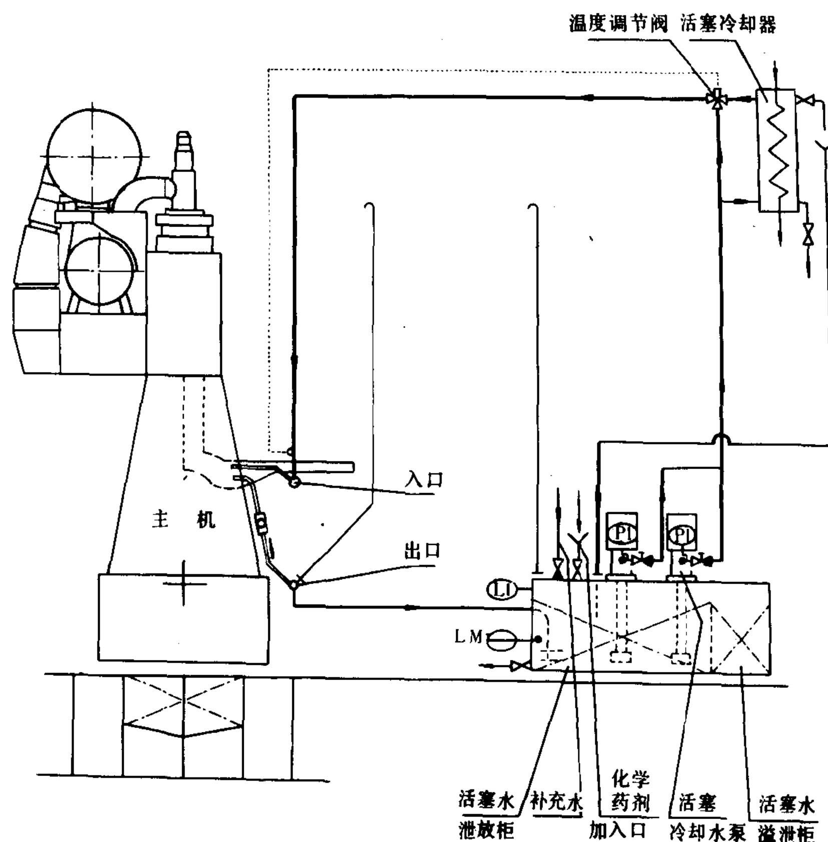


图 6.1.2—10 Sulzer 柴油机活塞淡水冷却系统

2.2.3 中央冷却系统

为解决冷却系统的腐蚀和污染，近年来发展了采用淡水取代海水在冷却系统的中间回路中循环，这种冷却系统通常称为中央冷却系统。

中央冷却系统也是一种闭式冷却方式，图 6.1.2—11 和图 6.1.2—12 所示为该系统原理简图，整个冷却系统有海水管路，低温淡水管路和高温淡水管路所组成。其热量的交换分两次进行。主要的型式有两种：图 6.1.2—11 所示为低温和高温回路相联的中央冷却系统。高温淡水回路通过第二淡水泵组将温度为55～58℃左右的高温淡水吸入后，泵至主、辅柴油机进行冷却，部分出柴油机的冷却水对海水淡化装置进行加热制淡。低温淡水回路通过第一淡水泵组把冷却主、辅柴油机后的淡水经中央淡水冷却器吸入，经淡水温度控制阀 A 的调节，使淡水温度控制在35℃左右，然后分配到所有的二级冷却器中(如空气调节器，空气压缩机，滑油冷却器、轴承等)，以适应各种冷却需求，最后流入滑油冷却器，空气冷却器进行冷却，此时淡水温度升高，通过淡水温度控制阀 B 的调节，使淡水温度保持在55～58℃左右。然后再由第二淡水泵组吸入，不断进行循环。海水回路通过海水泵将舷外水吸入，打至中央淡水冷却器，带走其中的淡水热量，然后排出舷外。这种型式的高温回路通过一个恒温控制混合阀连接到低温回路。

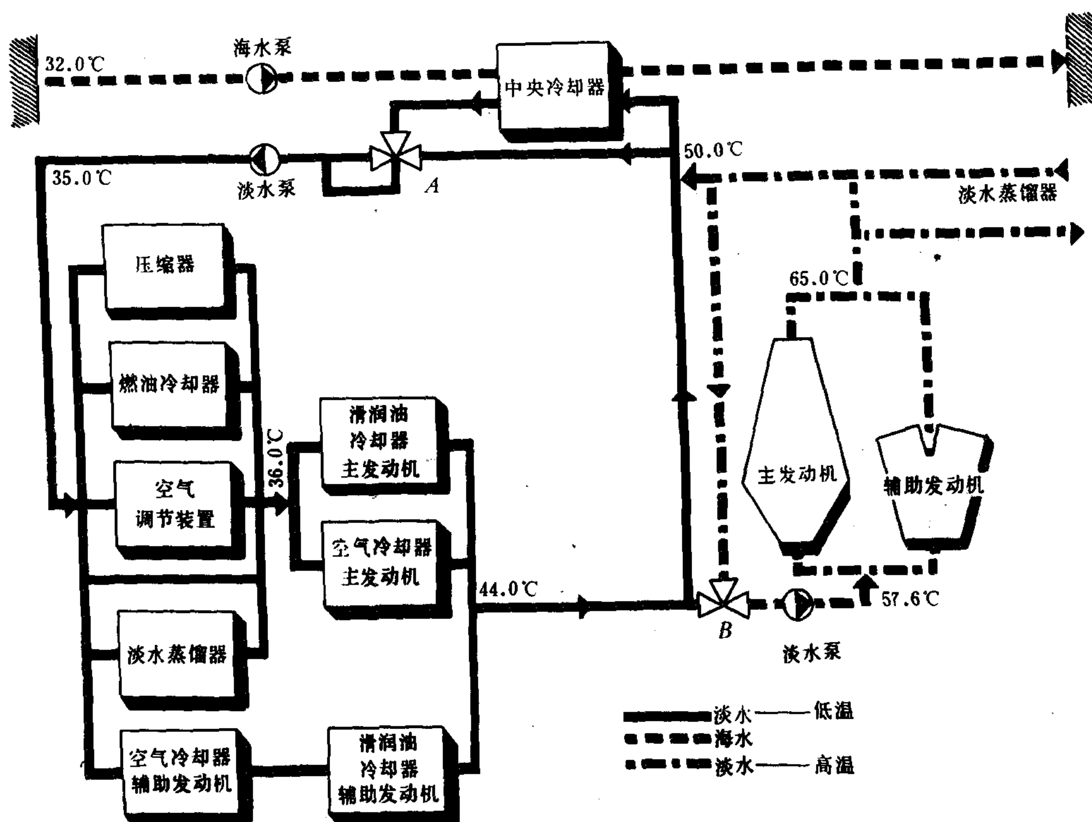


图 6.1.2—11　低温和高温回路相联的中央冷却系统

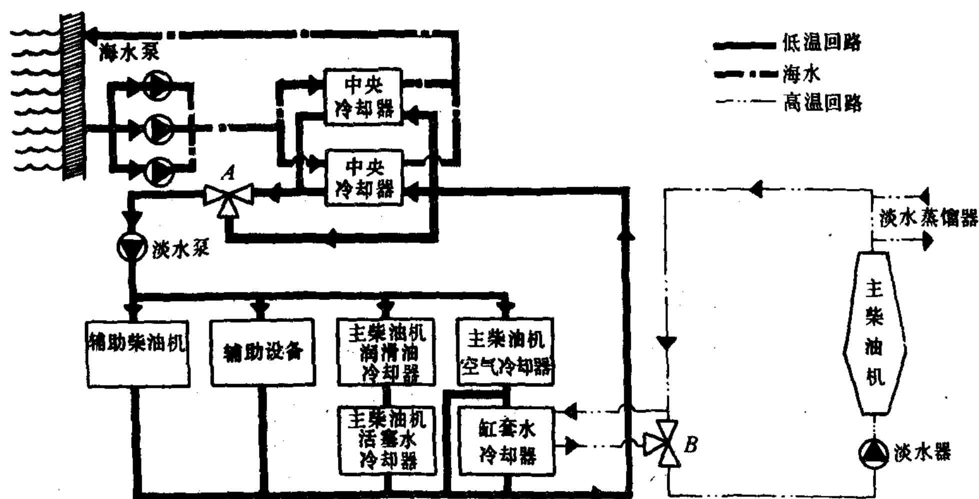


图 6.1.2—12　低温回路与高温回路分开之中央冷却系统

图 6.1.2—12 所示为另一种较常用的高温淡水回路和低温淡水回路分开的中央冷却系统。这种系统需要一个套管水冷却器，套管水冷却器通常与中央冷却器平行安装，也可以与中

央冷却器以串联方式安装，并以海水作冷却介质。在一些船上，也采用从低温回路来的淡水作为冷却介质，对套管冷却用水进行冷却(套管冷却器又称缸套冷却器)。

2.2.4 系统的要求

1)柴油机冷却管系的布置，应能有效地调节冷却水的进水温度，闭式冷却系统应设有淡水膨胀水箱，并建议装设高温警报器。

2)海水冷却管系或循环系统的冷却水泵应连接不少于两个舷外海水吸口，海水吸口尽可能分布于两舷，在船舶正常航行情况下，任一台冷却泵或循环泵均可自任一海水吸口吸取海水。

3)海水冷却泵和海水箱之间的管路上，应装有滤器，其布置应使滤器在清洗时不致中断冷却水的供应。

4)主柴油机闭式淡水冷却管系应按需要装设适当的加热设备(蒸汽加热器或电加热器)或与辅机淡水冷却管路接通，以备主机暖缸加热用。

5)柴油机船的主机应设有足够排量的主冷却水泵和备用冷却水泵(包括活塞、喷油器等冷却水泵及备用冷却水泵)。当装有一台主柴油机时，不论主冷却水泵为主机带动的或独立动力的，均须设有一台独立动力备用冷却水泵。当装有多台的主柴油机时，若各自均带有冷却水泵，则可允许设一台完整的备用泵作为备用冷却水泵。对小型船舶其备用冷却水泵可用其它足够排量的泵代替。

6)当主柴油机和辅柴油机使用淡水冷却且与海水系统有应急连接时，则可不设备用淡水泵；当每台辅柴油机均带有冷却水泵时，则可免设备用冷却水泵。若多台辅柴油机共用一冷却水系统时，则仍需设备用泵。所有用海水冷却的装置，均应有防腐蚀措施。

7)航行于冰区的船舶，其冷却水系统应确保船舶冰区航行时冷却水的供给，为此，至少有一个海水箱应满足以下要求：

(1)海水箱应有足够大的容积，该海水箱容积通常按每750kW发动机功率约1m³计算，此发动机功率应包括船舶营运所必需的辅机功率，海水箱进口格栅的通流面积应不小于进水管截面积的4倍。根据需要，在海水箱上可设有融冰加热盘管。

(2)海水进口应尽可能靠近船舶中心线布置，并尽量靠后。应足以使浮冰处在进水管口上方。

(3)考虑冰区的影响，冷却水排水管与海水箱之间应装设一根能通过冷却水全排量的连接管。

8)为使柴油机冷却水系统不遭受腐蚀和结垢，通常在冷却水中加入处理药剂。处理冷却水所采用的防蚀剂和处理的过程及方法可参阅第8卷8.5.4或8.3.3章节。

2.3 系统的主要设备和估算

2.3.1 系统的主要设备

1)冷却水泵

冷却水泵均采用离心式，但离心式水泵无自吸能力，安装时应将它布置在水线以下或尽可能使泵吸入处于正压头场合。

2)冷却器

冷却器有淡水冷却器和滑油冷却器。船用冷却器的形式主要有壳管式，套管式及板式等。目前壳管式冷却器在船舶上应用最为普遍，而板式冷却器，其传热效果较好，在船舶上也逐步

得到应用。

3）膨胀水箱

膨胀水箱是为补充管路中的淡水损失，供管路中的水受热膨胀用。在闭式冷却系统中，它可接受管路中的气体，保证淡水泵的吸入端的静压头，避免产生汽化。

4）温度调节器

温度调节器是冷却系统的温度自动调节设备。它根据柴油机出水温度的高低，自动调节进入冷却器的水量，以控制柴油机的进水温度，从而使柴油机在各种工况下工作时有一个合适的冷却温度范围。

目前应用的温度调节器型式很多，有气动温度调节器，电动温度调节器（如图 6.1.2—13 和图 6.1.2—14 所示的温度调节器），波纹管温度调节器和蜡质温度调节器。蜡质温度调节器对冷却系统内压力变化影响的敏感度较小，可靠性好、寿命长；波纹管温度调节器对系统内压力变化较敏感，可靠性也较差；气动和电动温度调节器由一整套传感器和气动（电动）文件组成，控制线路较复杂，可以进行遥控和显示。

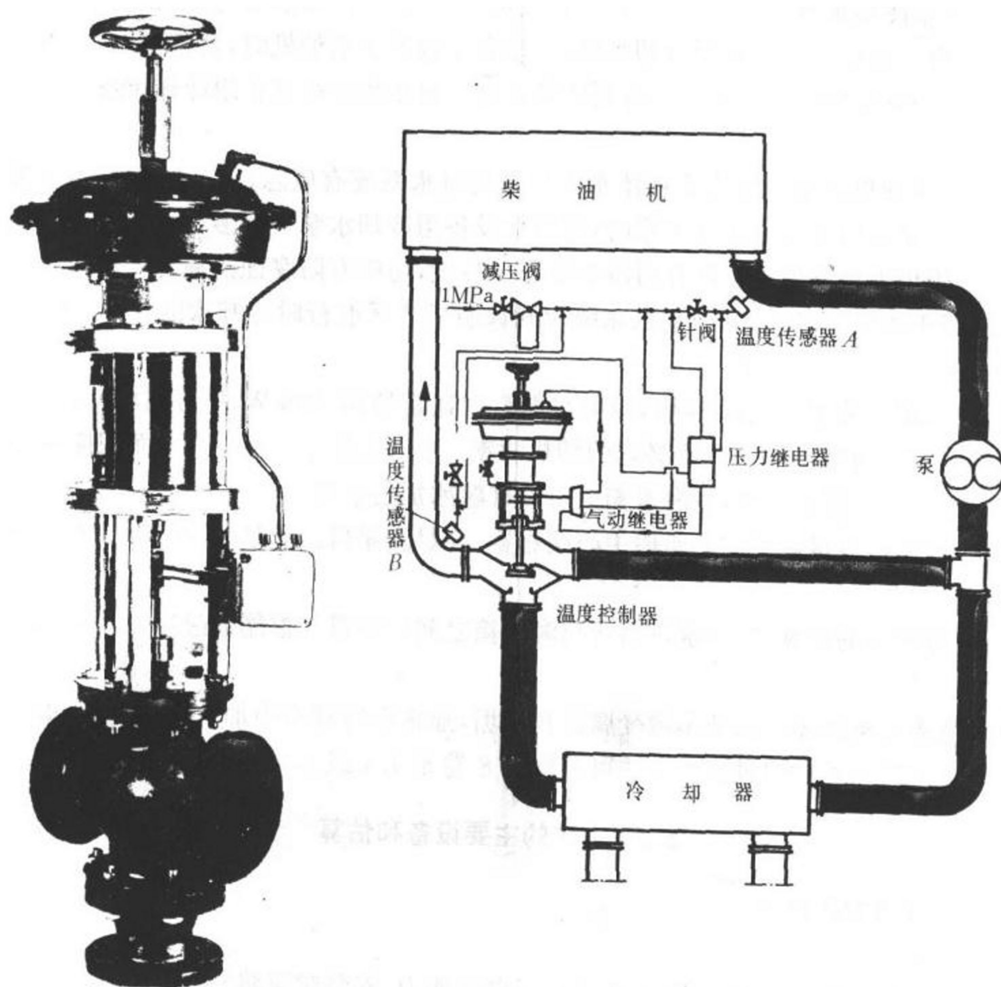


图 6.1.2—13 气动温度调节器及控制原理图

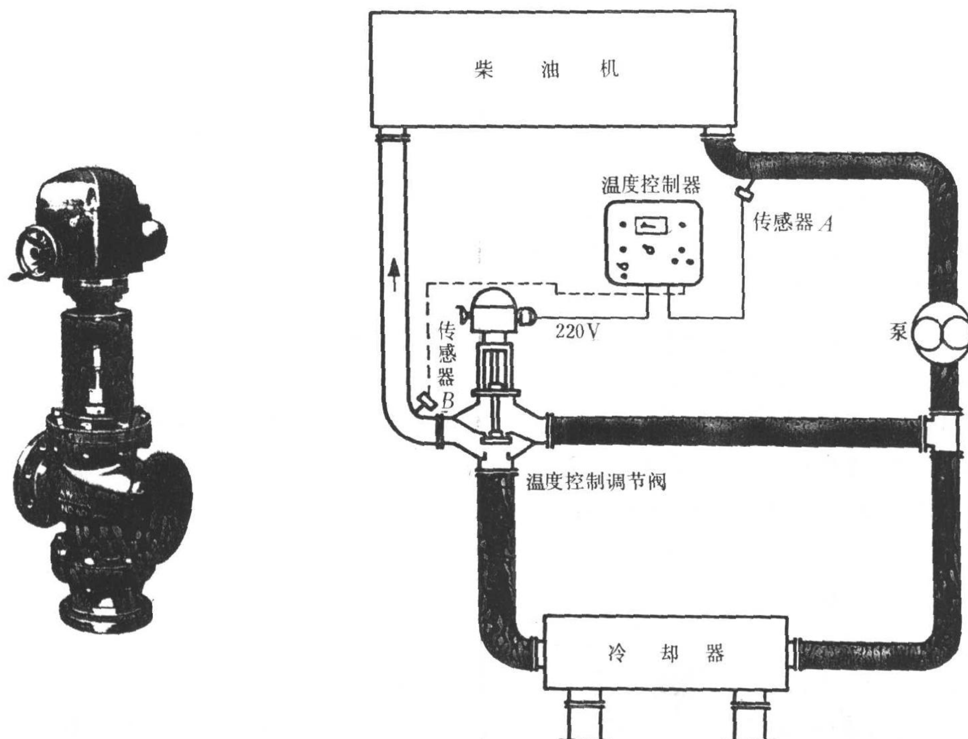


图 6.1.2—14 电动温度调节器及控制原理图

5)滤水器

滤水器是安装在海水管路上,用来防止海水或江水中的海生物及其它杂物进入管路和水泵。起到保护系统的作用。主要结构型式见图 6.1.2—15。

2.3.2 主要设备的估算

1)膨胀水箱容量可按下式估算

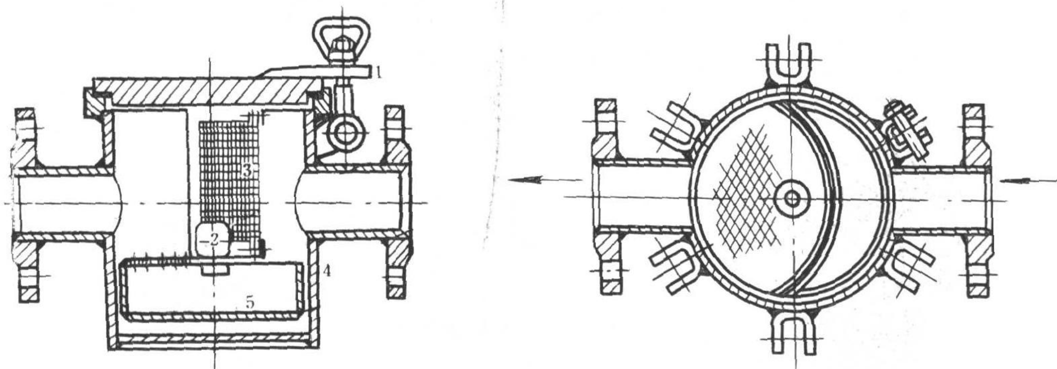


图 6.1.2—15 滤水器

1—盖;2—锌块;3—滤网;4—本体;5—沉淀盒

$$V_d = 0.10 D \eta_v \qquad (6.1.2\text{—}5)$$

式中：V_d ——膨胀水箱容量，m^3；

D ——淡水循环管路内淡水容量，m^3；

η_v ——容积系数，取 1.1～1.2。

2)淡水泵

淡水泵的排量 Q_F 按带走的热量估算

$$Q_F = \frac{K_t \cdot Q_N^P \cdot g_e \cdot P_e \cdot B}{C \cdot (t_2 - t_1) \cdot p} \quad m^3/h \qquad (6.1.2—6)$$

式中： K_t ——冷却水带走热量的百分率，%，一般为：低速机，25%～20%，中速机，20%～15%，高速机，15%～10%；

Q_H^P ——燃料低发热值，J/kg・℃；

g_e ——主机燃油消耗率，kg/kW・h；

P_e ——主机额定功率，kW；

B ——裕度系数，取 1.2～1.3；

C ——淡水比热，J/kg・℃；

p ——淡水密度，kg/m^3；

t_1 ——淡水进主机的温度，℃；

t_2 ——淡水出主机的温度，℃。

淡水泵的总压头一般采用 0.147～0.196MPa，缸套和活塞均采用淡水冷却时，则采用 0.29～0.31Mpa。

3)海水冷却泵

海水冷却泵的排量 Q_s 是由冷却部件的数量和要带走的热量多少所决定。

$$Q_s = \frac{Q_T + Q_L + Q_W}{(t_{h2} - t_{h1}) \cdot \rho_s \cdot C_s} B \quad m^3/h \qquad (6.1.2—7)$$

式中：Q_T——主机增压器空气冷却器被海水带走的热量，J/h；

Q_L——滑油冷却器被海水带走的热量，J/h；

Q_W——淡水冷却器被海水带走的热量，J/h；

t_{h1}——海水至第一只冷却器前的温度，℃；

t_{h2}——海水至最后一只冷却器的温度，℃；

ρ_s ——海水密度，kg/cm^3；

C_s ——海水比热，J/kg・℃；

B ——裕度系数，取 1.2～1.3。

海水冷却泵总压头一般取 0.21～0.245MPa。

4)淡水冷却器

淡水冷却器按海水从淡水冷却器中带走的热量计算其冷却面积 A：

$$A = \frac{Q_W(1+\alpha)}{K \cdot \Delta t} \quad m^2 \qquad (6.1.2—8)$$

式中：Q_W ——海水从淡水冷却器带走的热量，J/h；

α ——污染余度，一般取 20%；

K ——传热系数，$J/m^2 \cdot h \cdot ℃$；

淡水为 $4.60548 \times 10^7\ W/(m^2 \cdot K)$；

滑油为 $1.46538 \times 10^7\ W/(m^2 \cdot K)$；

Δt——平均对数温度差，℃；

$$\Delta t=\frac{(t_3-t_1)-(t_4-t_2)}{2.3\lg\frac{(t_3-t_1)}{(t_4-t_2)}} \quad (6.1.2-9)$$

t_4——淡水出冷却器的温度，℃；

t_3——淡水进冷却器的温度，℃；

t_2——海水出冷却器的温度，℃；

t_1——海水进冷却器的温度，℃。

滑油冷却器计算方法与此相似。

2.4 冷却水系统的管理要点

为了保证柴油机及其附属装置工作正常，管理人员在值班过程中，应定期进行巡回检查。检查各种仪表的读数，仔细监听运转的声音和用手触摸轴承、管路等温度，注意排出舷外的冷却水流量，以判断气缸燃烧情况和冷却情况。

船舶起航前，机舱要进行备车。在备车期间，应开动淡水泵，让淡水在系统内循环15～30min，以驱走留存在系统中的空气。在冷天或寒冷地带，应提前开动淡水泵，并加热淡水，至少使水温达到38℃左右。加热方法可用蒸汽加热或电加热。必要时也可用辅机淡水加热，但是，一般不推荐这种办法。

冷天经常起动冷态状态的柴油机，会造成气缸、活塞等部件的热应力过大，形成裂纹等故障。

MAN—B&W柴油机公司建议在码头短期停车时（在4～5天之内）柴油机保持暖缸状态，以防止气缸防腐剂被破坏，减少由于温度变化对机器带来的影响。同时，在船多的港口锚地抛锚时，主机处于暖缸状态，随时能起动主机，对船舶安全有好处。

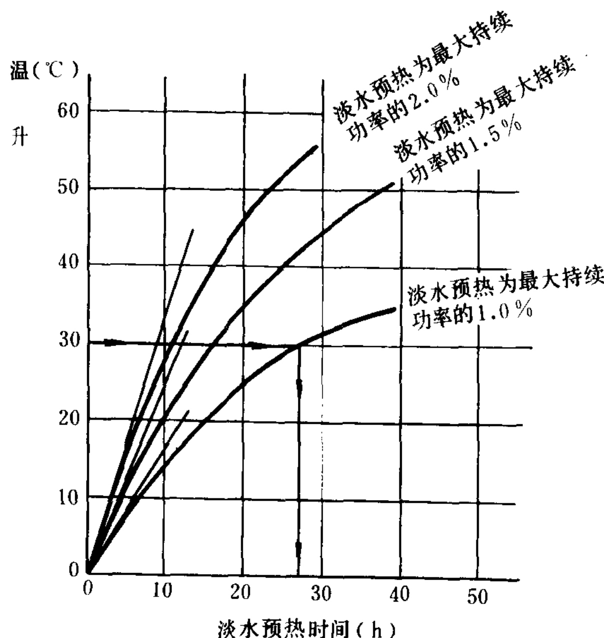


图6.1.2—16 暖缸淡水预热时间和温升

图6.1.2—16为暖缸淡水加热时间和温升关系。

当船舶进出港和靠离码头时，由于主机低速运转，操作频繁，缸内温度较低。为了不使淡水和滑油温度过低，避免热应力增加和滑油的流动性变差，应提前关掉海水泵或控制其流量。在靠好码头停车后，还要让淡水泵继续运转半小时，因为主机刚停车，缸内温度还较高，如果立即停掉淡水泵，则缸内热量不易散出，使得留在气缸壁上的一层油膜蒸发掉，不利于下次起动初期缸壁的润滑。

当柴油机运转时，应注意柴油机水箱的水位是否正常。如果发现水位下降速度超过了正常消耗量，必须检查冷却水泄漏的原因，及时消除。并密切注视海、淡水泵的压力和主、辅机的进、出口温度，如果淡水温度不正常，则可调节淡水冷却器上的淡水旁通阀的开度。此外，还可以调节淡水冷却器前的海水阀。远洋船舶在各种海域航行，其海水温度差异较大，应注意调节淡水旁通阀和海水排出三通阀的开度，使淡水温度保持正常。

当用主机淡水作为热源的造水机进行制淡时，可使淡水温度下降 3～5℃，因此，在开动造水机时，可适当开大淡水旁通阀。

柴油机各缸出水的温度应保持正常，并应基本一致。当个别气缸水温不正常时，则说明该缸超负荷或负荷过低，应进一步从排气温度或喷油工况来查明原因。不要急于调节水量，这并不一定是循环水太多或太少的缘故。如冷却水温度和排气温度都相应的变化，可判定是否喷油设备工况不佳，使燃烧不良而导致气缸温度不正常。只有弄清水温不正常不是由于其它原因所引起时，才可以调节该缸的淡水循环量。冷却水循环量必须用淡水出口阀来调节。

当某一缸因冷却水量不足而过热时，应首先停止喷油，再慢慢增加冷却水量，这样可使过热情况缓解。如果过热量是由于气缸断水，则应立即停车，使热量逐渐散走，绝不可骤然加入冷水，否则会使气缸炸裂。

冷却水温度不应过低，水温过低不但会使柴油机的热效率降低，还会使气缸套内外温差增大，热应力增加，容易引起气缸裂纹。若冷却水出口温度太高，则气缸阻水橡皮圈容易因过热而损坏，造成缸套漏水。气缸壁上的油膜容易蒸发，加剧气缸磨损。

此外，还要密切注视淡水及海水的流动情况，防止因断水造成事故。

柴油机冷却系统中使用的是淡水，使用日久后在冷却系统中仍会产生水垢沉积物。为防止水垢的产生，保持柴油机的良好工况，对柴油机的冷却水应进行化学处理。

处理冷却水所采用的防蚀剂主要有盐类腐蚀抑制剂和防锈油两种。常用的腐蚀抑制剂为重铬酸钾（或钠）和亚硝酸钠。它们在冷却水中的浓度小（重铬酸钾为 0.2%，亚硝酸钠为 0.5%），使用的药量少，但防蚀效果很好。

主要操作方法如下：

1）初次投药量：每吨淡水投入 2.5kg 重铬酸钾和 1.6kg 的氢氧化钠。将水的碱度 pH 值维持在 8～9 之间。

2）投药方法：两种药品分开溶解，每公斤重铬酸钾用 20l 热水加快溶解，每公斤氢氧化钠用 5l 冷水。这些药剂的溶液用铜丝网过滤后从膨胀水箱投入淡水系统内，先投入铬酸盐溶液，再投入碱液。投药前，开动淡水泵，使冷却水循环。必须注意，重铬酸钾有毒，操作时应带橡皮手套，不要溅到身上或眼内。

3）冷却水化验时间与化验方法：第一次需在投药后冷却水循环 4h 后取样化验，此后，在正常情况下每星期取水样化验一次。化验目的是检查冷却水中重铬酸钾的浓度，当浓度小于 0.1%后，就要适当补加投药量。

测定浓度可用比色法，即事先在若干试管中准备好几种不同浓度的重铬酸钾溶液，取系统中的冷却水盛于另一试管中，与标准溶液对比颜色。测定 pH 值时，只须用玻璃棒蘸一滴冷却水滴在 pH 试纸上，试纸上的指示剂就能根据溶液的酸性或碱性的大小出现一种颜色，pH 值从 0 到 14 都有颜色变化，将此颜色与标准色板加以比较，就可知道冷却水的 pH 值。

活塞冷却水系统，通常采用防锈油处理。使用防锈油乳化液对柴油机冷却空间的清洁程度要求很高，初次投药之前，一定要彻底清除冷却空间的水垢、锈和炭渣等沉积物，在使用过程中也要经常对冷却空间进行检查。

为保持冷却器冷却效果良好。应定期进行冷却器清洁和试压。

2.5 典型系统实例

2.5.1 长江 2×970kW 推船动力装置冷却系统

图 6.1.2—17 为长江 2×970kW 推船动力装置冷却系统原理图。

图 6.1.2—17 长江 2×970kW 推船动力装置冷却水系统原理图

该系统由主机带淡、海水泵，机带淡水冷却器，淡水温度调节器，淡水膨胀箱，备用海水管等设备和管系附件组成。主、辅机系统独立工作。

主机工作时，淡水由主机淡水泵泵经淡水冷却器进入主机，一路冷却机身气缸套、气缸盖，另一路冷却增压器，然后汇集于主机淡水排出总管回到淡水泵进口。另有淡水蒸汽透气管通向淡水膨胀水箱。淡水容积由膨胀水箱调节或补充。淡水温度由温度调节器自动调节，也可用手动应急调节。淡水泵吸入管另接有暖缸用的蒸汽管，用来预热淡水。

机外为海水开式循环冷却：主机海水泵吸入机舱海水总管内的海水后，一路泵经滑油冷却器、淡水冷却器，然后排出舷外；另一路冷却轴系各轴承后排出舷外。

系统设备主机冷却水应急转换系统。淡水系统应急：当主机淡水泵或淡水冷却器损坏时，主机海水泵泵出的海水经滑油冷却器出口处三通旋塞的转换，进入主机，再由主机淡水排出总管上的旁通管排至舷外。此时主机即转为由海水直接冷却的开式循环工作。海水系统应急：当主机海水泵故障时，来自总用泵排出伐箱的备用海水在主机海水泵出口处进入海水冷却系统。

此外在发电机组海水泵吸入管路上设有水过滤器。在每年的枯水季节，长江上游(川江)江水中常含有较大颗粒的砂砾。该滤器的设置可以减少海水泵的磨损，延长水泵的使用寿命。

2.5.2 低速柴油机动力装置的冷却水系统实例

图 6.1.2—18 和图 6.1.2—19 为 5865kW 单机单桨推进的柴油机动力装置的海水冷却系统原理图和淡水冷却系统原理图。图 6.1.2—18 的海水冷却系统中，主海水泵和辅海水泵分别从海水总管吸入舷外水。在航行工况时，主海水泵供给主机滑油冷却器，缸套淡水冷却器，主机空气冷却器，海水淡化装置，空气压缩机及大气冷凝器等的海水冷却。此外，同时供给柴油发电机组和中间轴承的海水冷却；辅海水泵在停泊工况时专门供给柴油发电机组的海水冷却，主、辅海水泵均配置备用泵。图 6.1.2—19 的淡水冷却系统中，主机和柴油发电机组分别为独立系统，均采用闭式冷却。在主机系统中，由主机缸套淡水冷却泵，缸套水预热器及泵组，膨胀水箱，缸套淡水冷却器等组成。缸套淡水冷却泵与缸套淡水冷却器及膨胀水箱构成闭式循环系统。主机在起动前的暖缸系统由缸套淡水预热器及缸套水预热泵组成回路。如果柴油发电机组在工作时，也可利用它的淡水来预热主机缸套。然而，这时主、辅机膨胀水箱布置的高度应一致。

柴油发电机组的闭式淡水循环系统由辅机淡水泵，淡水冷却器和辅机膨胀水箱组成循环回路。其喷油器冷却循环回路是独立系统由喷油器冷却泵及喷油器膨胀水箱组成。主机系统和辅机系统中的冷却水泵均配置备用泵。有故障时可相互自动切换。

2.5.3 低速柴油机动力装置中央冷却系统实例

图 6.1.2—20 和图 6.1.2—21 系 6536kW 柴油机动力装置的中央冷却系统原理图。图中所示为高温回路和低温回路分开之中央冷却系统，图 6.1.2—20 为低温回路原理图，其中海水冷却回路由主海水泵及两台海水泵兼压载泵组成，海水泵由海水总管吸入舷外水直接对两台并联的中央冷却器进行冷却后排出舷外。低温回路由两台相同排量的淡水循环泵(其中一台备用)和一台小排量的淡水循环泵构成循环泵组合泵组，采用这样简单的组合泵组的办法可降低能源成本。

图 6.1.2—21 为高温回路原理图，它是由单独气缸套水冷却器，缸套淡水冷却水泵及膨胀水箱等组成循环系统 。低温回路通过气缸套水冷却器吸收热量，然后在中央冷却器中把热量传递给海水。

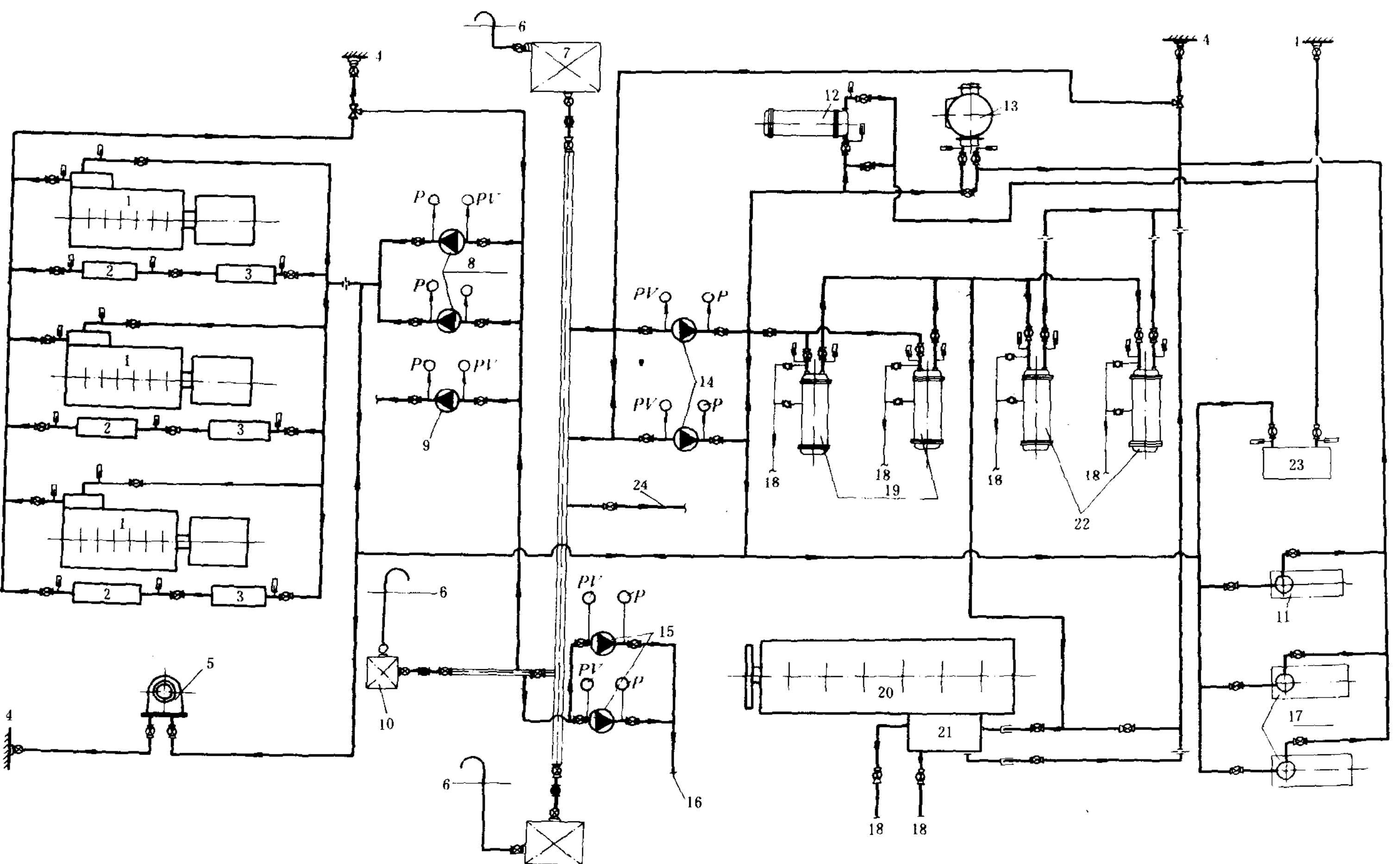


图 6.1.2—18　海水冷却系统原理图(5865kW 低速柴油机动力装置)

1—柴油发电机组；2—淡水冷却器；3—滑油冷却器；4—舷外；5—中间轴承；6—主甲板；7—左舷高位海底水箱；8—辅海水泵；9—空调装置冷却水泵；10—辅海底水箱；11—辅空压机；12—大气冷凝器；13—海水淡化装置；14—主海水泵；15—制冷装置冷却水泵；16—至冷藏系统；17—主空压机；18—泄舱底；19—主机滑油冷却器；20—6RTA52 主机；21—空冷器；22—主机缸套冷却器；23—集控室立柜式空调器；24—接至海水淡化装置工作水泵

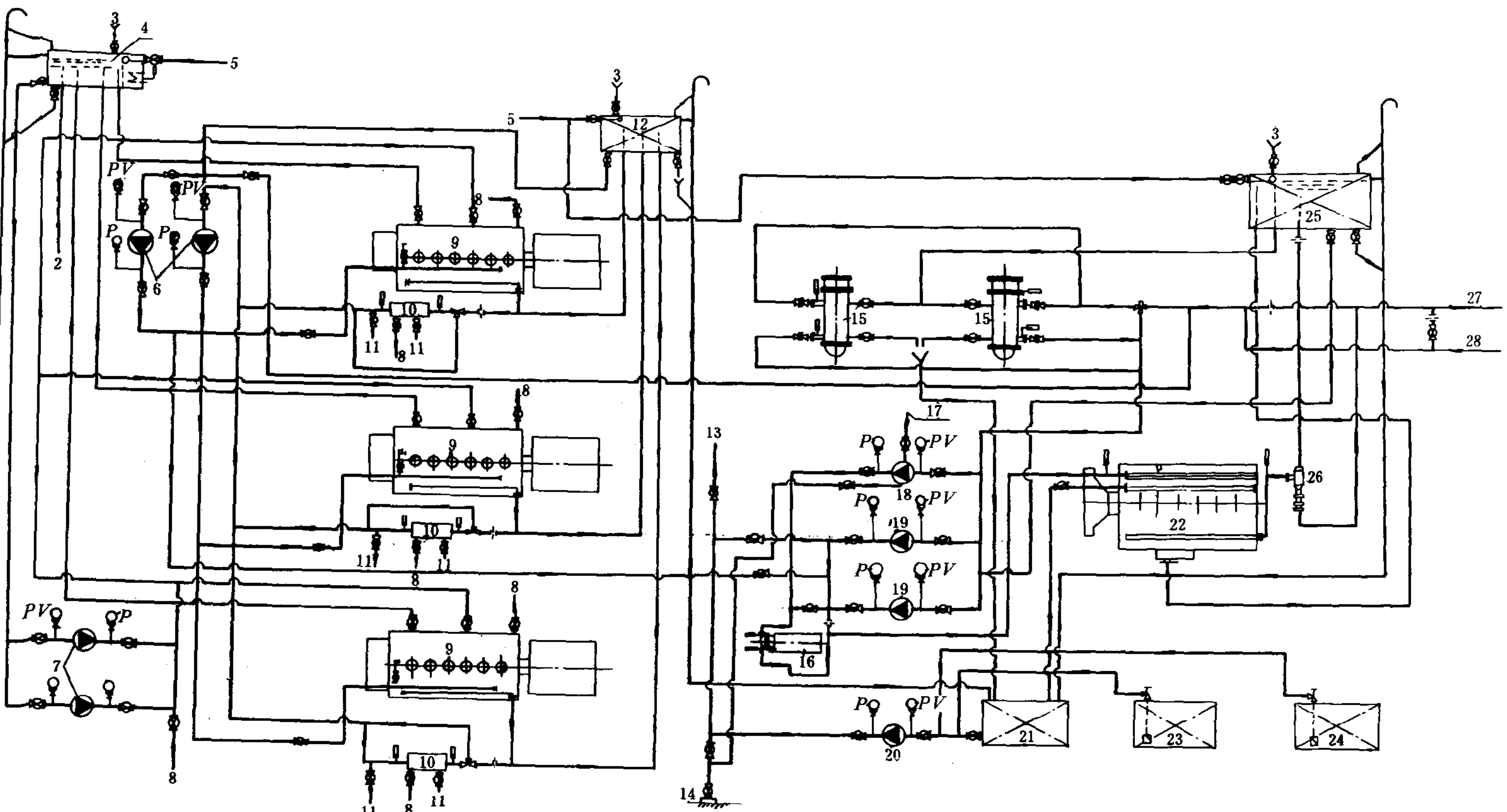


图 6.1.2—19 淡水冷却系统原理图(5865kW 柴油机动力装置)

1—泄舱底；2—至滑油油渣舱；3—加药剂；4—辅机喷油器冷却水膨胀箱；5—自淡水压力柜来；6—辅机淡水泵（$41m^3/h\times41mH_2O$）；7—辅机喷油器冷却泵组（$1m^3/h\times37mH_2O$）；8—泄放；9—柴油发电机组；10—淡水冷却器；11—放气；12—辅机膨胀水箱；13—至热水井；14—舷外；15—主机缸套淡水冷却器；16—主机缸套淡水预热器；17—自淡水压力柜来；18—主机缸套水预热泵（$98m^3/h\times21mH_2O$）；19—主机缸套淡水冷却泵（$83m^3/h\times41mH_2O$）；20—锅炉及缸套放水舱输送泵（$10m^3/h\times35mH_2O$）；21—缸套水存放柜；22—主机（6RTA52）；23—锅炉水存放柜；24—制淡水舱；25—主机冷却水膨胀箱；26—汽水分离器；27—至海水淡化装置；28—来自海水淡化装置

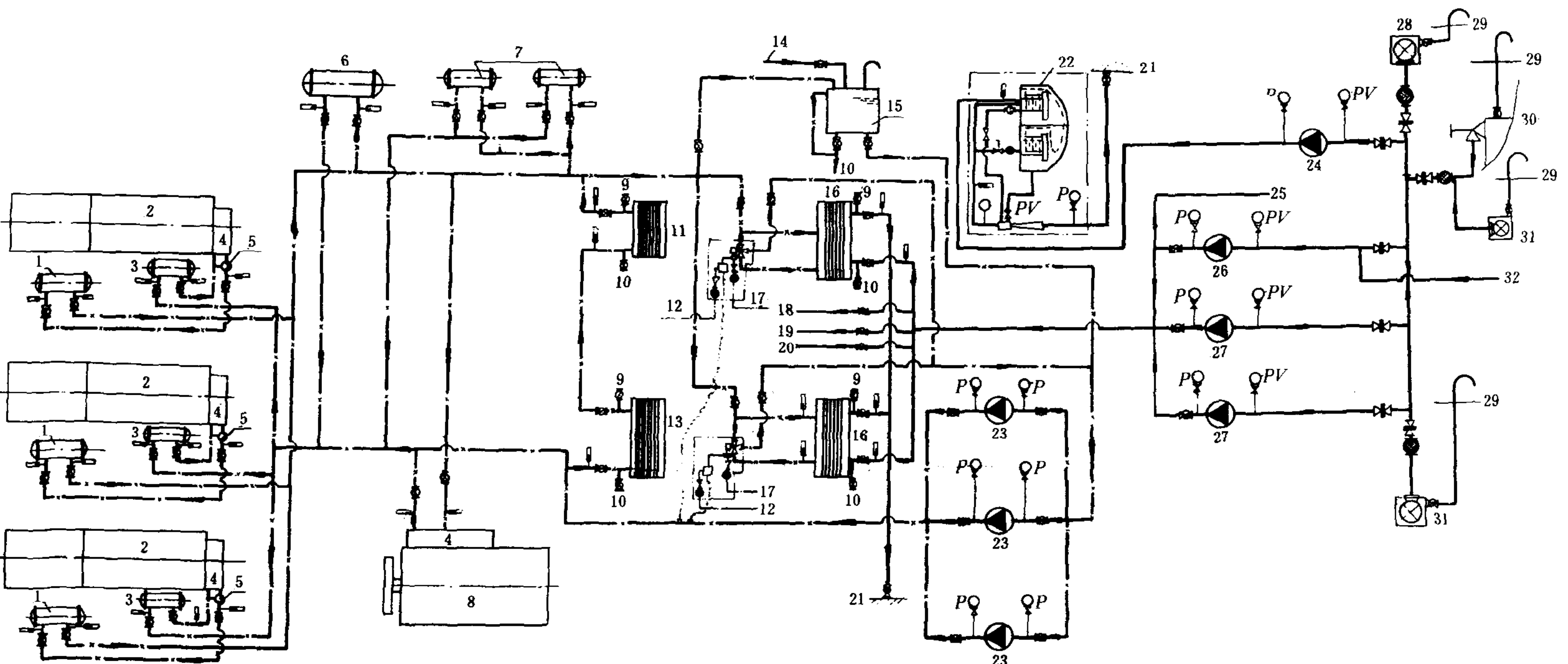


图 6.1.2—20　6536kW 柴油机动力装置中央冷却系统原理图(低温回路和海水回路)

1—淡水冷却器；2—柴油发电机组；3—滑油冷却器；4—空冷器；5—滑油调节阀；6—大气冷却器；7—主空压机淡水冷却器；8—主机；9—放气；10—泄放；11—主机缸套淡水冷却器；12—控制空气 0.14MPa；13—主机滑油冷却器；14—由淡水压力柜来；15—循环淡水膨胀箱；16—中央冷却器；17—操作空气(0.4MPa)；18—至中间轴承冷却水管；19—至电解海水防污装置；20—至机舱集控室立柜空调器冷却水总管；21—舷外；22—海水淡化装置；23—淡水循环水泵；24—海水淡化装置海水泵；25—至压载系统；26—主海水泵兼压载泵；27—主海水冷却泵；28—辅海水门；29—上甲板；30—高位海水门；31—低位海水门；32—由压载系统来

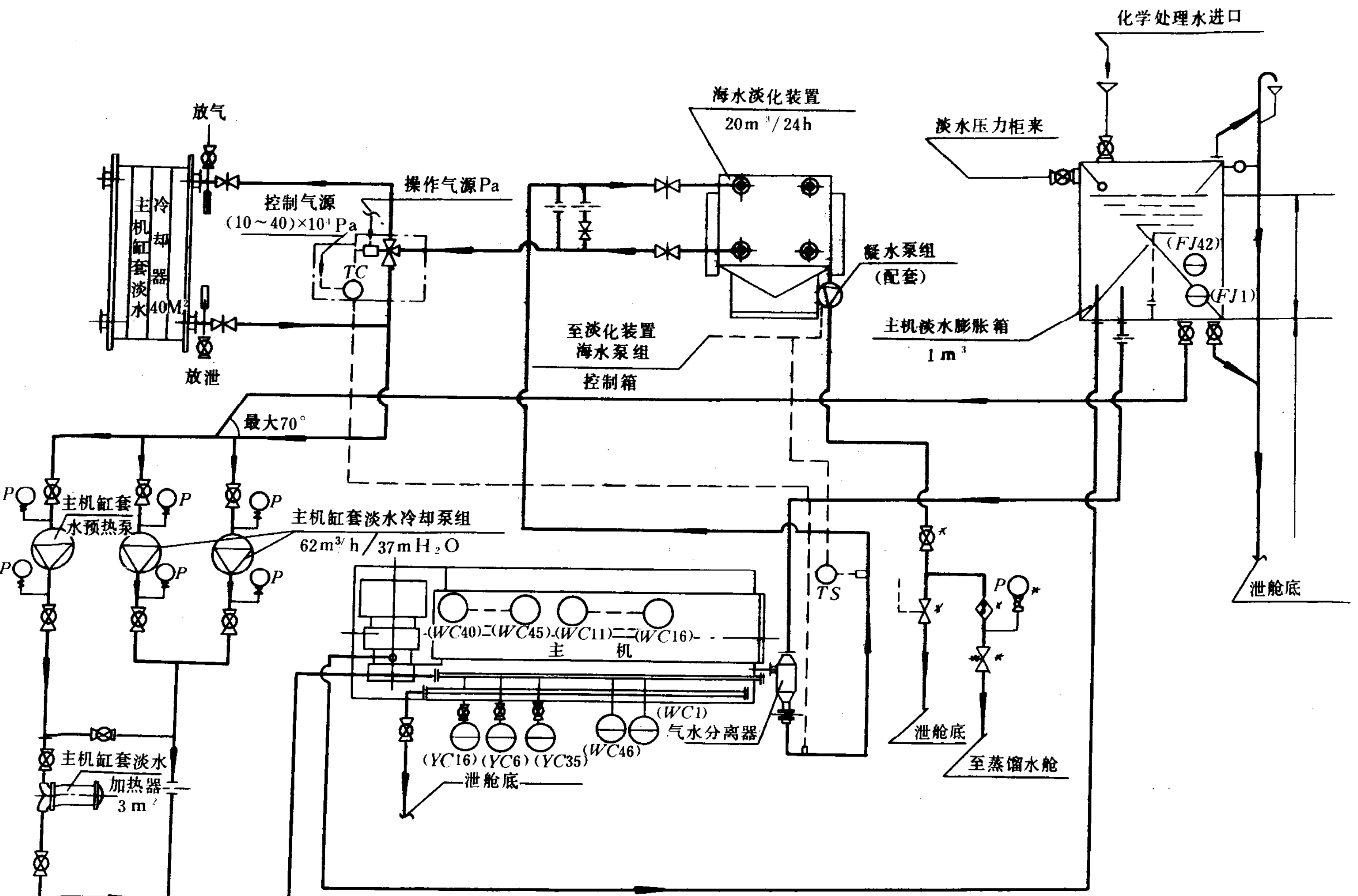


图 6.1.2—21　6536KW 柴油机动力装置中央冷却系统原理图(高温回路)

3 燃油系统

3.1 概　　述

燃油系统是用以保证柴油机动力装置的燃料需要，对各燃油设备（主、辅柴油机、辅锅炉等）供给足够数量和一定品质的燃油，以保证这些设备的正常工作。燃油系统必须具有以下各项职能：

1）储藏——有足够大的油舱，可满足最大续航力的要求。

2）装入——有专门管路将燃油自船外装入储藏舱。

3）净化——将燃油中的水分和固体杂质分离出来。

4）驳运——具有将各油舱的燃油互相调驳的能力。

5）供应——将燃料向主、辅机和辅锅炉等设备输送，并保证供应连续不断。

6）测量——测量各油舱、柜的存储量、消耗量以保证船上用油的需要。

小型船舶的动力装置比较简单，燃油管系也不复杂。大型船舶的动力装置要求比较严格，既要能适应在大海大洋中错综复杂的条件下可靠地工作，又要从经济性考虑使用质量差的燃料油。

目前船舶柴油动力装置所使用的燃油，按其比重和粘度大小基本上可分三种：轻柴油、重柴油和重油（又称燃料油），燃料油常为渣油和重柴油的混合物，混合比例视所需粘度而定。

燃油的物理化学特性对船舶柴油机的工作影响很大，高速柴油机大多使用轻柴油，中低速柴油机多采用重柴油或燃料油。趋向是逐渐使用劣质燃料油。我国生产的低质燃料油主要供应远洋船舶。沿海船舶多采用渣油和重柴油按比例混合成劣质燃料油。

燃油的品种和规格标准及国外船用燃油的品种和规格详细情况参阅本手册第 2 卷的内容。

3.2　系统的组成和要求

3.2.1　系统的组成

燃油系统一般由三大部分组成：

（1）燃油注入、储存和驳运系统。

（2）燃油的净化系统。

（3）燃油的供给系统。

3.2.1.1　燃油的注入、储存和驳运

燃油的注入就是指装油的管路。船上所需的燃油自两舷甲板经注入口和注入管路注入主燃油舱（柜）中。注入时一般都是利用岸上油泵将燃油注入，也有的船舶可借助于自身设置的燃油驳运泵将燃油驳入油舱（柜）中。注入头的设置要方便于装油。

燃油的储藏通常是利用船体的一部分分围隔而成，如利用双层底的一部分作为双层底燃油舱；利用双层底至上甲板的船体两舷部分作为深油舱等。燃油的储存量主要是根据动力装置各燃油设备的耗油量和船舶的续航力而定。通常估算油舱容积 V 按下列公式：

$$V=(Q_Z+Q_F+Q_g)\cdot\frac{1}{\rho}\cdot\eta_v\cdot C\cdot F\cdot 10^3\quad m^3\qquad(6.1.2-10)$$

式中： Q_Z ——主柴油机总耗油量，t；

$$Q_Z = g_e^Z \cdot N_e^Z \cdot t \cdot 10^{-6}$$

g_e^z ——主机每千瓦小时的耗油量，g/kW·h；

N_e^z ——主机持续运转的有效功率，kW；

t ——续航力，h；

Q_F ——辅柴油机总耗油量，t；

$$Q_F = g_e^F \cdot N_e^F \cdot t_F \cdot 10^{-6}$$

$g_e^{'}$ ——辅柴油机单位小时耗油量，g/kW·h；

N_e^F ——辅柴油机有效功率，kW；

t_F ——每一航次使用的时间，h；

Q_g ——辅锅炉总耗油量，t；

$$Q_g = g_e^G \cdot t_G \cdot 10^{-3}$$

g_e^G ——辅锅炉每小时耗油量，kg/h；

t_G ——每一航次使用的时间，h；

ρ ——燃油密度，kg/m³：

轻柴油 0.82～0.86，重柴油 0.93，燃料油 0.93～0.97；

η_v ——容积系数，一般取 1.15；

C ——储备系数，一般取 1.1；

F ——风浪系数，一般取 1.05～1.2。

若主机采用燃料油或重柴油，在油舱总储藏量中，应考虑 20% 的轻柴油，以备作主机起动，停车之前及应急时用。

燃油的驳运，通常为满足使用或平衡的要求；在各燃油储藏舱、柜之间进行燃油相互调驳。一般多采用螺杆泵或齿轮泵来完成。

3.2.1.2 燃油的净化和处理

对燃油中的杂质和水分的清理和净化方法包括加热、沉淀、过滤和离心分离。

燃用轻柴油的小型船舶燃油净化，主要用滤器将燃油中的杂质除去。大、中型船舶多采用低质燃油，净化处理方法往往同时采用沉淀、过滤和离心分离等三种。

沉淀方法，是使杂质借助重力而沉降析出，低质燃油在常温下沉淀比较困难，在沉淀舱（柜）中需有加热装置。燃油在加热的沉淀舱（柜）中，水和杂质会慢慢地下沉到油柜的底部，沉降速度与其粒子的大小、密度以及油的粘度有关。杂质在重力场中的沉降速度 V_g 为：

$$V_g = \frac{\Delta s \cdot d^2 \cdot g}{18\nu} \qquad m/s$$

式中：Δs ——杂粒与油的密度差，kg/m³；

d ——杂质的直径，m；

g ——重力加速度，9.81 m/s²；

ν ——燃油的动力粘度，kg/m·s。

为了使燃油进入离心分油机处理前尽可能将大粒杂质沉降在沉淀柜中，燃油在沉淀舱（柜）中至少要沉淀 24 小时，而且必须设有两个沉淀舱（柜），每个沉淀舱（柜）的容量应不少于 36 小时的燃油消耗量。并应具有倾斜的底面，以保证沉淀物易于排出。

推荐燃油沉淀时间为：

重柴油——不少于 12～16h；

燃料油——不少于 20～24h；

渣　油——不少于 36h。

经上述方法沉淀后，仍有一些水分和较小颗粒的机械杂质不能除去，需采用离心分离方法。

实际使用中至少备有两套离心分离设备作为燃油净化清理。对劣质燃油净化，特别是去除炼油残留的催化剂的微粒，采用串联处理方式净化效果较好。图 6.1.2—22 所示为串联净化处理原理简图。串联系统中，前面一台作为净化处理，后面一台作为澄清处理，这不但能改善分离效果，而且万一前台分油机的界面移入圆盘塔时，使分离效果降低，这时后面一台就能起保险装置的作用。串联运行时每台分油机的分离量为最大的推荐分离量。除串联运行外另一种方式是两台分油机并联运行，图 6.1.2—23 为并联运行燃油净化原理图。当两 台分油机并联运行时，油量是平分给两台的，当燃油中含有过多的油渣量和水时，可采用并联运行方式。为使并联工作产生较好的分离效果，需选择恰当的重力盘，以保证界面位于最佳位置，并保持稳定的操作条件（密度、粘度、流率、温度等）。并联运行每台分油机的分离量为最大推荐分离量的 50％。

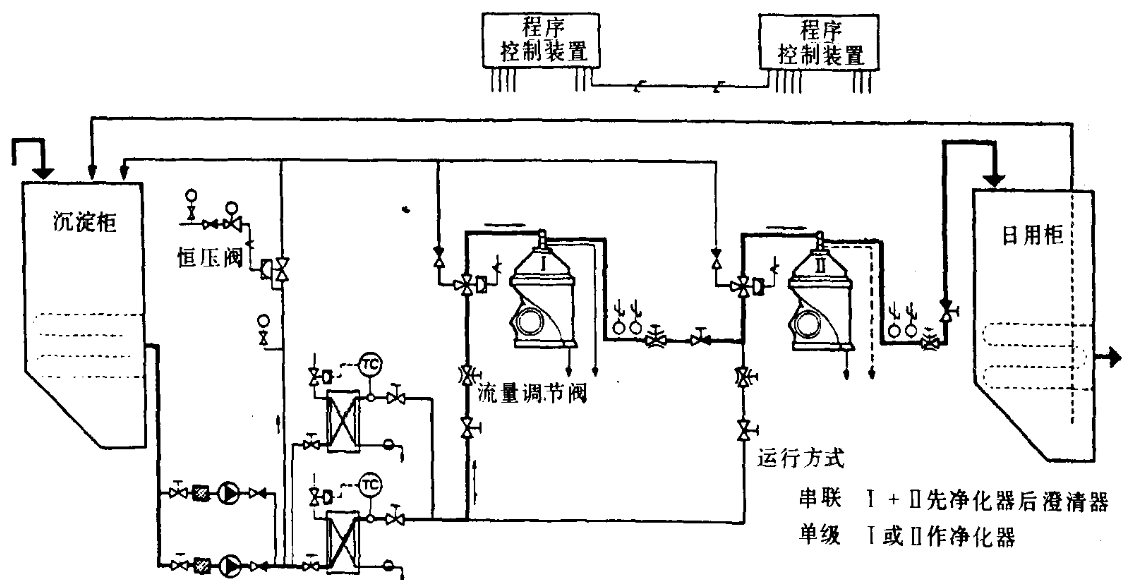


图 6.1.2　22　串联运行燃油净化系统原理图

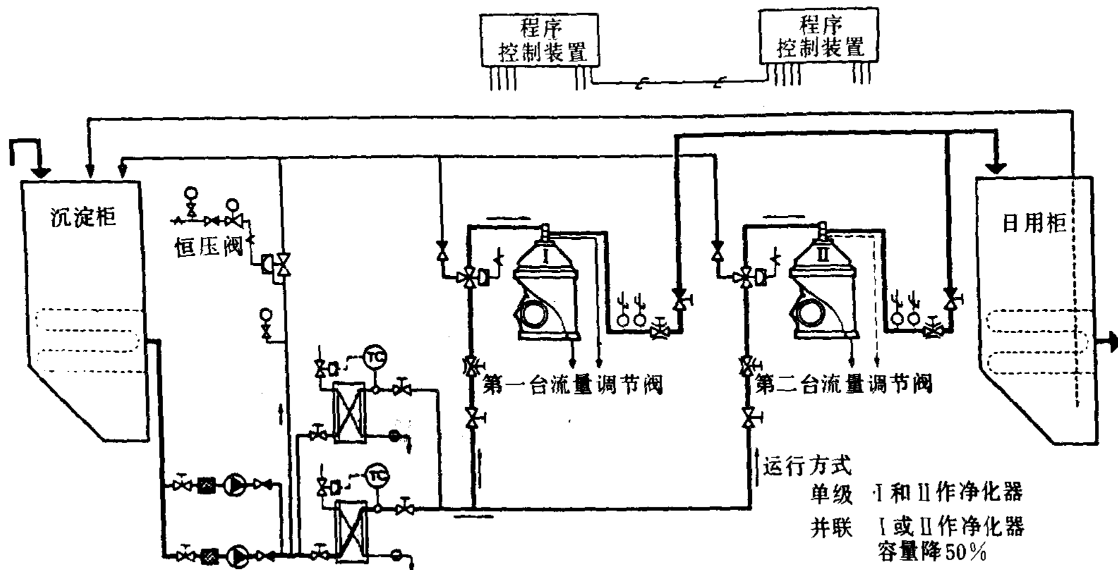


图 6.1.2—23 并联运行燃油净化系统原理图

燃油在净化系统中要达到良好的分离效果，保持恒定的分离温度。图 6.1.2—24 所示为不同燃油的密度和水相对于温度的关系曲线图。加热后，油和水的密度变化是不一样的。当油处于 98℃温度时，油和水之间的密度差最大，净化劣质燃油时，在这个温度下可取得最佳分离效果。为保证最佳的分离水准和正确的分界面位置，必需保持恒定的分离温度，其温度精度不应超过±2℃。这可通过控制回路来实现，控制系统包括温度传感器、控制器和蒸汽控制阀。

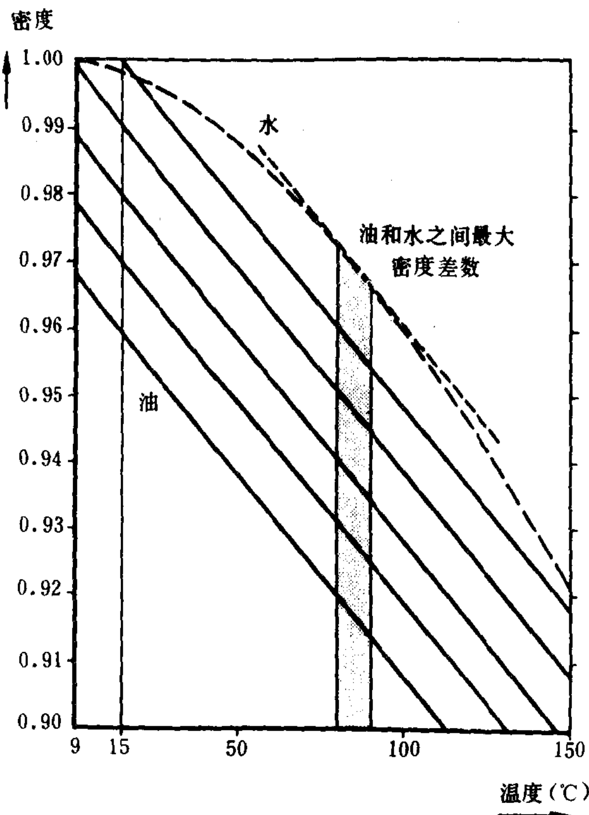


图 6.1.2—24 燃油和水相对于温度关系曲线图

燃油经沉淀和分离处理后，较大颗粒的杂质已被除掉，剩下悬浮在油中的微小颗粒杂质则由设在系统中的粗、细滤器滤掉。粗、细滤器设在日用油柜与主机喷油泵之间的管道上。粗滤器能过滤颗粒直径大于 0.1～0.2mm 的杂质，细滤器可将颗粒直径大于 0.05mm 的杂质滤掉。劣质燃油中不可燃杂质较多，燃料中的烷烃沉淀物及大量的催化剂消耗所产生的金属颗粒含量(通常是铝、硅化合物)和沥青的含量较多。沥青含量太高能使分油机的功能失常，为加强燃油净化效果，目前多采用安装自清滤器来辅助解决分油机的分离不足。自清滤器主要是通过回流冲洗 排除燃油中杂质。实践表明，分油

机和滤器串联使用对清除催化剂细粒有很好的效果。

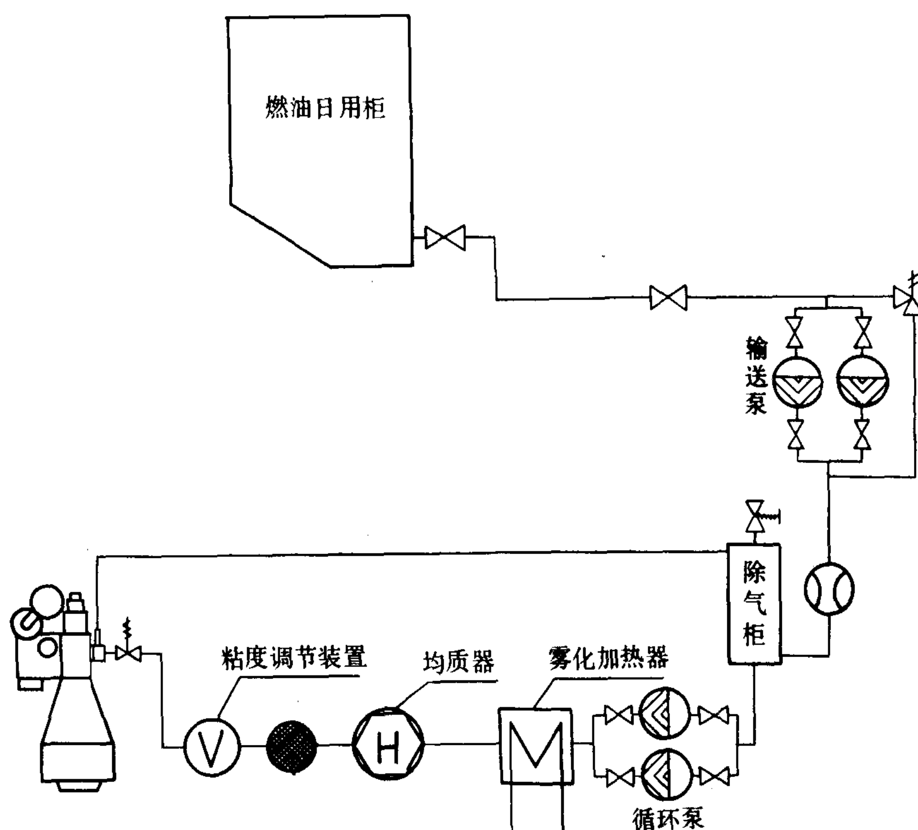


图 6.1.2—25 带有均质器的燃油系统原理图

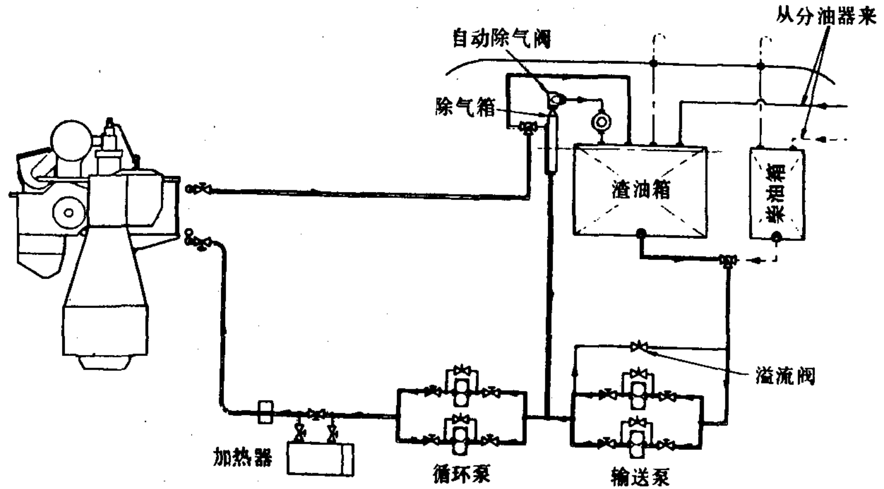
近年来在燃油净化系统中采用了一种称为均质器的装置。它能排除燃料油中沥清沉淀引起的分油机运行困难，使燃油分油机功能得到正常发挥。通常，在离心分离之后设置均质器(如图 6.1.2—25 所示)，它是用来将离心分离后在燃油中所剩下的水和胶质、沥青等大微团颗粒细化、搅匀，增加燃油的燃烧面积，使劣质燃油得到充分燃烧。同时可使燃油中所剩下的水分成为良好的乳化液。良好乳化油的燃烧使油滴的焦化减轻，减少结炭，机件磨损程度下降。现今国内使用的较高粘度的燃料油是采用渣油和 30 号重柴油按比例混合成。这种机械的混合往往使燃料油形成分层不相容现象，采用均质器能很有效地解决分层不相容的问题。

3.2.1.3 燃油的供给

燃油供给系统，通常指：经过净化后符合要求的燃油存放在日用油柜中，再由燃油供给泵或靠油的重力，经过滤器后，提供给主柴油机、辅柴油机和辅锅炉等使用的所需管路与设备。小型船舶为了简化设备，往往采用提高日用油柜与柴油机喷油器进口之间距离的位置高度，依靠油的静压头供油。大、中型船舶一般采用齿轮泵或螺杆泵作为供油泵。由燃油日用柜及柴油日用柜流出的燃油经燃油回油集油筒—粗滤器—(流量计)—燃油供给泵—雾化加热器—粘度计装置—细滤器(自清滤器)—进入主机。近来，由于劣质燃油被广泛应用，为保证良好的流动性和燃烧，雾化所提出的技术要求，必须对燃油加热，提高油温，保持必要的粘度。粘度计装置的作用是根据燃油粘度来控制通到雾化加热器中的蒸汽量。当燃油粘度变大时，粘度计装置发出信号，使蒸汽调节阀开大，增加通至雾化加热器中的蒸汽量，提高燃油温度使之粘度降低。对使用轻柴油则不必经过雾化加热器及粘度计装置，可利用旁通管路直接进入主机。在回油集油筒上没有透气管，它可以保证回油经过时不断地排除燃油中的气体。自燃油或柴油日用柜流出的

燃油(柴油)还可供柴油发电机组燃用;辅锅炉用的燃油,利用锅炉燃油泵经过滤器从锅炉日用油柜吸入,后经电磁阀等燃烧装置供入辅锅炉燃用。

a) 不加压式燃油供油系统



b)加压式燃油系统

图 6.1.2 26 燃油供给系统原理图

a)不加压式;b)加压式

使用高粘度的燃油时，为保证良好的雾化，要求高的预热温度。燃油加热温度的提高，在燃油供油系统中将产生汽化或空泡，影响使用性能。为防止出现沸腾汽化，目前在燃油供给系统方面已广泛采用加压式燃油供油系统。即在原有的燃油系统中从燃油日用柜至燃油供给循环油路之间增加了一台低压输送泵，组成低压回路，维持压力在 0.5MPa 左右。回路是通过一只缓冲装置连到燃油日用柜，缓冲装置作为进主机多余燃油回油及补偿燃油温度用，高压循环泵输送燃油到柴油机喷油泵，途经雾化加热器、粘度计及细滤器等。柴油机喷油泵进口处的燃油压力应为 0.8MPa 左右，相当于燃油循环泵的输出压力 1MPa。这样的压力，足以防止燃油系统中即使油温加热到 150℃也不会产生汽化和空泡。图 6.1.2—26 所示为不加压式燃油供给系统和加压式燃油供给系统原理图。当前 B&W 柴油机公司和 Sulzer 柴油机公司对燃油供给系统均规定必需采用加压式燃油供给系统。

3.2.2　燃油系统的要求

1)燃油的闪点(闭杯试验)一般应不低于 60℃，应急发电机组的原动机所用燃油的闪点可不低于 43℃。

2)燃油系统应保证船舶在横倾 10 度，纵倾 7 度的情况下，管路仍能正常供应燃油。为保证燃油系统连续供油，大、中型的船舶应设有独立驱动的燃油输送驳运泵，小型船舶应设有手动泵，若依靠重力油柜供油，油柜则必须设置在柴油机高压油泵进口处上方 1m 以上的高度。

3)所有独立驱动的燃油驳运泵，锅炉燃油泵、柴油机燃油供给泵及分油机的动力供应电源，除能就地切断外，尚须能在其所在舱室外面易于到达的地点进行应急切断。

布置在双层底以上的储油舱、柜、澄清舱(柜)和日用燃油舱(柜)的每一供油管及机、炉舱内的每一燃油平衡管路，均应在舱(柜)壁上装设阀或旋塞。在机炉舱内，上述的阀和旋塞除能就地关闭外，尚须能在该阀和旋塞所在处所之外易于接近和安全的地点进行关闭。小于 500 总吨的船舶，仅在日用燃油柜上须设有遥控关闭装置。

4)燃油管路布置必须与其他管路隔离。不许油进入结构上不宜装油的舱(柜)或进入用于装载淡水的舱(柜)。燃油压力管应尽可能远离热表面和电气设备。如不能做到时，则该管子应位于良好照明和易于观察之处，且其任何可拆卸的管子接头应与热表面和电气设备保持一段安全的距离，或用带有适当泄放装置的设施将该接头予以遮蔽。

5)输送热燃油的压力管，应为具有法兰接头或焊接接头的无缝钢管或其他合适材料的管子。法兰接头的数量应保持最少，管子及其法兰的尺寸应至少能承受 1.37N/mm^2 的压力，其接头垫片应耐油并在油温达 150℃时不致渗漏。吸入、驳运和其他低压油管以及所有通过储油舱的管子应为钢管或铸铁管，管子接头应为能承受不小于 0.69N/mm^2 压力，并经机加工的法兰接头。

6)澄清油柜，日用油柜和燃油滤器，不得直接位于锅炉或其他高温热表面的上方。澄清舱(柜)应有放水的设施。如果未设置澄清舱(柜)时，则燃油舱或日用油柜应有放水的设施。且燃油舱(柜)放水用的阀或旋塞应为自闭式的，而且应设有收集油柜排出的含油污水的适当舱(柜)。

7)燃油舱(柜)、加热器或分油机内的燃油加热用蒸汽应为饱和蒸汽，其压力应不大于0.69 N/mm^2。加热燃油的蒸汽管路的凝水或热水管的回水，应排至具有良好照明的专用凝水观察柜内。加热器的燃油侧应装设安全阀，并应调整在压力高于供油泵安全阀的开启压力(或供油泵的最大输出压力)0.34N/mm^2 时开启。安全阀排出的油应引至安全的地点。

8)在燃油系统中给主柴油机供油的燃油供给泵(增压泵或加压式系统中循环泵)，均应设

有备用泵，当这些主泵发生故障时，其备用泵应能立即供油。

在主柴油机燃油供油管路上，至少应安装两只滤器或一只双联滤器，其布置应能在不中断向柴油机供应过滤燃油的情况下，对任何一只滤器进行清洗。

9)燃油舱应尽可能是船体结构的一部分，并最好与双层底舱具有共同的限界面，而且油舱与机器处所的共同限界面的面积应减至最小程度。一般应避免使用立置式的燃油柜，尤其在客船上机器处所内禁止使用，倘若必需使用时，在该油柜下面，应设置油盘。此外，对燃油泵(包括增压泵、循环泵、燃油低压输送泵等)、过滤器、锅炉燃烧器以及需经常打开进行清洁和调整的燃油装置下面，均应设置油盘。油盘内的残油应泄至专设的污油柜内。

10)为监视和控制燃油的状态，在系统的适当部位应设置一些测量仪表和控制装置，如流量计、粘度自动调节装置、油柜液位测量装置、温度计和压力表等。

11)为防止燃油在储存和运送过程中凝固而中断供油，各油舱(柜)均应设有蒸汽加热管，油柜外表面应敷以绝热材料，输送燃油的管路，特别是在日用油柜与主机之间的燃油管路上，应装设蒸汽保温伴行管，并用石棉包扎。

3.3 系统的主要设备和估算

燃油系统可分为轻柴油、重柴油和燃料油三种，每种的系统各有其不同的设备要求。燃油系统中的主要设备有下列几种：

1)油柜

用以储存船上经常使用的燃油(包括未经或已经清滤过的燃油)。一般用钢钣焊制成，柜上应装有油位计、进出口管座钣、空气管、溢流管和油盘等。空气管端伸入大气时，其管端口必须装有有色金属安全网以防火星或杂物落入。储存重油和燃料油的油柜内为降低燃油的粘度便于泵送和清滤，需装设加热盘管，加热盘管在任何情况下不能露出燃油液面。

日用油柜容积可按下式估算：

(1)主、辅机日用油柜容积 V_z

$$V_z = g_{e_1} \cdot P \cdot t \cdot \frac{1}{\rho} \cdot \eta_v \cdot 10^{-3} \quad m^3 \qquad (6.1.2\text{—}11)$$

式中：g_{e_1}——主机或辅机的耗油率，g/kW·h；

P——主机持续功率或辅机额定功率，kW；

t——供油时间，一般取 6～12h；

ρ——燃油密度，kg/m³；

η_v——容积系数，一般取 1.1～1.2。

(2)辅锅炉日 用油柜容积 V_g

$$V_g = g_0 \cdot t_2 \cdot \frac{1}{\rho} \cdot \eta_v \cdot 10^{-3} \quad m^3 \qquad (6.1.2\text{—}12)$$

式中：g_0——辅锅炉耗油率，kg/h；

t_2——供油时间，一般取 6～8h；

ρ——燃油密度，kg/m³；

η_v——容积系数，一般取 1.1～1.2。

燃油澄清计算与日用油柜相同，只是把供油时间改为澄清计算时间，一般采用 24～48h。

2)过滤器

过滤器是净化燃油的设备，按用途可分为通路过滤器、上油过滤器和预防过滤器。通路过

滤器装在燃油柜与输油泵之间的外部系统中。上油过滤器装在低压输油泵和高压燃油泵之间的内部系统中。预防过滤器实际上是喷油器或合并式喷油器的零件。它们通常装在喷油器的进油管的接头中。按过滤效果可分为粗过滤器和细过滤器。按构造可分为网式、缝隙式、多孔填料的过滤器。

粗过滤器一般为网式或缝隙式，细过滤器通常是软厚纸填料或棉纱填料。网式过滤器的过滤网采用每平方厘米有400～500个孔的黄铜网，铜网由直径为0.2～0.35mm的黄铜线织成。表面面积按每平方厘米的滤网，在一小时内通过1～1.5L的燃料计算。对细网式滤器，采用较细的黄铜网或镍丝网，其网在每平方厘米上有3000个孔，金属线的直径约为0.12mm。表面面积按每平方厘米滤网在1h内滤油0.5～1L计算。缝隙式滤器，其薄片间距为0.1～0.03mm。

燃油在过滤器中的过滤速度(即单位时间通过的油量)与过滤面积、过滤器前后压力降、过滤器过滤阻力及油的粘度等有关。

过滤含杂质多的燃料油时，过滤器滤芯容易堵塞，滤器要经常清洗更换，一般可采用双联过滤器来交替使用。为保证过滤质量，目前采用燃油自动清洗滤器，使滤器经常处在清洁状态下工作。

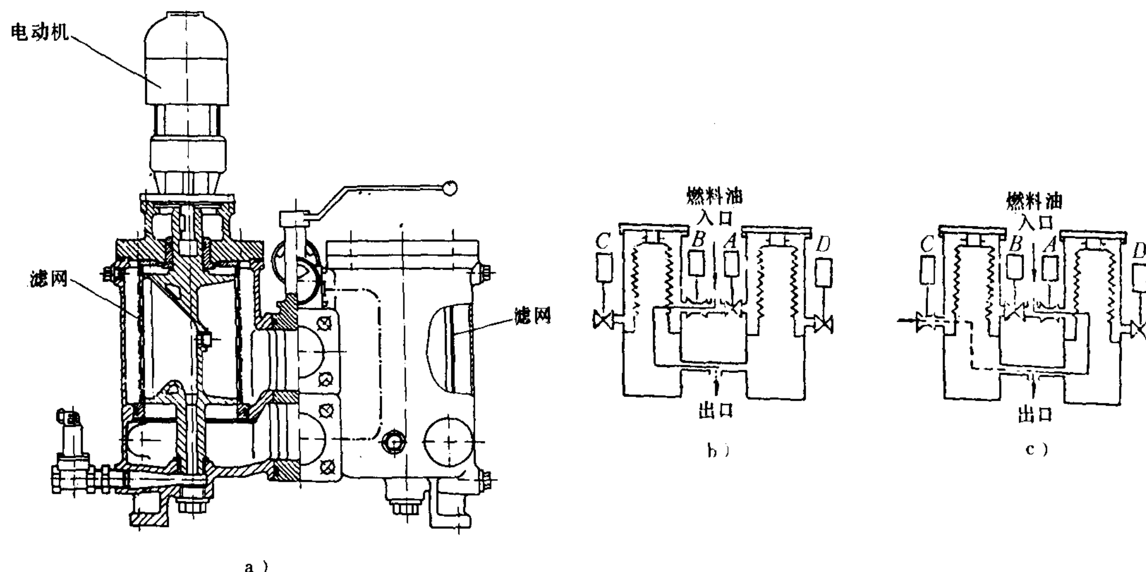


图 6.1.2—27 燃油自动清洗滤器

燃油自动清洗滤器的工作原理，是利用一部分已经过滤好的燃油由滤芯的里面向外逆向压出，利用这种压力使附着在滤芯外表面上的杂质被冲刷脱落而排出。如图6.1.2—27所示，b)为正常操作情况，当阀B开、阀A和杂质排出阀C和D都关着，燃油在左侧滤芯中被过滤。c)是清洗操作情况，由于燃油在左侧滤芯被过滤，杂质便附在该滤芯外表面上，这时过滤压力逐渐升高。当升高到一定压力时，使阀B自动关闭，而阀A自动开启，燃油进入到右侧滤芯被过滤。此时，可以让已在右侧滤芯过滤好的燃油中的一部分，大约为10%左右的燃油进入左侧滤芯进行由里向外的逆向清洗冲刷。清洗下的杂质则由阀C排出。在燃油系统中采用这种燃油自动清洗滤器时，其燃油供给泵的排量必须考虑其滤器清洗时燃油逆向清洗冲刷量。

过滤器计算时，其过滤面面积F可以按下式计算：

$$F=\frac{V}{C}=B\cdot\frac{N_e\cdot G_e}{C\cdot\rho}\quad m^2 \qquad (6.1.2—13)$$

式中：V ——燃料的容积耗量，m^3/h；

C ——在滤芯中燃料的流速，m/h；

N_e——柴油机的功率,kW;

G_e——燃料耗量,kg/kW(有效)·h;

ρ——燃料的密度,kg/m^3;

B——储备系数,即考虑使用时过滤器的脏污,一般取 3~5。

3)离心式分油机

离心分油机的结构和原理详情可参阅第5卷第6篇。

离心分油机的选型,可按下式计算:

$$V_e=\frac{P \cdot g_e \cdot 24 \cdot 1.18}{\rho \cdot t} \quad (6.1.2—14)$$

式中:V_e——有效分油量,l/h;

P——柴油机最大持续功率(MCR),kW;

g_e——柴油机的耗油率,kg/kW·h;

ρ——燃油的密度,kg/cm^3;

t——每天进行分油的时间,h;

1.18——储备系数。

燃油粘度是影响净化效果的一个重要因素,对劣质燃油必须提高分油温度来降低其粘度,有利于机械杂质的分离。表 6.1.2—3 列出为 α—Laval 公司推荐的分油机分离量与粘度、分离温度的关系。表中给出了最大推荐的分离量与额定分离量的百分比。(注:额定分油量是按处理轻柴油并在分油温度F粘度低于 $20\times10^{-6}m^2/s$ 决定的)。

表 6.1.2—3 **最大推荐分离量与粘度、温度关系**

粘度 运动粘度 $m^2/s/50℃$	最大推荐分离量与 额定分离量之比%	分离温度 最低、最高℃
$\geq30\times10^{-6}$	62	70~98
$\geq40\times10^{-6}$	62	80~98
$\geq60\times10^{-6}$	47	80~98
$\geq80\times10^{-6}$	40	80~98
$\geq100\times10^{-6}$	45	90~98
$\geq180\times10^{-6}$	31	90~98
$\geq380\times10^{-6}$	26	98
$\geq460\times10^{-6}$	22	98
$\geq600\times10^{-6}$	18	98

表 6.1.2—4 为分油机有效分油量与分油机台数的关系。表 6.1.2—5 为分油机台数与油种的关系。

表 6.1.2—4 **燃油分油机的总分离量与主机功率的关系**

P_e(kW)	总分离量(l/h)
500~2500	1,000~2,000
2500~5000	2,000~4,000
5000~7000	4,000~6,000
7000~20000	6,000~13,000
20000 以上	13,000 以上

注:燃油分油机于分离前其分油最佳加热温度与滑油分油机相同。

表 6.1.2—5 **分油机台数与油种关系**

燃油种类	单机分离	双机分离
低质燃油	2台(自动)	3台(人工)2台(自动)
重柴油	2台(自动)	3台(人工)2台(自动)
轻柴油	1台(人工或自动)	1台(人工或自动)

4)加热

油舱中燃料油加热温度一般比燃料油凝固点高15℃左右,各种用途的燃油加热温度要求见表6.1.2—6和表6.1.2—7所示。通常采用饱和蒸汽或电能作为加热源。预热蒸汽压力不应超过0.785MPa(8kgf/cm²)。

舱(柜)加热所需的热量估算应考虑的因素:

(1)将燃油自最初温度加热到所要求温度的实际吸收热量;

(2)经油舱(柜)壁与外界界质(空气、海水或江水)相接触的散热损失;

(3)经油舱壁与相邻油舱所散失的热量。

油舱(柜)加热和保温所需蒸汽消耗量可按下式估算:

(1) 加热时

$$G=\frac{KF}{i}(t_2-t_1)\frac{1}{1-e^{-\frac{KF}{WC}\cdot T}}+\frac{KF}{i}(t_1-t_0) \qquad (6.1.2—15)$$

(2) 保温时

$$G'=\frac{KF}{i}(t_2-t_0) \qquad (6.1.2—16)$$

式中:G ——加热时油舱(柜)的蒸汽消耗量,kg/h;

G'——保温时油舱(柜)的蒸汽消耗量,kg/h;

K——散热面的导热系数,J/(m²·K·h);

F——散热面积,m²;

i——蒸汽的有效热量,J/kg;

W——舱(柜)内的油储存量,kg;

C——燃油的比热,J/(kg·K);

T——加热时间,h;

t_0——外界温度,℃;

t_1——燃油加热前温度,℃;

t_2——燃油加热后温度,℃。

散热面的传热系数可参阅表6.1.2—8。

表 6.1.2—6 **20号,30号重柴油加热温度(℃)**

加热部位	20号重柴油	30号重柴油
沉淀油柜(舱)	22~25	32~35
日用油柜和滤器	30~35	40~45
喷油嘴	50~60	60~75

表 6.1.2—7　**加热温度及单位加热面积比**

名　称	加热温度(℃)		加热面积比(m^2/m^3)	
	180cst/50℃	380cst/50℃	180cst/50℃	380cst/50℃
燃料油储存柜	30	38	0.06	0.06
燃料油沉淀柜	60	60	0.25	0.50
燃料油日用柜	60	80	0.25	0.30
分油加热器	90～98	98		
雾化加热器	90～110	110～150		

注:单位加热面积比指柴油机船的油舱(柜)容量在每 $1m^3$ 油量所需的加热盘管面积 m^2。

表 6.1.2—8　**散热面的导热系数**

传 热 面	热 流 向		导热系数 $10^3 \cdot J/(m^2 \cdot K \cdot h)$	
			K_1	K_2
外 钣	油 油 空 气 空 气	海 水 大 气 大 气 海 水	15 — — —	15 3.98 4.30 9.00
甲 板	油/空气 空 气	大 气 大 气	6.1 —	3.42 (4.55) 1.44 (5.0)
船 底	油	海 水	5.4	2.36
隔 壁	油 空气	海水 空气	5.2～5.6 —	4.05 4.30

注:括弧内所示为液态间的值,表中的传热系数的值已考虑扶强材的影响。

输送加热后的燃油管路都要设置蒸汽保温装置及进行绝热包扎。管路保温用的蒸汽压力不超过 0.39MPa($4kgf/cm^2$)。蒸汽保温装置主要有二种形式:

(1)蒸汽内插管:如图 6.1.2—28 所示,一般用于大于∅50mm 的燃油管之中,保温效果好,但加工复杂。

(2)蒸汽伴行管:通常用于小管径的燃油管,保温效果较差,但施工方便,所以应用较广泛,如图 6.1.2—29 所示。

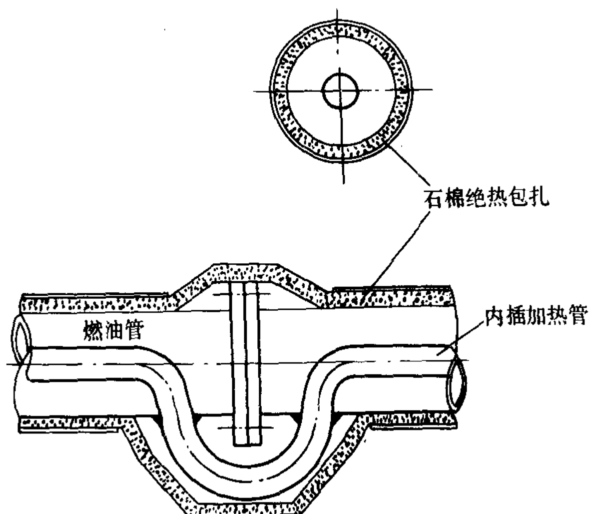


图 6.1.2—28 蒸汽内插管示意图

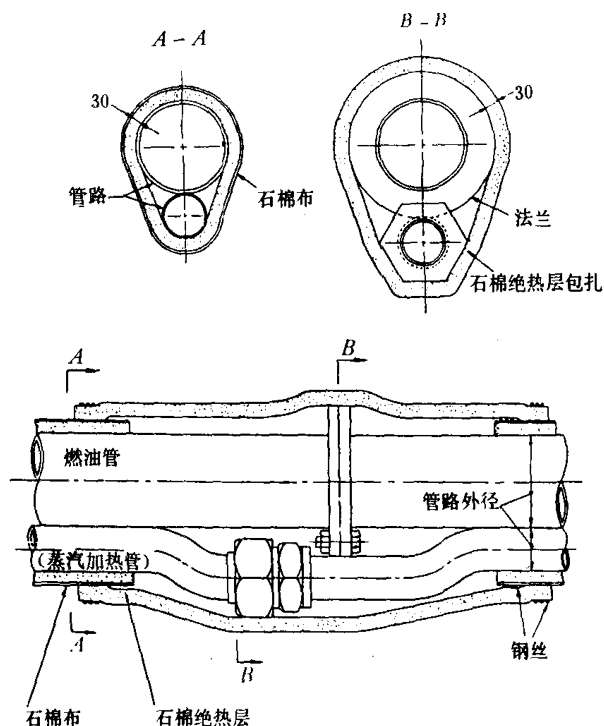


图 6.1.2—29 蒸汽伴行管示意图

为提高分油效果，燃料油的粘度必须保持在最佳状态，通常燃料油通过分油加热器加热，使燃料油的粘度保持有 $24\times10^{-6}m^2/s$ 左右。这时加热温度约为 90～98℃。分油机的燃油加热器选型计算方法，可参照表 6.1.2—10 的计算步骤。

当燃料油进入柴油机喷油嘴前，为保证燃油易于雾化燃烧。往往使燃油通过雾化加热器进行雾化加热。使其粘度适合燃料油喷射雾化的要求，进入喷油泵的燃油粘度由粘度计自动控制装置控制，以保持燃料油喷射的最佳粘度。粘度过高将会使喷射系统产生超限度高压而损坏部件，同时使燃油雾化恶化而引起燃烧不良；反之，粘度过低也会影响雾化质量。表 6.1.2—9 所示为船舶低速柴油机喷油粘度和最低加热温度值。

6.1.2—9 **低速柴油机最大喷油粘度及相应的最低加热温度值**

柴油机名称	Sulzer		B&W		MAN	
最大喷油粘度与最低加热温度 / 燃油	最大喷油粘度(s)	最低加热温度(℃)	最大喷油粘度(s)	最低加热温度(℃)	最大喷油粘度(s)	最低加热温度(℃)
40cst/50℃	112	57	100	60	75	71
80cst/50℃	112	78	100	80	75	91
180cst/50℃	112	91	100	92	75	104
380cst/50℃	112	100	100	102	75	113

这里必须指出，燃油的粘度除与温度有关外，它随着油压的提高也相应地增加，因此，在考虑燃油在喷嘴处的粘度时，必须注意喷油压力的影响。

表 6.1.2 -10　　　　　　　　　　**加热器面积计算步骤与方法**

序号	数 据 名 称	符号	单位	公式来源及说明
1	被加热的油量	G	kg/h	由分油机排量给出
2	油进加热器的温度	t_1	℃	由油舱加热温度给出
3	油出加热器的温度	t_2	℃	一般取闪点以下(重柴油闪点小于 65℃)
4	进油压力	p_1	Pa	分离机净油泵压力
5	加热饱和蒸汽压力	p_2	Pa	由锅炉工作压力定(表压)
6	加热蒸汽温度	t_H	℃	查表(见设计手册)
7	加热蒸汽热焓	i_1	J/kg	查表(见设计手册)
8	燃油的热焓	i_1	J/kg	查表(见设计手册)
9	油的平均温度	t_{cp}	℃	$t_{cp}=1/2(t_1+t_2)$
10	燃油的密度	r	t/m^3	查(设计手册)
11	燃油的比热	c	J/kg℃	依温度 t_{cp} 查表,查(设计手册)
12	加热所需要的热量	Q	J/h	$Q=C\cdot G\cdot(t_2-t_1)$
13	加热器的热损失	η	%	损失的热量取 0.1
14	油加热所需蒸汽量	D	kg/h	$D=Q\eta(i_1-i_2)$
15	油在管内的流速	V	m/s	见(设计手册),一般 v=0.75m/s
16	蒸汽向流体的导热系数	K_c	$W/m^2℃$	$K_c=300\sqrt{V^3}$
17	计算导热系数	K	$W/m^2℃$	$K=0。9K_c$
18	对数平均温度	Δt	℃	$\Delta t=\dfrac{t_2-t_1}{23\lg\dfrac{t_H-t_1}{t_H-t_2}}$
19	加热面积	A	m^2	$A=Q/K\cdot\Delta t$

5)燃油均质器

燃油均质器的型式很多,图 6.1.2—30 为一种带有行星轮系增速机的均质器,它由缸体 3,转臂 1 和滚片 2 等组成。在均质器上均布着 3~4 组滚片,因离心力作用,在转子上的 3~4 组滚片都紧压缸壁,滚片一面随转臂公转,一面又绕滚片轴线自转,滚片公转时,紧压缸壁油层上,相当具有 3~4 个油楔的滑动轴承工作状态;滚片因摩擦力的作用而高速自转时,带动油层,有利于楔形间隙中有充足油量而形成动压润滑,这种在滚片和缸壁之间形成厚度很薄的油膜,当沥青颗粒大于油膜厚度时,受滚片极高的挤压力而粉碎成微小颗粒。同时,在滚片自转时,粘附于滚片表面上的油液沿自转方向喷

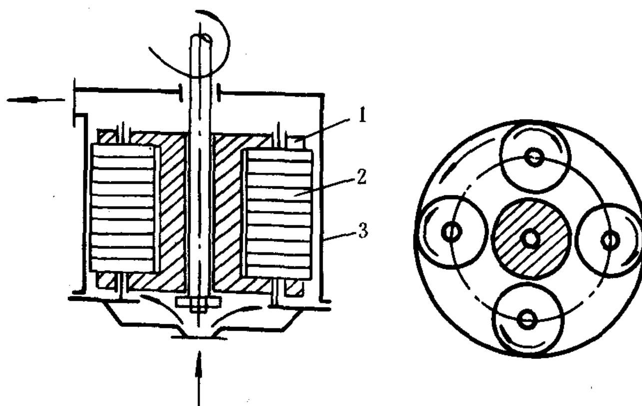


图 6.1.2—30　燃油均质器结构简图

1—转臂;2—滚片;3—缸体

射，形成局部紊流和涡流等流体动力冲击，在边界层产生速度梯度而剪切。从而使油液中多相系(由悬浮液、乳化液、胶质微团溶液等构成)的各分子间结合力遭到破坏，对送入不同密度的燃油，掺水(或添加剂)的均化乳化问题很容易实现。如图 6.1.2—27 中(a)所示可知，将具有一定温度的燃油(从日用油柜来)送入均质器，因转臂在主轴带动旋转产生离心力将燃油甩向缸壁，然后沿缸壁自下而上地呈螺旋线形运动，经过滚子多次碾压后由出口排出，经加热器加热到喷射粘度，再由增压泵送到高压油泵进入主机。

均质器在燃油系统中安装方式，通常有二种：

(1)与主机增压泵并联安装，并在主机前设置一只细滤器；这种安装方法的缺点是使增压泵的排量增大。

(2)与日用油柜组成循环系统，用均质器作燃油输入用；它的特点是在主机低负荷时与日用油柜构成循环系统，可消除日用油柜的混合燃油分层现象。均质器的排量只需同主机实际耗油量相符合即可。这种装置方式，又可节省一台燃油输送泵。(参见图 6.1.2—25)

6)燃油混合装置(燃油混油装置)

燃油混合装置就是使重柴油和燃料油(渣油)分别采用独立的油路，各自经阀、油泵、流量计等送入混合器进行充分而有效的混合，然后输出所期望的混合油。这种混油系统所构成的组装单元即燃油混油装置通常分为静态混合装置和动态混合装置。静态混合装置，其混合器结构简单，没有运动部件，容易维修，安装方便，并且可改变和控制燃油比例等优点。所以得到普遍的使用。动态混合装置的特点是：混合效果好，混合油具有均匀、稳定、安定期长的特点，而且混合比率精度高、范围大、调节方便、系统工作可靠、使用、维修方便，近来也得到广泛使用。图 6.1.2—31 和图 6.1.2—32 分别为静态和动态混油装置原理图，两者的区别在混合器上，动态混合器是带有叶轮搅拌装置。

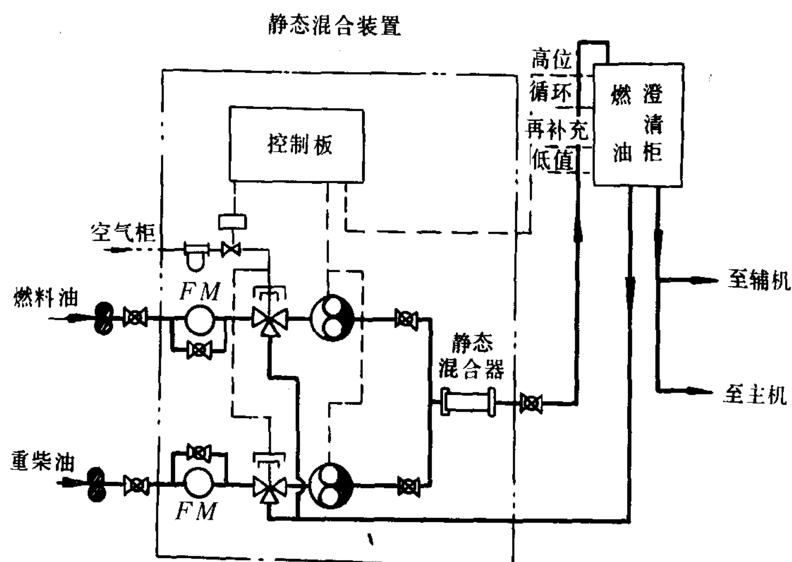


图 6.1.2 31 静态燃油混合装置原理图

燃油混油装置是由重柴油泵、循环泵、泵的起动/停止控制板、重柴油、燃料油(渣油)流量计(装有流量指示器)，旁通阀和静态(动态)混合器装置组成。重柴油泵和燃料油泵装有一个减速器，通过改变泵的速度来任意改变泵的流量。重柴油泵输送重柴油舱来的重柴油，通过重柴油流量计和止回器进入静态(动态)混合器。另一方面，燃料油(渣油)由燃料油泵从燃料油舱吸入，通过燃料油流量计和止回阀输入静态(动态)混合器，重柴油和燃料油在静态(动态)混合器进口汇集后进入静态(动态)混合器内进行混合。在静态混合器内部有七个部件，每当油通过时，被重复扩散和混合，从混合器出口形成细而均匀的油粒子。而动态混合器内部装有搅拌的叶轮，由电机带动叶轮转动，使两种油在搅拌中进行有效的混合，得稳定而均匀的油粒子。

混合后燃油通过混合油管路送到混合油沉淀舱储存。同样亦可通过混合油管路直接送到主、辅机喷油泵入口，供给主、辅机燃用，如图 6.1.2—33 所示。

混油的比率调节可通过精确地控制进入管路的重柴油和燃料油的流量来达到。通常，是操纵重柴油泵和燃料油泵的速度调节器手柄来调整的，整个系统的正常运行由控制箱来实现。

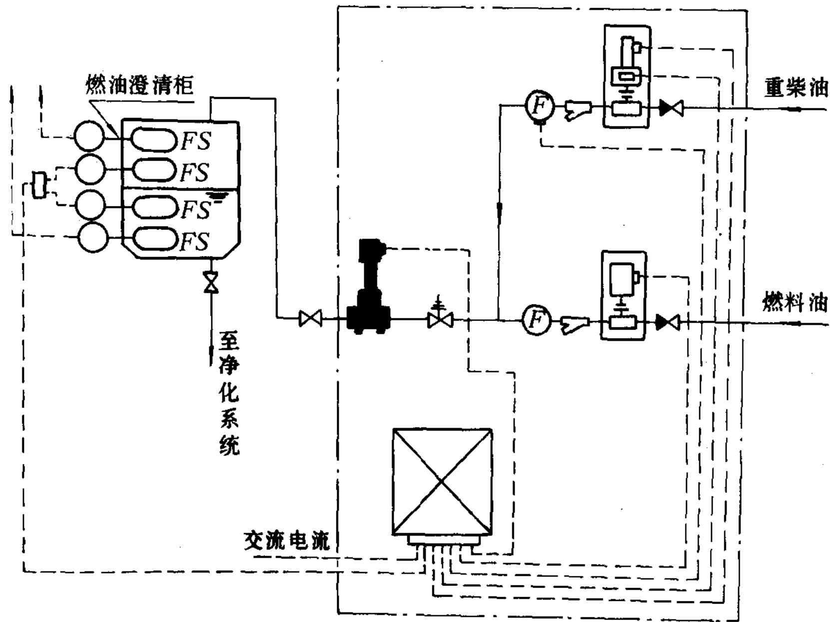


图 6.1.2—32　动态燃油混合装置原理图

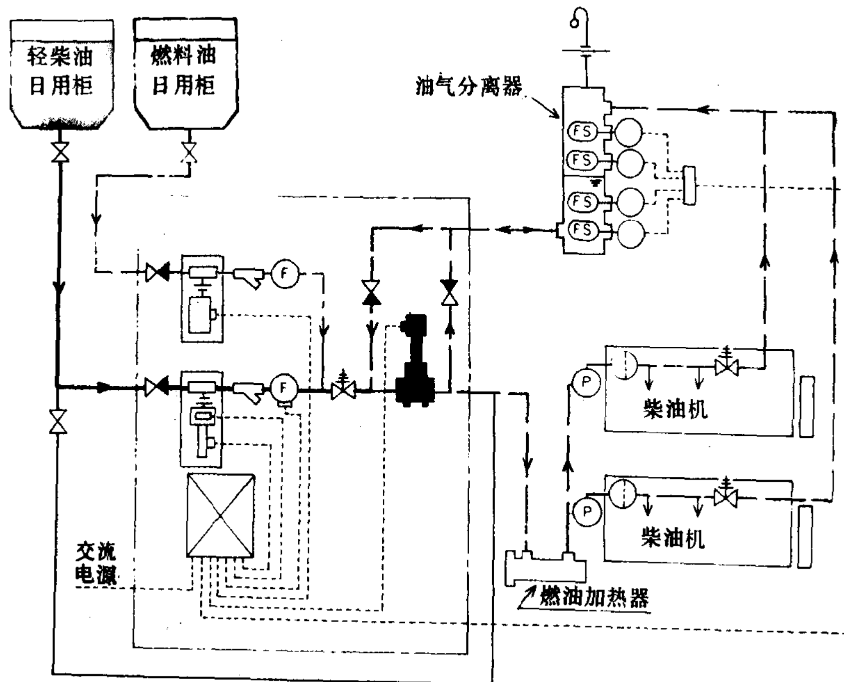


图 6.1.2—33　燃油混合后直接进主机系统原理图

7)燃油供给泵

燃油供给泵多采用输出压头高，有干吸能力的容积式泵。如齿轮泵或螺杆泵。考虑输送的油为加热后的燃油，所以要求泵能在 105～140℃工作运行。燃油供给泵的配置数量是根据燃油系统不同的要求而设置。通常，燃油供给泵排量按下式估算：

$$Q_R = g_e \cdot P_n \cdot B \cdot \frac{1}{\rho} \cdot 10^{-3} \qquad (6.1.2-17)$$

式中：Q_R ——燃油供给泵排量，m^3/h；

g_e ——柴油机耗油率，g/kW · h；

P_n ——柴油机持续功率，kW；

B ——裕度系数，一般取 2～3；

ρ ——燃油密度，kg/m^3。

燃油供给泵压头，一般取 0.245～0.588MPa；若用燃料油，则取 0.49～0.98MPa。

8)燃油输送泵

燃油输送泵主要用于机舱驳运各种燃油用。它的排量要求在半小时内能泵满一只能储存主柴油机持续最大功率 8 小时耗油量的澄清柜，估算公式如下：

$$Q_v = \frac{16 \cdot P_n \cdot g_e}{1000\rho} \qquad (6.1.2-18)$$

式中：Q_v ——燃油输送泵排量，m^3/h；

g_e ——柴油机耗油量，g/kW · h；

P_n ——柴油机持续功率，kW；

ρ ——燃油密度，kg/m^3。

如果燃油输送泵作为驳运日用油柜时，其排量必须考虑机舱中其它日用油柜容量的总和。燃油输送泵的压头与油柜的安装高度及油种有关。通常取 0.024～0.343MPa。

9)燃油粘度调节装置

燃油粘度调节装置见图 6.1.2—34。

燃油粘度调节装置由粘度发讯器、仪表板(包括空气过滤减压阀、滤波稳压器、差压变送器、粘度调节器、副线板)及气动薄膜调节阀组成。它是通过粘度发讯器，把测得的燃油粘度按比例地转换成差压讯号，传给差压变送器，通过差压变送器的转换作用，把粘度发讯器来的差压讯号转换成 0.02～0.1MPa(kg/cm^2)的标准信号，该标准信号一方面传送到记录器或指示器，另一方面传送到粘度控制器，作为调节器的信号源，与调节器上的给定值进行比较后，通过比例积分作用输出一个 0.02～0.1MPa(kg/cm^2)的控制气压到气动薄膜调节阀控制气动薄膜调节阀的开度来改变加热燃油的加热蒸汽量，达到控制燃油粘度的目的。图 6.1.2—35 为燃油粘度发讯器的结构原理图。

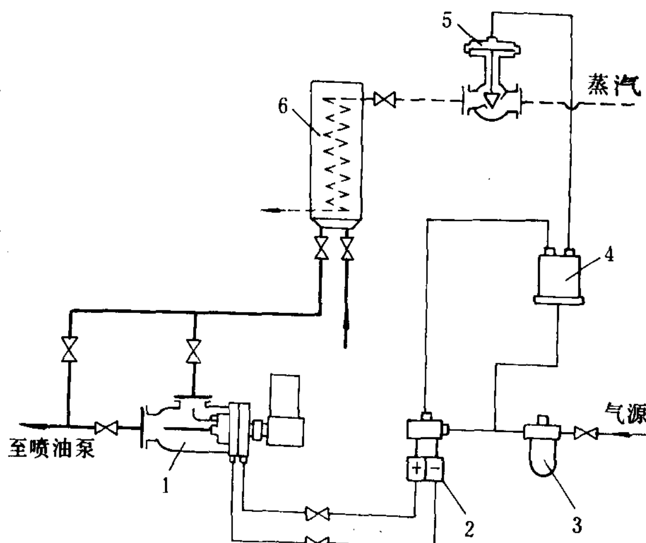


图 6.1.2—34 燃油粘度自动控制原理

1—燃油粘度发讯器；2—气动差压变送器；3—空气过滤减压阀；4—气动器针指示调节仪；5—气动薄膜调节阀；6—雾化加热器

经雾化加热器加热后的燃油进入粘度发讯器，一路进入差压容器 3 的 A 腔保持与总管路

中同样油压；另一路微量的燃油被恒速带动的齿轮油泵 6 定量地吸取，并通过一根内径为 2 毫米的毛细管 7 排出，因此在毛细管进口处形成油压。随着燃油的粘度增高，这个油压增大，将此油压通过阀 5 引入差压容器的 B 腔。A、B 腔的油压差值也就代表燃油粘度值，该差压讯号经气动差压变送器转变为空气差压，并输入粘度调节器。

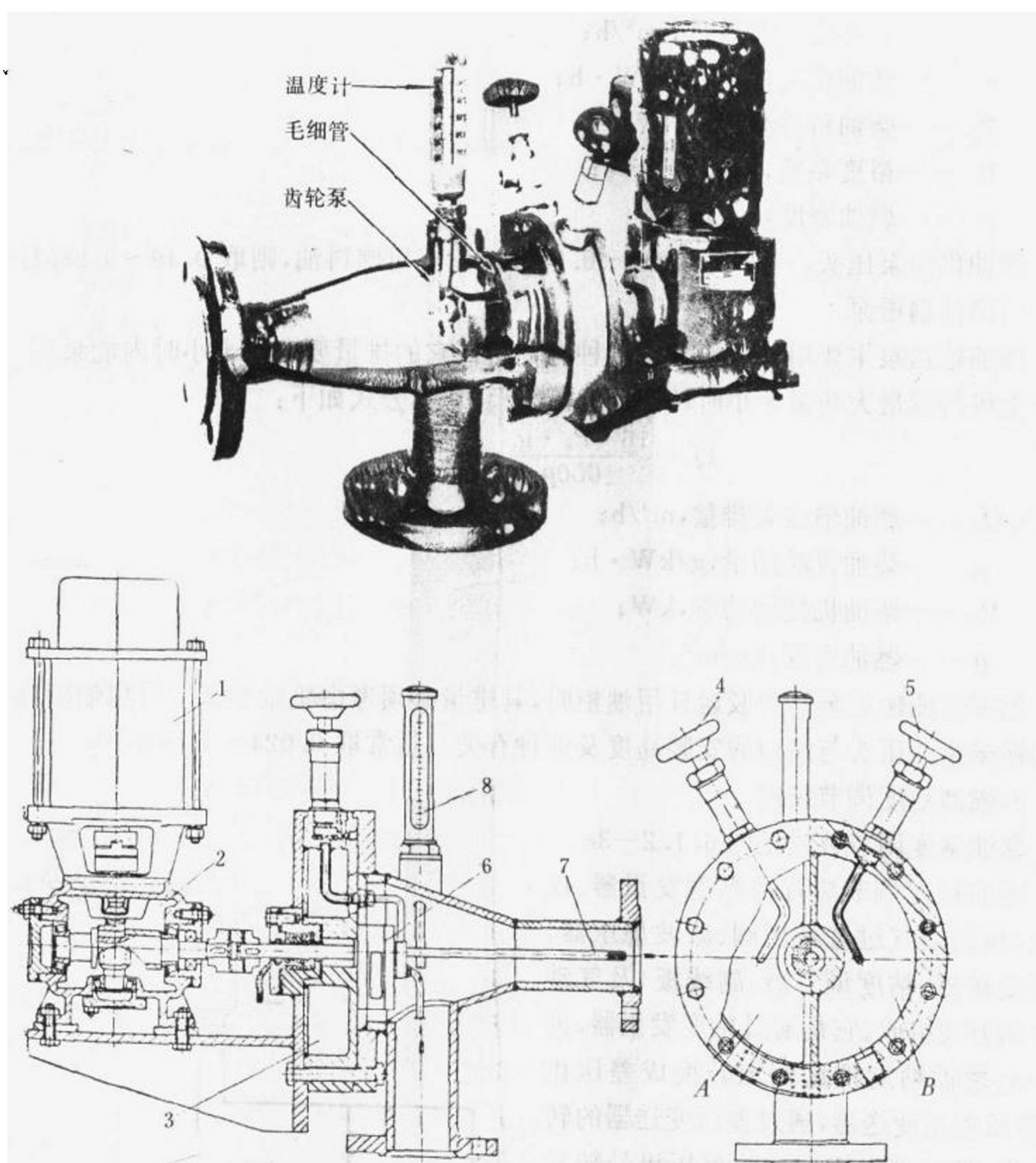


图 6.1.2—35　燃油粘度发讯器

1—微型电动机；2—减速机构；3—差压容器；4、5—阀；

6—齿轮油泵；7—毛细管；8—温度计

10)流量计

流量计的型式很多，随用途不同而异。

3.4　燃油系统的管理要点

燃油系统的正确管理主要应做到两点：第一，能够把燃油通畅无阻地运送到喷油泵入口端；第二，运送到喷油泵入口端的燃油必须符合柴油机的使用要求。

1)开航之前，应将主机日用轻柴油柜和燃料油柜驳至规定油位，并注意放水。为使燃用劣

质燃料油的柴油机易于起动，在港内航行时应使用轻油。对劣质燃料油系统要注意加温，使之达到规定温度，燃油粘度适当，便于驳运。

如果主机日用油柜位置不高而设有独立的低压燃油输送泵，则应在动车前开启，并注意放气。若主机本身还带有低压输油泵，待发动机正常运转后应将独立的低压输送泵停掉。

2）在柴油机运转过程中，要定期把沉积在日用油柜底的杂质和水分通过排污阀放出。以免沉积的水分进入燃油管系而造成停车事故。在船舶摇晃的情况下，这种危险尤其容易发生。

柴油机正常运转中，应定期进行驳油和分油工作，注意各油柜油量的变化，定时补充柴油机使用的燃油，尤其应保证日用油柜中有足够数量的净油。在驳油时要留意是否溢油，防止驳油过多而损坏设备。在分油时，要防止分离机跑油。

3）在燃油系统管理中，必须十分注意喷油泵和喷油器的工作状态。除定期进行检查和调整外，管理人员在值班时还应经常检查喷油泵、喷油器的工作状态和温度，检查高压油管的脉动情况。如果高压油管发热，脉动增强，则说明喷油器处堵塞。若高压油管脉动微弱，而且排温和爆压均较低，则可能由于高压油泵处漏泄太多使供油量太少所造成。若高压油管脉动虽微弱，但排温增高，则可能是由于喷油器针阀与阀座密封性不良而产生滴油。高压油管无脉动，泵体发热，则很可能是油泵柱塞咬死或柱塞拉毛。

4）燃油滤器要经常清洗，清洗后，将空气排出，以免下次使用时造成燃油的暂时中断。在正常情况下，滤器前后压差约为 0.02MPa（0.2kgf/cm^2）。当压差达到 0.04MPa（0.4kgf/cm^2）以上时，应立即更换滤器。若无差压或压差过低，则表示滤器滤网破损或滤芯装配不对，也需要立即拆卸检查。

5）针对燃用劣质燃料油粘度高、硫分大、杂质多等特点，以及使用中产生的问题，可采取以下技术措施：

（1）使用前，必须用分油机进行净化处理，使杂质和水分的含量降至最小程度。

（2）进行预热，使粘度降至保证雾化良好的标准（加热温度要求见表 6.1.2—6、表 6.1.2—7）。

6）当柴油机暂时停车时，可不必在事先改用轻柴油，而让燃料油在管系中循环流动，以保证燃料油的充分加热。这样，再次起动柴油机时，就可直接使用燃料油。

当柴油机需要较长时间的停车或燃油系统中某些设备需要拆检时，在停车前改用轻柴油，以便把管系和设备中的燃料油冲净。此外，当柴油机处于机动操纵状态时（如进出港、雾航等），也要由燃料油改用轻油。在改换过程中，必须注意防止油温的突然变化而造成的喷油泵柱塞卡紧或咬死。当需要由燃料油改用轻油时，可先经过三通转换阀将燃料油切断引入轻油。在集油柜中经过一段时间的轻油和燃料油混用，逐渐减少雾化加热器中的蒸汽，使油温和喷油泵泵体以差不多同样的温差降低下来。最后，切断蒸汽，关闭集油柜的出口阀，全部用冷柴油运转。当柴油机从冷柴油改用热的燃料油时，基本上以与上述的相反路线逐步增加燃料油量，慢慢提高油温，最后切断轻油，全部改用燃料油。

7）为了防止硫分高带来的酸性腐蚀，现在普遍使用碱性的气缸油，以中和二氧化硫凝结生成的硫酸。此外，冷却水温度要适当提高，使气缸壁的温度超过燃烧产物的露点，特别是在起动、低负荷和机动操纵时。

3.5 典型的燃油系统实例

3.5.1 中速柴油机动力装置燃油系统实例

图 6.1.2—36 为长江 2×970kW 推船柴油机动力装置的燃油系统。该系统主机用重柴油，发电机组与辅助锅炉燃用轻柴油。系统设有电动，手摇燃油泵，燃油离心分油机、滤油器及舱柜等设备。

燃油从主甲板两舷注入阀经六路驳运阀箱分别注入各油舱。燃油电动或手摇泵可将燃油输送或调驳至各油舱油柜。

日用油柜的燃油依靠重力流至主辅机输油泵，主机此段管路为轻、重柴油并联供给管。

重柴油舱和日用油柜内装有蒸汽加热管，在主机前的重柴油供给管和滤器伴有蒸汽管，以使主机正常工作时能燃用重柴油。主机多余的高压燃油回至日用重柴油柜。

主机在起动与到港停车前可燃用轻柴油。

轻、重柴油可经排量为 1500l/h 的离心分离机净洁处理。

3.5.2 低速柴油机动力装置燃油系统实例

低速柴油机动力装置燃油系统通常是由三个部分组成。图 6.1.2—37，图 6.1.2—38 和图 6.1.2—39 分别为 5865kW 单机单桨推进的柴油机动力装置，主机燃用 $380\times10^{-6}m^2/s$(cst/50℃)燃料油的燃油供油系统原理图，燃油净化系统原理图及燃油驳运系统原理图。

图 6.1.2—37 为燃油供油系统原理图，图中分为主机燃油供油系统和辅机燃油供油系统。主机燃油供油系统为加压式燃油系统。该系统在主机日用油舱与燃油循环油路之间增加了二台低压供给泵组(其中一台为备用)，回路是通过一只缓冲装置连接到主机燃料油日用柜，循环油路中的油压维持在 0.5 MPa 左右，以防止出现沸腾汽化。高压增压泵组将低压回路的燃油加压到 1.0MPa 左右，然后经过燃油雾化加热器加热后送到高压喷油泵进口，在回路中燃油维持这样的压力，足以防止燃油系统中燃油在 150℃也不会产生汽化或空泡现象。可保证燃用高粘度的燃油(F380 燃料油)使用性能。图中辅机燃油系统，由于燃用 F80 燃料油，该系统采用不加压系统；日用燃料油通过燃油升压泵组，经燃油雾化加热后送至柴油发电机组高压喷油泵进口。燃油雾化加热器两只，其中一只为电加热，考虑停泊时没有蒸汽时使用。燃油在雾化加热器被加热到 120℃左右。图中主、辅机燃油系统中均分别设置重柴油日用舱和轻柴油日用柜，作为主、辅机起动使用。

图 6.1.2—38 为燃油净化系统原理图。净化系统分两部分，一台分油机专供重柴油分离使用，另外两台分油机供燃料油使用，它们分别通过独立供给泵把所需分离的燃油经加热器加热到相应分离要求的温度(燃料油加热到 95℃左右，重柴油加热到 60～70℃)，然后送至分油机进行净化处理。燃料油分油机二台可以分别单独进行分离处理，也可以串联使用，而重柴油分油机可作为燃料油分油机的备用。

图 6.1.2—39 为燃油驳运系统原理图。驳运系统由燃油混油器，燃料油输送泵，重柴油输送泵、轻柴油输送泵及燃油油渣泵等组成。轻柴油泵专门供给轻柴油舱驳运轻柴油。燃料油输送泵和重柴油输送泵分别通过阀箱从各燃油储存舱抽吸所需的燃油(渣油或重柴油)，分别排到渣油澄清舱和重柴油澄清舱去。通过燃料油混合器，分别从渣油澄清舱和重柴油澄清舱按比例抽吸渣油和重柴油，经过燃油混合器中的混油泵把它们混合成所需的燃料油，再分别泵送到主、辅燃料油混合油舱去，供分油机净化处理后再送到日用油柜，以备主、辅机用。

所有的燃油管路中除轻柴油输送的管路之外，均设有伴行蒸汽管，并包以石棉绝热材料，以减少燃油热量的损失，保证燃油的输送和供给柴油机燃烧温度的要求。

图 6.1.2—36　2×970kW 推船柴油机动力装置的燃油系统

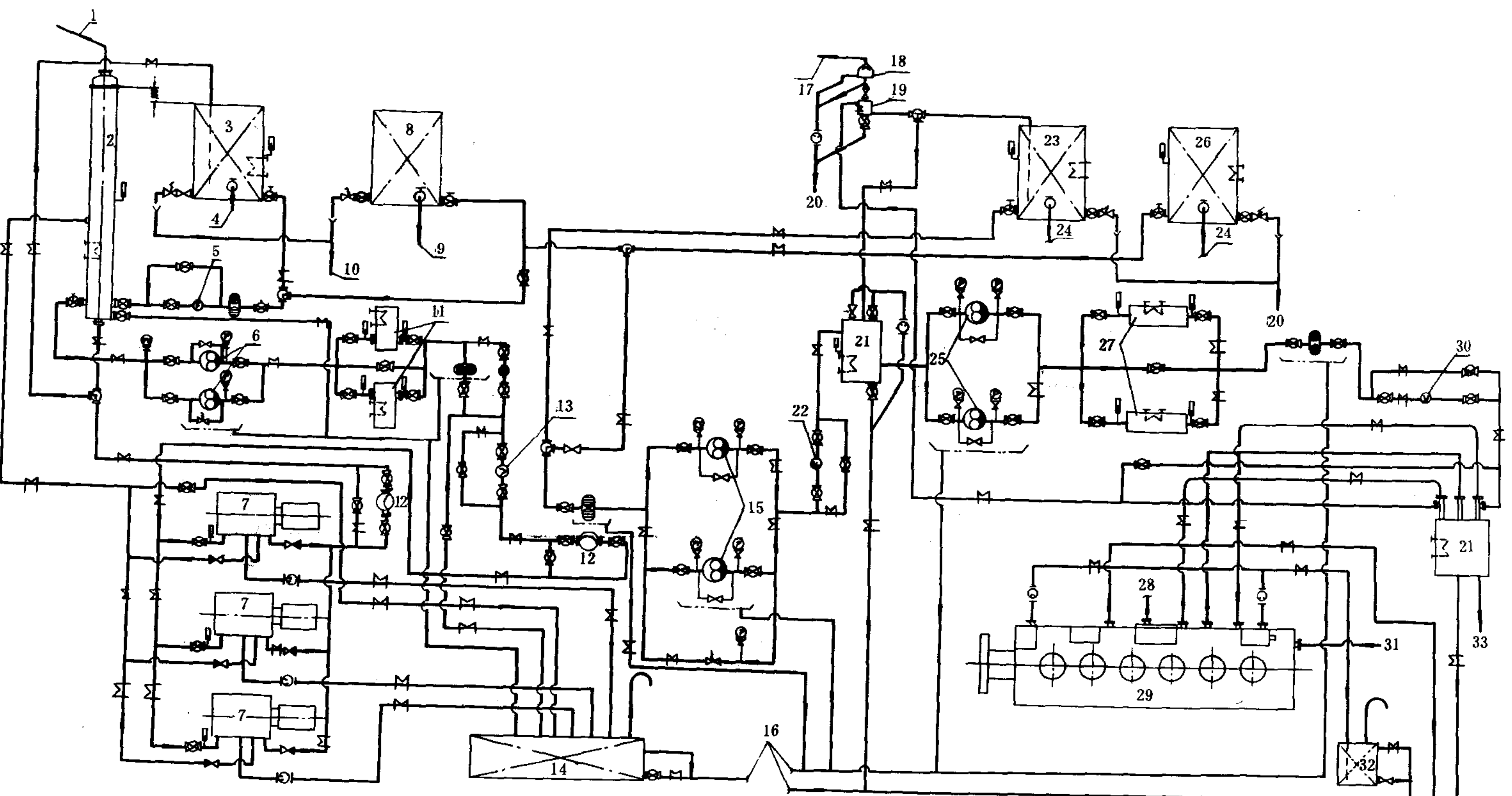


图 6.1.2—37　5865kW 单机单桨推进的柴油机动力装置燃油供给系统原理图

1—接空气透气总管；2—辅机混合油柜；3—辅机燃料油日用柜；4—接燃料油输送泵；5—辅机燃料油流量计；6—辅机燃料油升压泵(2.6m³/h×0.1MPa)；7—柴油发电机组；8—轻柴油日用柜；9—接轻柴油输送泵；10—至燃油泄放舱；11—辅机燃油雾化加热器(5.5m³×0.6MPa)；12—缓冲柜；13—辅机燃油粘度自动调节装置；14—辅机燃油泄漏柜；15—主机燃油低压供给泵(2.148m³/h×0.5MPa)；16—接燃油泄放舱；17—接空气透气管；18—气化油收集器；19—透气装置绝缘包扎；20—泄至燃油泄放舱；21—缓冲装置；22—主机燃油流量计(0.6～6m³/h×0.1MPa)；23—主机燃料日用舱；24—接燃油输送泵；25—主机燃油升压泵(4.9m³/h×1.4MPa)；26—重柴油日用舱；27—主机燃油雾化加热器(10m²×0.1MPa)；28—加热管出口；29—主机 6RTA52；30—主机燃油粘度自动调节装置；31—加热管进口；32—燃油泄漏柜；33—接蒸汽系统

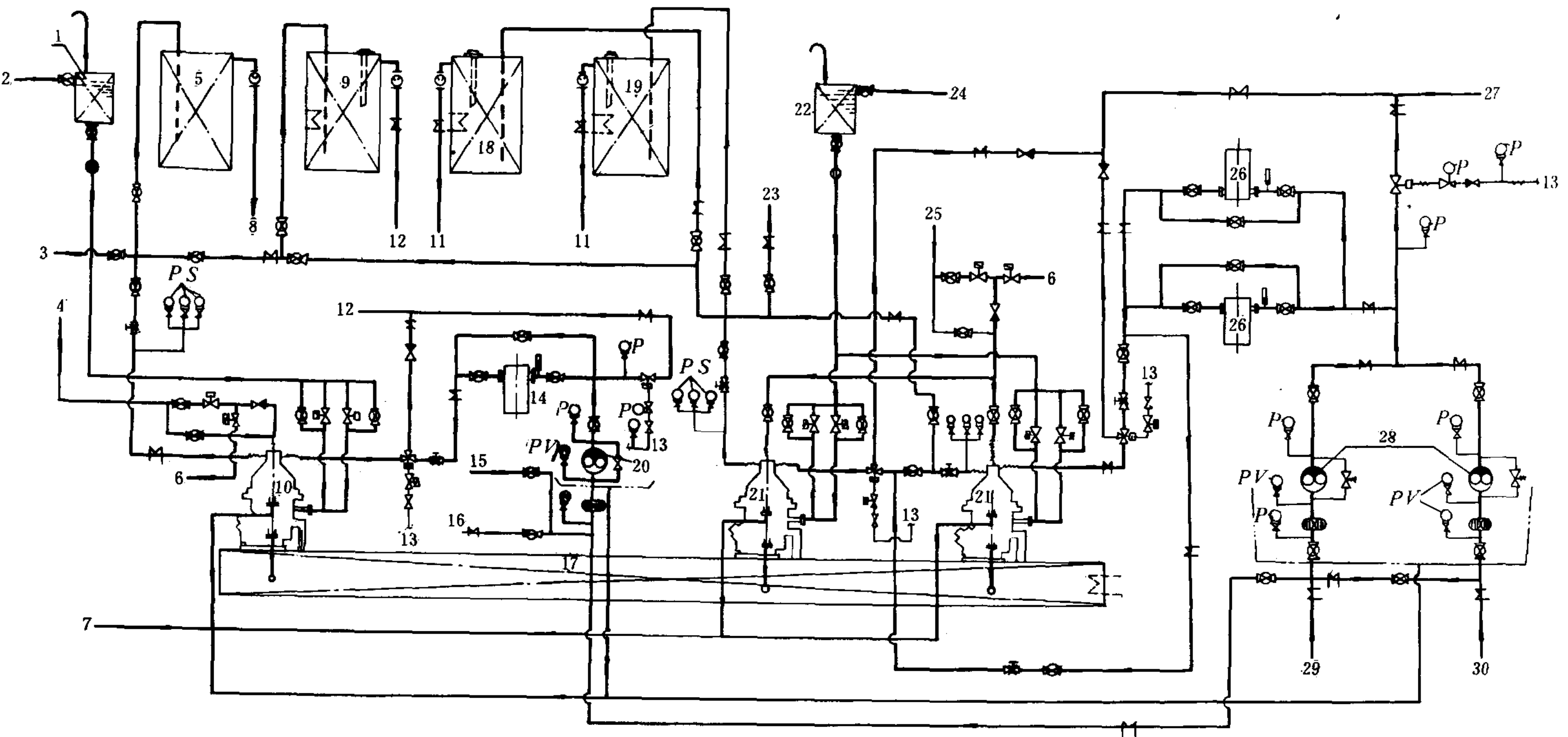


图 6.1.2-38　单机单桨推进的柴油机动力装置燃油净化系统原理图

1—分离机工作水箱；2—由淡水压力柜来；3—至辅锅炉轻柴油日用柜；4—自热水柜来；5—轻柴油日用舱；6—泄放；7—至燃油泄放舱；8—溢至轻柴油舱；9—重柴油日用舱；10—重柴油分离机(3000l/h)；11—至燃油溢流舱；12—至重柴油澄清舱；13—至自动控制系统；14—重柴油分离机加热器；15—自左右轻柴油舱来；16—自重柴油澄清舱来；17—燃油油渣舱；18—辅机燃料油日用舱；19—主机燃料油日用舱；20—重柴油分离机独立供给泵(3000l/h×0.4MPa)；21—燃料油分离机(2300l/h)；22—分离机工作水箱；23—至辅锅炉燃料油日用柜；24—自淡水压力柜来；25—自热水柜来；26—燃料油分离机加热器(2m²)；27—至主机燃料油混合舱；28—燃料油分离机独立供给泵(2300l/h×0.4MPa)；29—接自主机燃料油混油舱；30—接自辅机燃料油混油舱

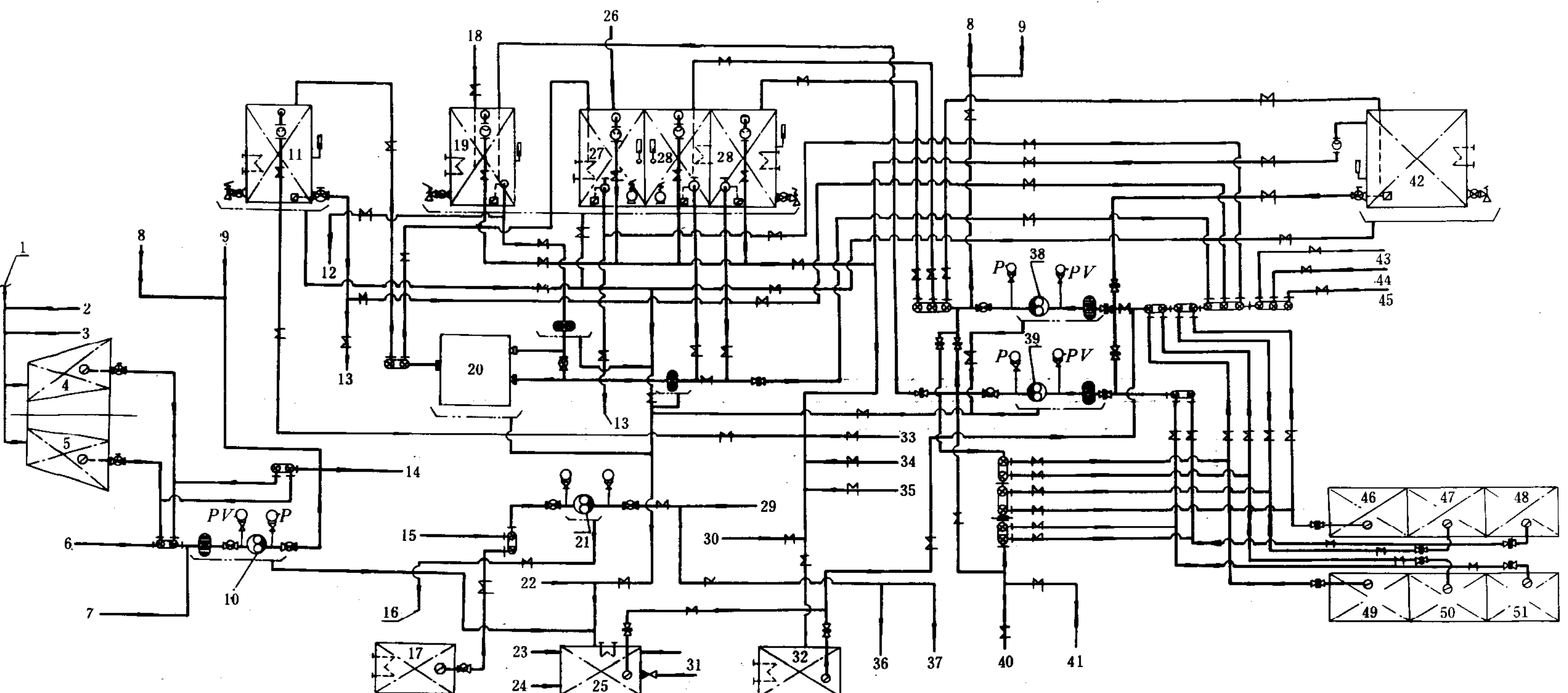


图 6.1.2—39　5865kW 单机单桨推进的柴油机动力装置燃油驳运系统原理图

1—接自轻柴油日用舱溢流；2—接自辅锅炉轻柴油日用柜溢流；3—接自应急发电机轻柴油日用柜溢流；4—轻柴油舱(右)；5—轻柴油舱(左)；6—至重柴油分离机；7—接自轻柴油日用舱；8—左舷甲板卸油、注油；9—右舷甲板卸油、注油；10—轻柴油输送泵(6.12m³/h×0.5MPa)；11—辅机燃料油混合舱；12—至重柴油分离机；13—至燃油分离机泵；14　接至应急发电机轻柴油日用柜；15—接空冷器清洗系统；16—接至油渣舱；17—燃油分离机油渣舱；18—接重柴油分离机回油；19—重柴油澄清舱；20—燃料油混合器(5m³/h×0.2MPa)；21—燃油油渣泵(2m³/h×0.6MPa)；22—自分离机独立泵泄放；23—辅锅炉系统泄放；24—辅机系统泄放；25—燃油泄放舱；26—接自燃料油分离机回油；27—主机燃料油混油舱；28—渣油澄清舱；29—至焚烧炉污油柜；30—接自辅锅炉燃料油日用柜；31—接自主机系统泄放；32—燃油溢流舱；33—接自主机燃料油日用舱；34—接自重柴油日用舱；35—接自辅机燃料油日用舱；36—左舷甲板卸油；37—右舷甲板卸油；38—燃料油输送泵(36.7m³/h×0.5MPa)；39—重柴油输送泵(36.7m³/h×0.5MPa)；40—左舷甲板卸油、注油(重柴油)；41—右舷甲板卸油、注油(重柴油)；42—渣油深舱；43—接自主机燃料油日用舱；44—接自重柴油日用舱；45—接自辅机燃料日用舱；46—NO.6 货舱双层底渣油舱(左下)；47—NO.5 货舱双层底渣油舱(左下)；48—NO.4 货舱双层底重 柴油舱(左下)；49—NO.6 货舱双层底渣油舱(右下)；50—NO.5 货舱双层底渣油舱(右下)；51—NO.4 货舱双层底重柴油舱(右下)

4 滑油系统

4.1 概　　述

滑油系统是用以保证供应柴油机动力装置各运动部件的润滑，并承担部分冷却所需的滑油。其系统与燃油系统相似，包括注入、储存、输送、清理（净化）、供应及测量等六个部分。

4.2 滑油的品种和选用

柴油机常用的滑油品种规格和性能可参阅第2卷第3篇。

润滑油的选择应从粘度和质量方面考虑。高速柴油机一般选用粘度较低的滑油，低速柴油机可选粘度较高的滑油，粘度高的滑油，抗乳化性较差，必要时应加抗乳化添加剂。

十字头式柴油机，工作条件不是太差，可选用精炼的纯矿物油或者含有少量多效添加剂的低碱性滑油。对于中速筒状活塞式柴油机，工作条件非常恶劣，必须选用含添加剂的滑油。润滑油的总碱值和质量水平视柴油机的增压度和所用燃油而定，可参阅表6.1.2—11。

表6.1.2—11　　**润滑油选择标准**

柴油机机型	使用燃油	质量水平	总碱值
筒状活塞式非增压	轻柴油，硫分<0.35%	API CA 级	TBN6～8
筒状活塞式非增压	船用柴油，硫分>1.0%	API CB 级	TBN6～10
十字头式，曲柄箱润滑	燃料油	API CB 级	TBN6～10
筒状活塞式低增压	船用柴油，硫分不限	API CC 级	TBN9～14
筒状活塞式高增压	船用柴油，硫分不限	API CD 级	TBN10～16
筒状活塞式高增压	燃料油	超过 CD 级	TBN20～34

选用气缸油时，一般根据所用燃油的含硫量来选择气缸油的碱值（总碱值 TBN）。当使用高硫燃油时，应选用高碱性气缸油，这种滑油不仅可将燃烧产物中的酸中和掉，而且能有效地保护油膜，减少漏气。经验证明，燃油含硫量在2.5%以下时，要在各种不同的条件下都能确保腐蚀性磨损减至最小，气缸油的 TBN 值应在60～70之间。若长期使用硫分小于1%的低硫燃油，则可选用 TBN 值为10～14的气缸油。

我国生产的重柴油和柴油机用燃料油都属于低硫燃油。选用 TBN 值为10～14的气缸油即可，目前多以国产14号柴油机油代用。航行于远洋航线的船舶通常备带某一品种的高碱性气缸油（TBN 值在60～70之间），以适应不同燃油硫分的需要。

此外，还应考虑季节、润滑部位的工作温度、负荷、燃油质量和轴瓦减磨合金的种类等因素。夏季，润滑部位温度高、负荷轻，应选用粘度较小的机油。对使用陈旧，各配合间隙较大的柴油机选用粘度较高的滑油为宜。

4.3 系统的组成和种类

滑油系统一般是由滑油储存舱（柜）、滑油循环舱（柜）、滑油泵、净油设备（滤器、分油机）及

滑油冷却器等组成。

滑油系统通常可分为湿底壳式和干底壳式两种。

1)湿底壳式

如图 6.1.2—40 所示滑油存放在柴油机的油底壳(曲柄箱)中,正常运转时由柴油机本身所带的油泵抽吸油底壳滑油,经滑油冷却器,泵至各润滑部件进行润滑,然后借助重力流回油底壳中,成为独立的循环系统。这种滑油系统,其设备和管路比较简单,并都附设在柴油机上,它不需另设独立滑油泵。在经过运行一定时间后,只要将变质的滑油更换即可。其缺点是:滑油在油底壳里,将经常受到燃烧室漏泄高温气体的氧化腐蚀,比较容易变质,滑油使用寿命较短。这类系统多用于小型柴油机动力装置。

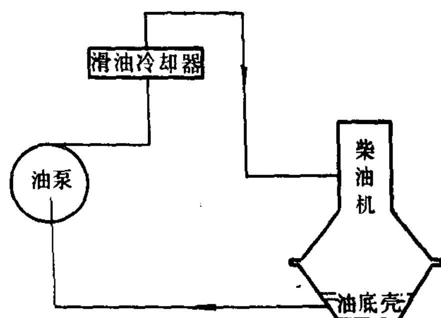


图 6.1.2—40　湿底壳式滑油管系

2)干底壳式

滑油存放于单独设置的滑油循环舱(柜)之中。它的形式有两种。如图 6.1.2—41 所示,在柴油机油底壳下设置滑油循环舱(柜),滑油泵自该舱(柜)吸油,经过滑油冷却器冷却,降低油温,然后再送至柴油机各运动部件进行润滑,润滑后滑油借助重力流至柴油机底部,再流回滑油循环舱(柜)中。图 6.1.2—42 所示的管路原理与图 6.1.2—41 所示之不同处是采用二台滑油泵,一台为抽吸柴油机油底壳中滑油打到滑油循环舱(柜);另一台滑油泵用于吸取滑油循环舱(柜)的滑油,经滑油冷却器冷却后再进入柴油机进行润滑,该滑油泵又称为压力滑油泵。这种系统由于滑油不储存在柴油机油底壳里,从而改善了滑油的工作条件,提高了它的使用寿命。对于图 6.1.2—42 的管路来说,还具有不受柴油机及滑油循环舱(柜)安装位置的限制。

干底壳式滑油系统广泛应用于大、中型柴油机中。

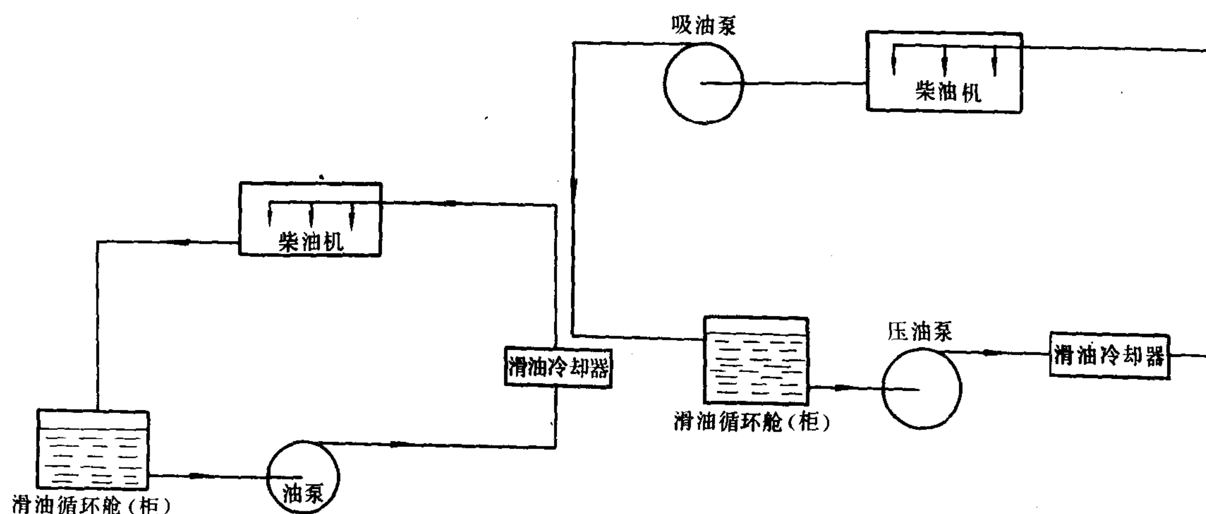


图 6.1.2—41　干底壳式润滑系统之一　　图 6.1.2—42　干底壳式润滑系统之二

使用后的变质的滑油,可进行净化和再生处理,以利再用。对混入滑油中的水分和机械杂质以及滑油氧化后生成的沉积不溶物,可用分油机分离掉。滑油的酸值增加时,也可用水洗法予以降低。

滑油的净化处理方法随柴油机的型式而异。对于辅柴油机的滑油,由于系统中的油量有

限，一般均采用定期换油方法，换下的污滑油全部装进污滑油柜，然后根据滑油变质的程度进行再生处理。

对于主柴油机的滑油，为延长其使用期限，确保柴油机长期而可靠地工作，在柴油机运转时，必须经常而连续地进行分离和澄清处理，即将系统中的一部分滑油不断地送进分油机进行净化。如图 6.1.2—43 所示系统即常见的连续旁通分离系统。分油机附带的吸入泵从滑油循环柜最低处将滑油吸出，经分油加热器加热后送入分油机处理，分油机分离后的净油排送至滑油循环柜。一般说来，这种旁通分离系统一天内至少应能将系统中的全部滑油处理一次，最好能处理 1.5～2.5 次。如果分油机的技术状态良好，通过连续分离，可将滑油中的水分控制在 0.25%以下，并能除去直径小至 2～3μm 的固体颗粒。

除了在柴油机运转中对滑油进行连续旁通分离外，在停港而且时间充裕的情况下，还可以对系统中的滑油进行成批处理。当滑油中出现强酸或大量沉积不溶物时，更应这样做。

成批处理方法，就是当柴油机不运转时，用滑油泵将循环油柜中的滑油全部抽吸出打到污滑油柜中，并彻底清洗循环油柜。污滑油柜中的滑油进行蒸汽加热，使油温保持在 60℃左右，然后进行 24h 沉淀，定时放掉水和泥渣。再用滑油分油机以尽可能小的流量下分离污滑油柜中的滑油，然后送回滑油循环柜。采用成批处理的方法能确保全部滑油都能得到彻底清洁。一般循环油柜每年应至少打空一次，以彻底检查其内部，一切残留的泥渣和铁锈等固体杂质均应认真清除干净。

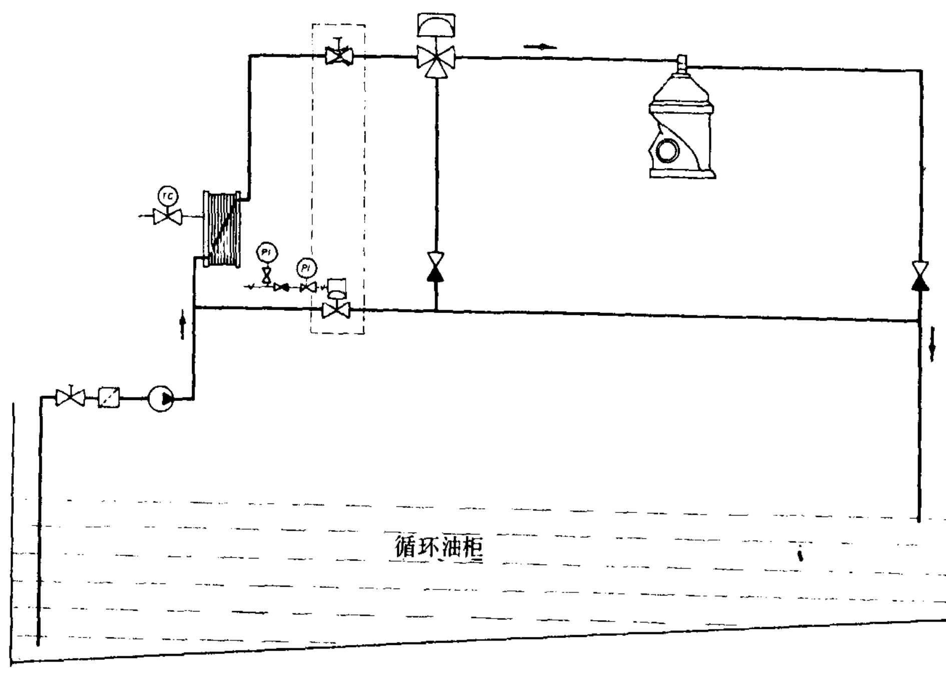


图 6.1.2—43　滑油净化旁通系统原理图

对滑油中由于燃烧产物漏入而出现无机酸时，可用水洗法来降低酸值。所谓水洗法，就是对欲处理的滑油事先加热后进行分离，在分离过程中从分油机的进口加入相当于 1～2%滑油量的淡水来进行净化。利用水洗法不仅可洗掉无机酸，而且还能浸湿小粒杂质使之变重，以利

于分离。但是，含有清净—分散剂等添加剂的滑油，一般均不宜采用水洗法，因为这些添加剂会随同淡水一起排出。

对含添加剂的滑油用分油机进行分离作业时，滑油的加热温度应比精炼矿物油再高5～6℃，而最佳分油量要比精炼矿物油再减少25%～50%。

4.4 系统的设备、估算和要求

4.4.1 系统的设备和估算

1）油柜和油箱

滑油系统的油箱（柜），包括储存（备用）柜，日用消耗柜（箱）及循环油舱（柜）。每个柜都是由钢板焊接而成，柜上都安装有测量滑油存油量的油尺和进、出油管路，空气管等。

（1）贮存油舱（柜）的容量，按主、辅柴油机滑油消耗量估算：

$$V_H=[(m_z+m_{z1})+(m_f+m_{f1})]\cdot\frac{1}{\rho}\cdot\eta_v\cdot C \qquad (6.1.2—19a)$$

式中：V_H——储油舱容积，m^3；

（如果主、辅机使用不同规格滑油时，则可分开计算）t；

m_z——主机滑油消耗量；

$$m_z=g_{e_1}\cdot P_n\cdot T\cdot 10^{-6}$$

g_{e_1}——主机滑油消耗率，g/kW·h；

P_n——主机持续功率，kW；

T——船舶续航力，h；

m_f——辅机滑油消耗量，t；

$$m_f=g_{e_2}\cdot P_{n_2}\cdot T_f\cdot K_f\cdot 10^{-6}$$

g_{e_2}——辅机滑油消耗率，g/kW·h；

P_{n_2}——辅机有效功率，kw；

T_f——船舶续航时间内，辅机持续使用的时间，h；

K_f——辅助负荷系数，一般取0.6；

m_{z_1}——主机换油量，t；（根据柴油机说明书中规定而定，如果是通过消耗补充办法进行自然更换时，其自然更换量仍按换油量计入）；

m_{f_1}——辅机换油量，t；（根据辅柴油机说明书中规定而确定之）；

ρ——滑油密度，t/m^3，一般取0.92；

η_v——容积系数，通常取1.1～1.2；

C——储备系数，通常取1.1～1.2。

（2）滑油循环舱（柜）

滑油循环舱（柜）的容积大小，主要与滑油每小时在管路中循环次数有关，循环次数取得高些，舱（柜）的容积可取得小些，反之则要取得大些。但是循环次数高，使滑油寿命降低。一般滑油循环次数是根据柴油机的型式而定的，见表6.1.2—12所示。

滑油循环舱（柜）的容量，应能容纳循环于系统中的全部滑油。为保证滑油的质量，在滑油循环舱（柜）中的滑油油路，要使其进油管路延伸至最低工作液面以下适当的深度，并应尽量远离出油口。

滑油循环舱（柜）的容量按下式估算：

$$V=\frac{Q_p}{Z}\cdot\eta_v \qquad (6.1.2\text{—}19b)$$

式中：V ——滑油循环舱（柜）的容量，m^3；

Q_p ——滑油循环泵排量，m^3/h；

η_v ——容积系数，一般取 1.2～1.25；

Z ——循环倍率（次数），次/h。

表 6.1.2 12　　**柴油机型与循环倍率关系**

机　　型	循环倍率（次数）（次/h）
大型低速柴油机	6 ～ 12
中速柴油机	30～40
高速柴油机	50～60

2）滑油循环泵

中、小型船舶大多采用电动齿轮油泵，大型的船舶其滑油泵排量较大，多采用螺杆泵。为防止发动机的润滑油泵损坏或检修时不致使发动机停车，需配置备用滑油泵。

滑油泵的排量按滑油在润滑过程中所带走的热量估算：

$$Q_p=\frac{Q.B}{C(t_1-t_2)\rho.10^3} \qquad (6.1.2\text{—}20)$$

式中：Q_p ——滑油泵的排量，m^3/h；

C ——滑油比热容，J/kg℃；

t_1 ——滑油出主机温度，℃；

t_2 ——滑油进主机温度，℃；

ρ ——滑油密度，t/m^3；

B ——裕度，一般取 1.1～1.5；（考虑泵的磨损和泄漏）；

Q ——滑油从柴油机带走的热量，J/h。

$$Q=\varepsilon\cdot g_{ef}\cdot P_e\cdot H_u\cdot 10^{-3} \qquad (6.1.2\text{—}21)$$

这里的 ε 为滑油从主机所带走的热量占柴油机燃烧所发出的总热量的百分比（%）；ε 值的大小与机型有关，对四冲程 柴油机不用滑油冷却活塞，一般取 0.032～0.03；二冲程柴油机不冷却活塞，一般取 0.02～0.03；冷却活塞，一般取 0.08～0.085。

P_e——主机持续有效功率，kW；

g_{ef}——柴油机滑油消耗量，g/kW.h；

H_u——燃料低发热值，J/kg。

滑油泵的压头，必须保证进入最后一道柴油机轴承前保持有 0.078～0.094MPa 的压力。通常，不包括活塞冷却时，取 0.294～0.392MPa；包括活塞冷却，取 0.392～0.49MPa。

3）滑油冷却器

滑油冷却器的型式和其它冷却器一样，有壳管式和板式两种。按流动方式，分为顺流、逆流和叉流等，其结构原理详见第 5 卷有关内容。

对选用冷却器设备的要求，主要方面有：在外形尺寸最小的条件下，冷却面要最大；其重量与冷却水带走的热量之比应最小；所采用的材料要求能耐腐蚀；结构上应保证易于维修保 养；并设有供化学清洗剂清洗用的进出接管，在寒冷天气停泊时，冷却器中的水应能全部放掉。

冷却器中水的流速不应低于 0.4～0.3m/s；冷却器在滑油系统中的阻力为（0.1～0.6）×

10^5Pa,水系统的阻力通常为$(0.1\sim0.4)\times10^5$ Pa。

冷却器的冷却面积按下式估算：

$$A=\frac{Q}{K\cdot\Delta t_m}\cdot\frac{1}{\varphi_s} \quad (6.1.2-22)$$

式中：A ——冷却器的冷却面积,m^2；

Q ——滑油从发动机中带走的热量,J/s。

对于活塞具有冷却的发动机而言

$$Q=(126\sim158).P_e$$

一般对于活塞不冷却的发动机而言

$$Q=(47\sim95)\cdot P_e$$

P_e ——有效功率,kW；

K ——导热系数,参见表 6.1.2—13；

φ_s ——污垢系数,参见表 6.1.2—13；

Δt_m——对数平均温度差,℃；

顺流方式

$$\Delta t_m=\frac{(t_1'-t_1)-(t_2'-t_2)}{2.3\lg\left(\frac{t_1'-t_2}{t_2'-t_2}\right)} \quad (6.1.2-23)$$

逆流方式

$$\Delta t_m=\frac{(t_1'-t_2)-(t_2'-t_1)}{2.3\lg\left(\frac{t_1'-t_2}{t_2'-t_1}\right)} \quad (6.1.2-24)$$

交叉流和混流方式

$$\Delta t_m=\frac{(t_1'-t_2)-\left(t_2'-\frac{t_1+t_2}{2}\right)}{2.3\lg\left(\frac{t_1'-t_2}{t_2'-\frac{t_1+t_2}{2}}\right)} \quad (6.1.2-25)$$

式中：t_1'、t_2'——被冷却体(被加热体)进、出口温度,℃；

t_1、t_2——冷却体(加热 体)进、出、口温度,℃。

4)滑油过滤器

滑油过滤器和燃油过滤器相同;按过滤效率可分为粗和细过滤器两种型式。粗过滤器能滤掉滑油中大于 0.07mm 的固体微粒。细滤器能滤掉 0.01～0.001mm 的机械杂质与滑油分解后的产物(如树脂、氧化物等)。

滑油粗滤器按其构造可分为网式、片式和吸收式等几种、网式滤器的过滤元件由金属网或金属布制成,为增加流通面积,常做成折叠式。片式滤器的过滤 元件由一系列薄金属片或圆盘所组成,片与片之间夹有隔片,旁边有一组刮刀用以清除元件外表面的污物。如图 6.1.2—44 所示。这两种滤器被污物堵塞后都允许拆开清洗。

细滤器可分为多孔软填料的滤器、吸附式过滤器及磁性过滤器。多孔软填料的滤器最广泛,其滤芯为厚纸板或棉质的。吸附(吸收)式过滤器是再生过滤器,它不仅滤 掉滑油中的机械杂质而且还滤 掉滑油中的分解 产物。采用表面 活性材料来作过滤材料,如漂白粘土,防潮剂和加氢铁矾土。这些物质能将树脂、沥青、不饱和的碳氢化合物、石油酸及硫化物吸附在自已的表面上。吸附式滤器堵塞 后无法进行清洗,只能更换新的过滤元件。磁性过滤器应用较少,它

是滤掉滑油中的钢和铸铁的微粒。为减轻清洗滑油过滤器的劳动强度，目前大型船舶上广泛采用电动自清式滑油滤器，其工作原理可参见燃油系统。滑油过滤器的估算和燃油过滤器相同。

表 6.1.2 13　　流速、导热系数(K)和污垢系数(φ_s)

名　　称	流速 V (m/s)	导热系数 K(4.18×10³J/m²)	污垢系数 φ_s(%)
滑油冷却器	滑油：0.4～0.6 冷却海水：1.0～1.5	250～300	85
淡水冷却器	淡水：0.4～0.6 冷却海水：1.0～1.5	700～1,000	85
柴油机燃油加热器	燃油：0.4～0.6	130～230	80
分油机(分水分)燃油加热器	燃油：0.4～0.6	130～230	80
分油机(分杂质)燃油加热器	燃油：0.4～0.6	130～230	80
锅炉燃油加热器	燃油：0.4～0.6	130～230	80
大气式冷凝器	冷却海水：1.5；	1,800～2,200	85
真空式冷凝器	冷却海水：1.8		
洗舱(海)水加热器	海水：1.5～2.0 凝水：0.3～0.5	2,200～2,900	85
洗舱(海)水加热器的凝水冷却器	海水：1.5～2.0 凝水：0.3～0.5	1,100～1,300	85

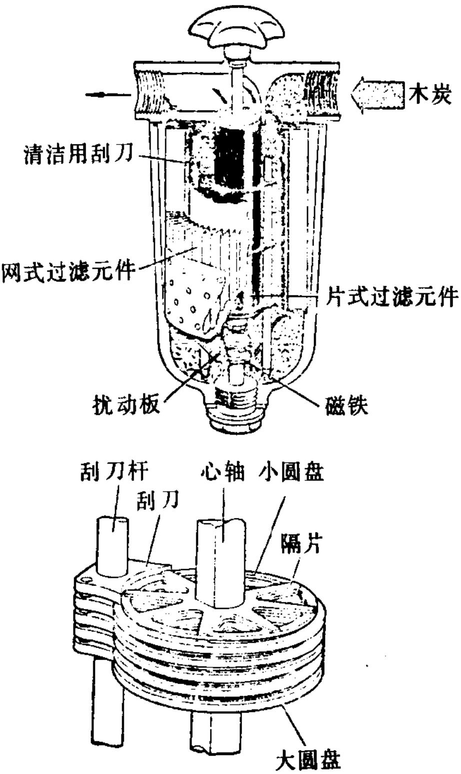


图 6.1.2-44　网式和片式组成的滑油滤器

MAN/B&W 柴油机滑油系统推荐使用丹麦 C.C.TENSEN 滤器公司的 CJC 细滤器，它的滤芯材料是采用经过专门处理的纤维素纸浆均匀而紧密压制成型的元件组成。能滤掉小于 0.001mm 的机械杂质和滑油分解后的产物。滑油进入滤器的油压保持在 0.294～0.392MPa (3～4kgf/cm²)，在滤器上安装有安全阀，安全阀调整压力为0.245MPa(2.5kgf/cm²)，大于 0.294～0.392MPa 的油压须通过减压阀，把油的压力减到0.343MPa 方可进入滤器，为保证过滤器的过滤效率，过滤的滑油流量不能太大，并且要维持正常的过滤温度大于 50℃，如果达不到该温度，建议对滑油进行加热。一般采用缸套水加热或电加热。在滤器中设有加热水用的管路。

5）滑油离心分油机

动力装置滑油系统中都设置独立的分离净化设备—分油机。滑油分油机的工作原理与燃油分油机相同。

滑油离心分油机的排量可按下式估算：

$$Q=K \cdot P_e \quad (6.1.2—26)$$

式中：Q ——离心分油机的分离流量，l/h；

P_e ——主机最大持续功率，kW；

K ——系数，它与燃油品质有关。见表 6.1.2—14。

表 6.1.2—14 系 数 K (l/h,kW)

柴油机类型	燃油种类	排渣时不停止分油机供油	排渣时停止分油机供油	刚性分离筒分油机
十字头	燃料油 船用柴油	0.09～0.17(1)	0.09～0.18(1)	0.10～0.20(1)
筒型活塞	燃料油	0.28	0.30	(0.34)(2)
	船用柴油	0.23	0.24	0.27
	轻柴油	0.17	0.18	0.20

注：(1)较高的数值适用于 MAN/B&W 柴油机。

(2)滑油净化时只适用于燃油为蒸馏型或船用柴油。

滑油净化效果好坏，应以留存在系统中的杂质最少为依据。最佳分油量如表 6.1.2—15 中所示。

在初步估算时其分油机的分油量和台数，也可根据主机持续最大功率的关系作初步选定，见表 6.1.2—16。

表 6.1.2—15 **推荐的最大分离量**

柴油机类型	使用滑油种类	推荐的最大分离量为额定分离量的%
十字头柴油机	防锈和抗氧化滑油 (R&O)	35
	添加剂型滑油	30
筒形活塞柴油机	添加剂型滑油(HD)	20

表 6.1.2—16 **滑油分油机的总分离量和台数与主机功率的关系**

P_e (kW)	总分离量 (l/h)	台 数
368～1838	1000～2000	2 或 1
1838～5515	2000～3000	2 或 1
5515～11029	3000～6000	2 或 1
11029～16912	6000～12000	2
16912 以上	12000 以上	2

注：滑油在分离前，需要在分油机加热器进行加热，降低粘度，提高分离效果，加热温度与滑油粘度成正比。进入分油机的滑油温度约为 75～85℃，大多数情况推荐分离温度保持恒定在 85℃，可得到良好的分离效果。更高的温度不但对分离效果没有多大的改善，反而会使滑油过热而变质。分离效率与滑油的粘度成反比，而粘度又与温度成反比。如果分离温度从 85℃降至 70℃将使分离效率损失 40%。

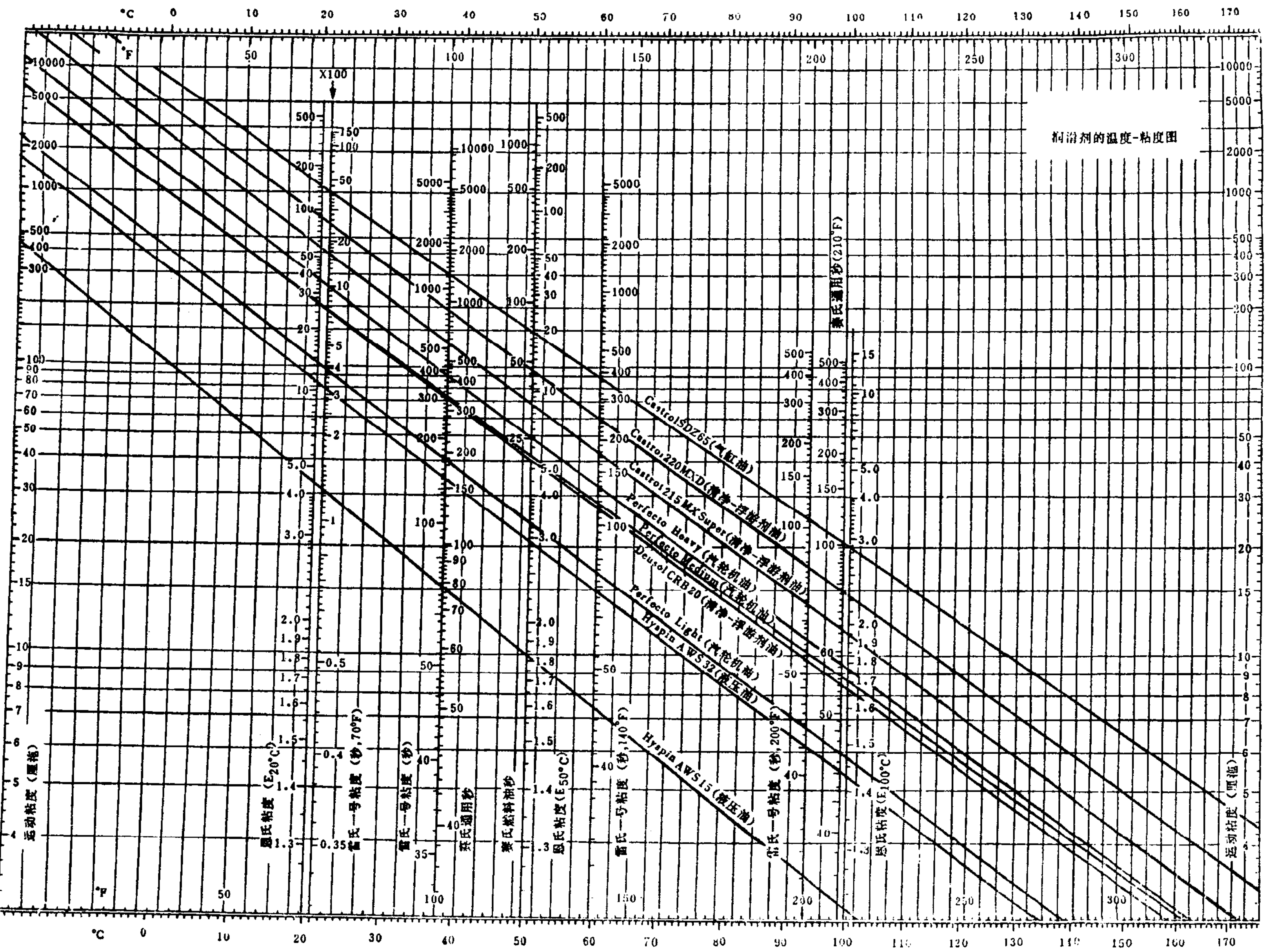


图 6.1.2—45　润滑油的温度—粘度图

6)滑油管路设备加热与保温

滑油的加热和保温，一般采用饱和蒸汽。其加热温度与滑油粘度关系可参阅图 6.1.2—45、加热温度和时间可参考表 6.1.2—17 中所列出的经验数据。

表 6.1.2 17　　滑油加热温度、加热面积与加热时间的关系

舱（柜）名称	加热温度（℃）	加热时间（h）	单位加热面积（m^2/m^3）
滑油储存舱（柜）及澄清柜	～20	24	0.1～0.15
滑油循环舱（柜）	40～50	1	0.4～0.5
污滑油舱（柜）			0.1～0.15

表中加热面积是以滑油最初温度为 0℃ 作为计算基础，若温度有所变更时则应相应地增减。

4.4.2 系统的要求

滑油系统的布置要考虑便于管理、缩短管路，节约传递功率。油泵位置应尽量靠近油舱，使管路少走弯路。

1)为保证主机滑油循环泵发生事故时仍能航行，主机滑油泵至少应设两台，其中至少一台应为独立动力驱动泵，此泵作为备用，排量应根据主机中最大一台滑油循环泵配备。对多台主机的船舶，可只设一台独立动力备用泵。如每台主机各装有自带滑油泵，则可设一台完整的备品泵代替独立动力备用泵。

2)对限制航区的船舶，如主机单机功率不大于 440kW(600PS)时，可不设置备用滑油泵。

3)滑油泵的排量和管路的布置，应能当任一台滑油泵停用时，另一台泵能满足主机最大功率运转的需要。

4)主滑油循环泵或泵的出口管路上，需设安全阀，以防管内压力过高，其校正压力为管路工作压力 1.1 倍。安全阀的排油管，可接至泵的吸入管。若泵本身设有安全措施，则管路中不必再设安全阀 。

5)滑油管路应与其他管系隔开。为 保证质量纯净的滑油连续不断地进入发动机，滑油系统中必须设置过滤设备。如粗、细滤器和离心分油机等。滤器的结构应保证在不停机和不减少向发动机供应过滤油的情况下进行内部清洗。滤器前后应设有压力表。在计算细滤器的空隙时，滑油的流量应大于压力泵能量的 8%～10%，以防滤器的部分空隙堵塞而影响供油。无限航区的船舶应装设滑油离心分油机。

6)如装有两台或多台柴油机，则各油底壳引至滑油循环舱（柜）的 泄油管应独立，以避免曲柄箱之间互通。滑油循环舱（柜 ）的容量，应能容纳循环于系统中的全部滑油。

7)在必须设双层底的船舶上，当柴油机滑油循 环舱延伸至船舶的外底板时，则应在柴油机油底壳至滑油循环舱之间的泄油管上装 设截止阀。该阀应能在花钢板以上易于接近的地点进行关闭。如柴油机的滑油循环舱用隔离空舱与船体外板隔开，则上述截止阀可以免设。

8)滑油循环舱的进油管应延伸至最低工作液面以下适当深度，并应与出油口尽量远离。滑油舱（柜）与燃油舱（柜）和水舱（柜）相邻时，必须设隔离空舱，以保证滑油质量。

9)滑油舱(柜)根据需要设置加热设备。加热用蒸汽应为饱和蒸汽，其压力应不大于0.69MPa(7kgf/cm²)。

滑油系统中应设置滑油沉淀舱(柜)，足够将整个系统中滑油集中，便于船舶到港停泊时进行滑油处理工作。

4.5 滑油系统的管理要点

在开航备车时，应检查循环油舱(柜)、透平油柜和轴系油柜的油位。对大、中型柴油机应开动滑油循环泵，将滑油压送到各润滑部位，以减少运转后的磨损。

当柴油机活塞采用油冷却时，在滑油冷却循环泵开动后，活塞温度将逐渐升高，起到了暖机作用。此时，应注意观察各缸的回油情况与回油温度，回油温度不能相差太大。

大、中型柴油机气缸如用单独气缸油润滑时，则在柴油机冲车前，用手摇动气缸油注油器，将滑油预先送到缸壁周围，减少启动时缸套磨损。

有些大型增压器附设有独立的透平油泵，则此时应开动该油泵，使滑油在废气涡轮增压器的轴承中循环。

在运行中，应经常检查循环油舱(柜)的油位，湿式油池要检查油池油位。如发现油位很快降低，则说明有漏泄之处。反之如油位升高，则说明水或燃油漏入曲柄箱，应结合膨胀水箱的水量消耗一起判断。这时，可减速或停车，检查其原因并加以消除。

如果循环系统中滑油量过少，滑油温度将会升高，容易引起滑油在曲柄 箱中挥发，加速滑油氧化变质，而且杂质也无法在循 环柜中得到充分沉淀。一般，循环油柜正常油面应低于柜顶板下15～20cm。

对于油冷却活塞，应注意活塞的回油情况是否稳定，防止由于油量不足或油中断造成活塞咬缸。

柴油机滑油的出口压力应保持正常，低速柴油机保持在0.147～0.39MPa(1.5～4kgf/cm²)。滑油压力应高于海水压力，以防冷却器泄漏时海水漏入滑油中，滑油压力可借滑油泵的旁通阀来调节。冷却器前的滑油温度为50～55℃，一般不超过60℃；冷却器后的滑油温度为40～45℃。冷却器进、出口的滑油温差一般为10～15℃。中、高速柴油机的 滑油温度与压力可稍高于低速柴油机。滑油温度可通过冷却器的旁通 阀来调节。滑油要定期取油样化验分析，以判断滑油是否变质。并把试验结果按次序保存起来。以便了解滑油污染的发展过程，从而正确地确定滑油使用期限。对于使用后变质的滑油，可以根据滑油检验结果，针对其变质原因，采取相应措施使之再生。

在航行中，应定期用分油机进行连续旁通分离。每天最好能将系统中全部滑油分离净化处理1.5～2.5次。当滑油总酸值超过0.15毫克KOH/克时，就应进行水洗处理。对于有 添加剂的滑油，一般不用水洗，以免洗掉添加剂。

此外，对气缸油的注油器也要经常观察，及时加油。当发现视油管油滴很小或不出油时，应及时设法消除，严防断油。对新机器或大修后初次运转时，由于活塞环与气缸套没有走合好，注油量应适当多些，但此时应经常打开扫气箱下端的放污阀，将刮下的气缸油及时放掉，不然将引起扫气箱着火。

在运行中应检查滑油泵的压力和滤器前后的压差是否正常。如果滤器前后压差过大，则说明滤器被脏物堵塞，应立即转换滤器并注意放气。脏污的滤器，拆除清洗，安装后要将油充满，放掉空气以备使用。

船舶在停港期间，如当地气候比较寒冷，主机停止运转后，应注意机舱的保温。使滑油保持适当的流动性。防止因滑油粘度太大，动车后，由于滑油供应量不足甚而中断，从而产生烧瓦等严重事故。

此外，应定期检查和清洗滑油冷却器。检漏时，可用灌水法或充气法来检查漏水处，然后根据冷却器管群的不同构造，用扩管法或嵌入铝箔环进行堵漏。当管群被油泥和水垢污损时，可将冷却器中的滑油放光，用蒸汽加热滑油空间，使油垢溶化而排出之。在设有三氯乙烯清洗设备时，可用三氯乙烯气体清洗油垢，以提高清洗效果 。

4.6 典型的滑油系统实例

4.6.1 中速柴油机动力装置的滑油系统实例

图 6.1.2—46 为长江 2×970kW 推轮动力装置滑油管系。系统设有主机滑油抽吸泵，压力泵 ，滑油冷却器，滑油温度调节器，过滤器，高位循环油箱，电动与手摇滑油泵，滑油离心分油机，残油箱等设备与管系。滑油系统由主机润滑系统、滑油输送系统、净油与污油系统组成。

高位日用滑油柜藉重力向主机循环油箱补充滑油。主机启动前可用主机附设的滑油手摇泵将循环油箱的滑油泵入机内预润滑，也可用电动或手摇泵吸自油底壳的油入机预润滑。

主机正常运行时，抽吸泵将主机油底壳的滑油打至循环油箱，压力泵又将循环油箱的滑油泵经过滤器、油冷器后进入主机。

当任何一台主机滑油泵发生故障时，电动滑油泵可作为备用泵将油底壳中的滑油直接泵经油冷器后进入主机。

排量为 1500l/h 的滑油分油机可对运行中的主机滑油进行分离洁油，还可对滑油舱、污油舱及残油箱的残余滑油进行净油分离。

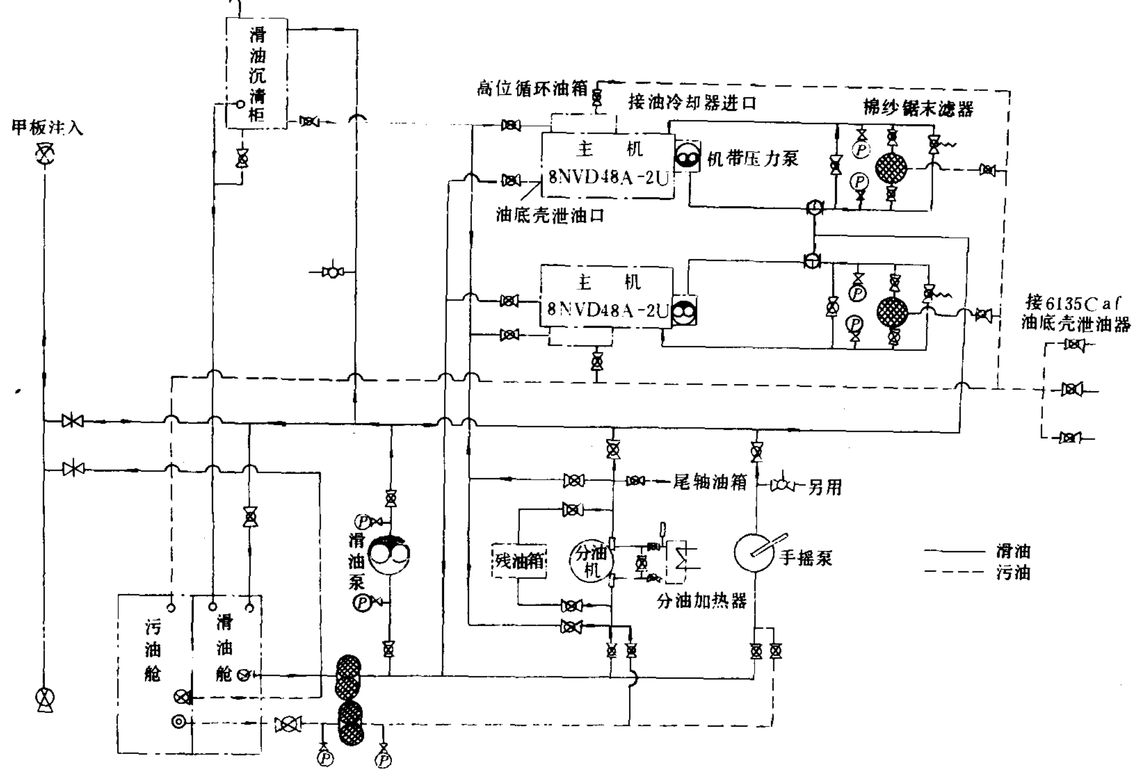
辅机为湿式滑油循环系统，人工向油底壳加注滑油。

主辅机及滤油器的污油自行流入低位污油舱内，并可泵送或被吸出船外。

4.6.2 低速柴油机动力装置的滑油系统实例

图 6.1.2—47 为 5865kW 单机单桨推进柴油机动力装置的滑油系统原理图，该系统包括主机十字头滑油系统。主滑油泵从主机滑油循环舱抽吸滑油，送至主机滑油冷却器进行冷却后再经过自清滤器过滤，然后再打入主机滑油进口进行润滑。经过自清滤器后另一路送至主机十字头滑油泵组进口，经十字头滑油泵把 滑油压力提高到 1.5MPa 左右，再送至主机十字头进行润滑。主滑油泵组和主机十字头滑油泵组均设置备用泵组，主机滑油冷却器二组共同使用一只滑油温度控制阀，以控制滑油进主机的温度。三台柴油发电机组的滑油循环回路各自独立，每台机组分别自带滑油泵和配套的电动滑油预供泵各一台，机组起动前采用电动滑油预供泵进行滑油预润滑。柴油发电机组的滑油系统和主机滑油系统各自独立的。主机增压器润滑和气缸润滑均靠重力系统。

图 6.1.2—48 系 5865kW 单机单桨推进柴油机动力装置的滑油净化和驳运系统原理图。两台滑油分油机可分别通过机带滑油净化供给泵从主机滑油循环舱或柴油发电机组滑油循环舱抽吸滑油，送至分油机进行净化处理。同时也可以通过阀箱对主、辅机滑油储存舱的滑油进行净化处理，两台滑油分油机可以互为备用。滑油的驳运通过滑油输送泵和吸入、排出阀箱对各舱、柜进行驳运或调驳至甲板上或舷外。主机气缸油驳运是由一台手动气缸油泵和气缸油电动泵组成驳运回路。净化后的滑油油渣由油渣泵打至焚烧炉的污油柜进行处理。



较 6.1.2—46 2×970kW 推轮动力装置滑油管系

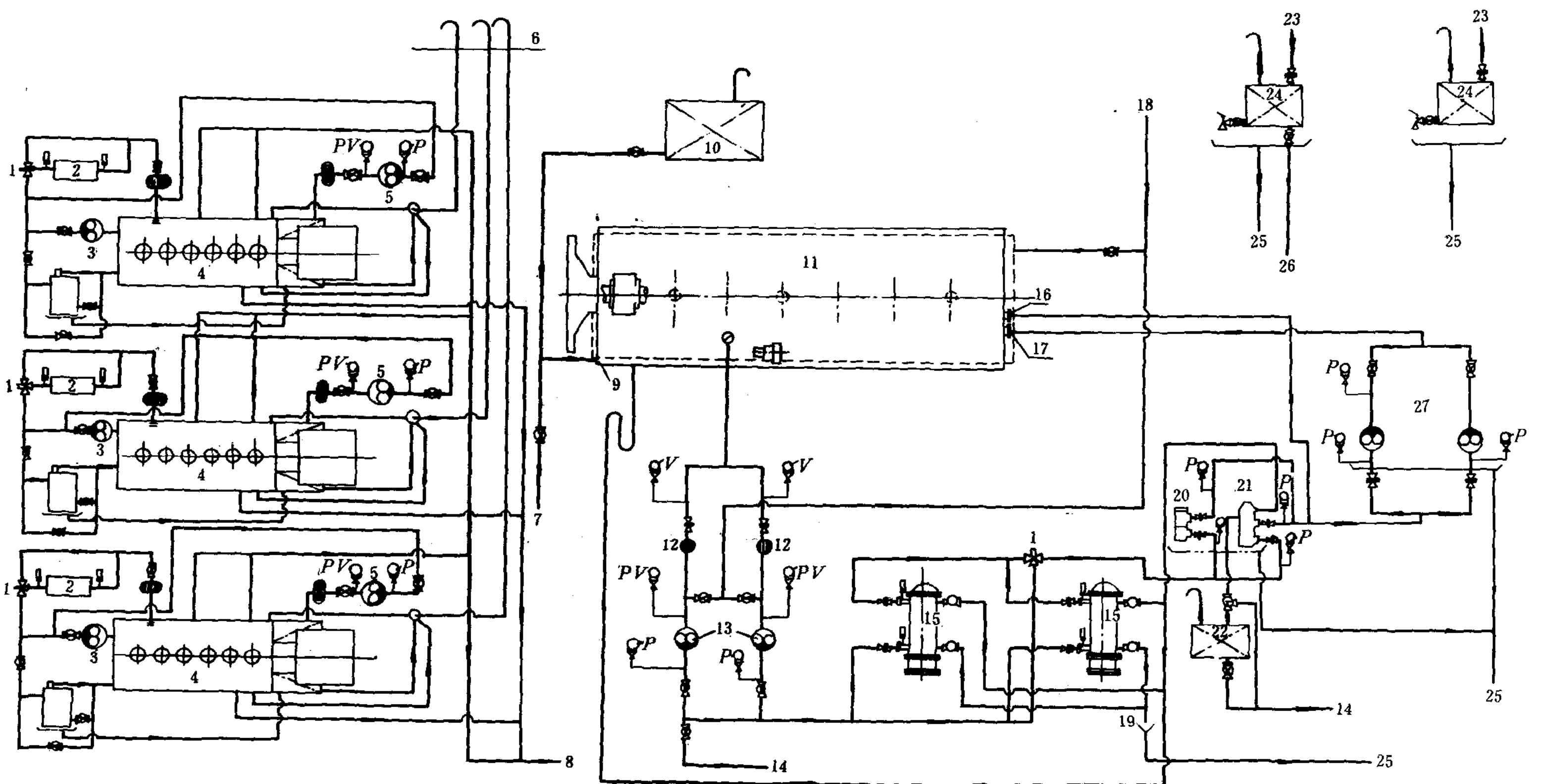


图 6.1.2—47　5865kW 单机单桨推进柴油机动力装置滑油系统原理图

1—温度调节阀；2—滑油冷却器；3—滑油泵；4—柴油发电机组；5—滑油预供泵；6—烟囱；7—试验和放水；8—至滑油油渣舱；9—气缸油进口；10—气缸油日用柜；11—主机 6RTA52；12—滑油粗滤器(202 目/吋)；13—主机滑油泵(149m³/h×0.5MPa)；14—至污滑油舱；15—主机滑油冷却器；16—主机滑油进口；17—十字头滑油进口；18—接自主机滑油储藏舱；19—泄放；20—人工清洗滤器；21—滑油自清滤器(144m³/h)；22—滑油滤器污油柜；23—接甲板注入管；24—增压器滑油柜；25—接至滑油油渣舱；26—接至滑油输送泵进口；27—主机十字头油泵(24m³/h×1.5MPa)

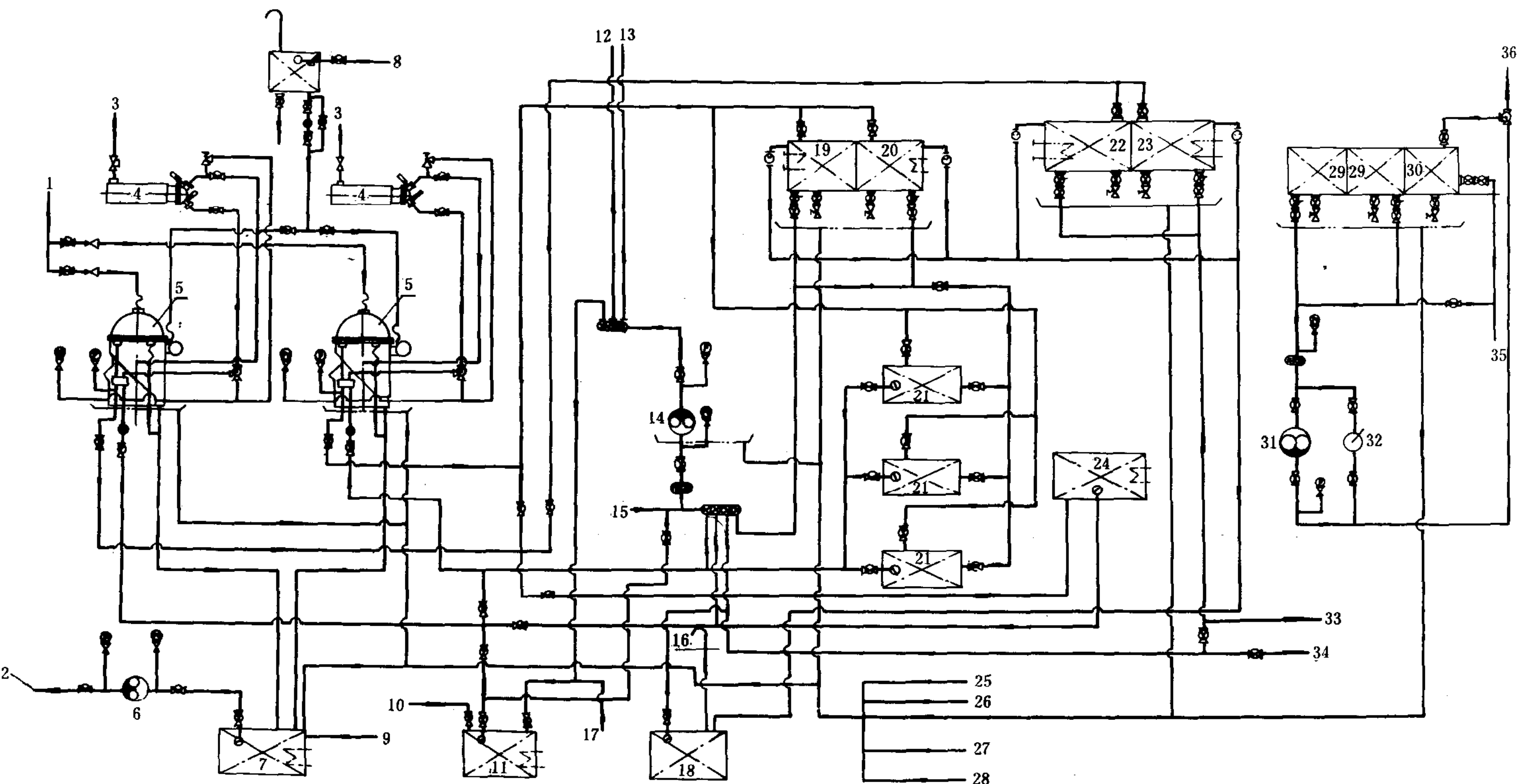


图 6.1.2—48　5865kW 单机单桨推进柴油机动力装置滑油净化和驳运系统原理图

1—接自热水柜；2—至辅锅炉废油系统混油柜；3—接自蒸汽管；4—分离机加热器；5—滑油分离机(5000l/h×1425r/min)；6—滑油油渣泵组($2m^3/h\times0.6MPa$)；7—滑油油渣舱；8—接自淡水压力柜；9—接自辅机泄油管；10—接自主滑油泵组；11—污滑油舱；12—主机至甲板卸油管；13—辅机至甲板卸油管；14—滑油输送泵组($0.12m^3/h\times0.5MPa$)；15—接自增压器滑油柜出口；16—上甲板；17—接自滑油自清滤器污油柜；18—滑油溢流柜；19—辅机滑油净油舱；20—辅机滑油储存舱；21—辅机滑油循环柜；22—滑油净油舱；23—滑油储存舱；24—主机滑油循环舱；25—接自主机十字头滑油泵组泄放管；26—接自主机滑油冷却器泄放管；27—接自空压机滑油柜泄放管；28—接自主机增压器滑油柜泄放管；29—主机气缸油储存舱；30—气缸油日用柜；31—气缸油输送泵($3.3m^3/h\times0.33MPa$)；32—气缸油手动泵($20m^3/h\times0.25MPa$)；33—接至主机滑油泵组；34—接至主机滑油循环舱；35—接至主机气缸油供油管；36—气缸油输出

参考文献

[1] 日本船用机关学会:船用机关计画便览,东京コロナ社,1969年

[2] 船用机关研究クル一フ编:船用机关デ一タ.ブ"ッダ,成山堂,1973年

[3] 船舶设计实用手册编辑委员会:船舶设计实用手册,国防工业出版社,1962年

[4] 西岛清一郎编著:船用机关工学(第三分册),海文堂,1963年12月

[5] 关西造船协会编:商船机关部计画——标准と解说,1967年12月

[6] 朱树文主编:船舶动力装置原理与设计,国防工业出版社,1980年

[7] 张乐天主编:民用船 舶动力装置,武汉水运工程学院,人民交通出版社,1985年

[8] 陈成德汇编 :船舶节油技术,人民交通出版社,1984年4月

[9] A.C.茨罔柯夫著:船用热交换器计算,人民交通出版社,1954年

[10] 中华人民共和国船舶检验局译:国际海上人命安全公约、1974 SOLAS 公约、1978 SOLAS 议定书、1981和1983 SOLAS 修正案、综合文本

[11] 崔朗然编著:舰船柴油机动力装置(修订本),国防工业出版社

[12] 中华人民共和国船舶检验局编:钢质海船入级与建造规范,人民交通出版社,1983年

[13] B. B. Маслов: Судовые системы малооборотных дизелей. издателъство: "судостроение" Ленинград. 1968

[14] 简明学编著:船舶轮机管理学,湖北科学技术出版社,1986年

[15] 大连海运学院内燃机教研组编:船舶柴油机,人民交通出版社,1981年

[16] 邓自昌,张钦良同编:船舶燃油、润滑油和水处理,人民交通出版社,1983年5月

[17] 大连海运学院,中国远洋运输公司广州分公司编译:船舶柴油机润滑,人民交通出版社,1976年5月

[18] "船用柴油机设计手册"编辑委员会编:船用柴油机设计手册,国防工业出版社,1983年10月

[19] 盛昕 周轶尘 程冲合编:船用柴油机实用手册,人民交通出版社,1985年7月

[20] [苏]维·彼·曼奴依洛夫著:船舶动力装置管理,人民交通出版社,1982年7月

[21] H. B. Петровскцй: основъ проектировьания судовых дизелъных установок, издателъство"судостроенне",1965

第 3 章　船、柴油机、桨的特性与配合

1 基本概念

1.1 船、机、桨的能量关系

船、机、桨的能量转换关系见图 6.1.3—1。如忽略轴系、传动设备等的中间损失和船、桨之间的相互影响，则船、机、桨三者之间的能量应是相等的。当船舶不带减速齿轮箱并按等速直线航行时，主机与螺旋桨的关系是：桨的转速应等于主机转速；桨所需的转矩应等 于主机所能供给的转矩。船体与螺旋桨之间的关系：桨的进速等于经修正伴流后的船速；桨的有效推力等于船体所受的阻力。

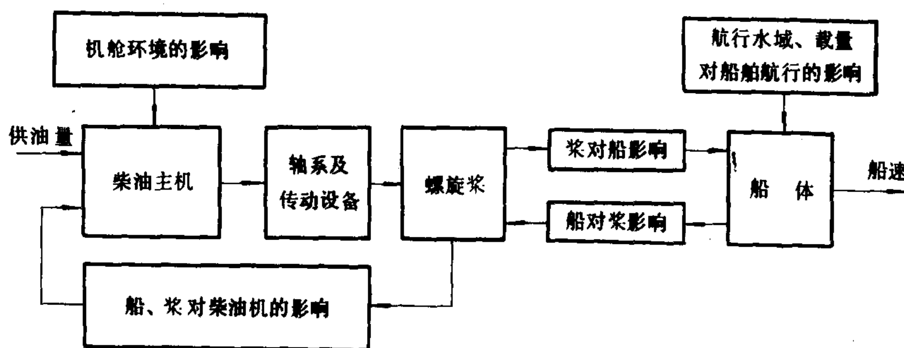


图 6.1.3—1　船、机、桨能量转换模型

1.2 特性、配合与工况

1.2.1　特性

广义地说，它反映船、主机（实际上指的是柴油机推进装置）和桨的主要技术经济指标（功率、扭矩、主机的燃油耗油率和排气温度等），随其转速或航速的变化关系，这些关系由它们三者各自的特性所决定，即：船的特性、主机的特性和桨的特性。

1.2.1.1　船的特性

船的特性可用随 航速变化的阻力特性来表示。

1.2.1.2　主机（指柴油机推进装置）的特性

主机的特性主要用其柴油机的供油量、平均有效压力；轴的输出扭矩及功率等随转速（航速）的变化关系表示，并受到推进装置的组成和型式的影响，即：

1）主机是否采用增压：是采用高速机还是低速机等；

2）传动方式与设备的影响：是直接还是间接传动（包括采用电传动或液力传动）或是采用减速传动；是并车还是分车；所采用的离合器型式等 。

3）轴系的数目：是单机单桨轴系还是多机多桨轴系等。

1.2.1.3 桨的特性

桨的特性受到桨的结构和水动力因素的影响，常用推力和扭矩来表示。

1.2.2 特性曲线

把船、机、桨三者随转速或航速变化的一些技术经济参数，分别或集中地在图上用曲线表示出来，此曲线即为特性曲线。

1.2.3 配合点

在某一工作条件下，船、机、桨三者的转速与能量均相等的点称为“配合点”，也称为“平衡点”。在船舶设计转速和负荷条件下的配合点，称为设计配合点，船舶在此点运行，就可得到设计航速，其螺旋桨的效率较高，此航速不一定是经济航速。当三者中某一方的能量和转速发生变化时都会使平衡点发生变化，在新的条件下形成新的平衡点，并偏离设计平衡点。这时，功率、转速和效率等参数将发生相应变化。

1.2.4 推进装置的工况

指船、机、桨三者配合工作时的运转状况。这种运转状况有以下几种：一是以转速n（或航速 V_s）为变量的工况；二是以负荷 P_e（或轴的扭矩 M_p）为变量的工 况；三是以 n（或 V_s）与 P_e（或 M_p）同时均为变量的工况。

1.2.5 变工况[1]

变工况是船、机、桨在非设计工况下工作的一切运行工况的统称。变工况是经常发生的，例如：

1）船舶航行条件的变化　船遇风浪、潮水、上滩、载量变化，其船舶工况就会发生变化。

2）机动操纵引起的变化　船舶在起航、加减速、转弯或倒退统称之为过渡工况，其配合关系也会发生变化。

3）船、机、桨本身的性能变化　主机及轴系长期使用后效率下降，船舶产生了污底，以及螺旋桨直径或螺距发生了变化等。

上述各种变工况，均对三者之间的配合发生影响，故在管理时必须予以重视。

2 船、柴油机、桨的基本特性

2.1 船舶柴油机的基本特性

船舶柴油机的基本特性主要有：速度特性、负荷特性、调速特性、万有特性等 ，这些内容参阅见本手册 4.1.9。这里仅介绍近年来国外某些柴油机厂提出的主机减额功率输出的配合特性。

2.1.1 主机减额功率输出（Derating）

2.1.1.1 实行“减额输出”的目的

为了降低主机燃油消耗，改善机、桨的配合性能，近年来国内外有些主机厂或船舶采用了减额功率输出（简称减额输出）的方法。以往的船舶柴油机只能提供一个额定的最大持续输出（MCR）点，供用户设计螺旋桨之用。实行“减额输出”后，除上述额定的 MCR 点外，尚能提供

一个可供用户自由选择的减额功率和转速的较大运行区域，并称此区域为“减额输出区”Derating Area 或 Lay out Area)，以便用户能根据实际情况获得较经济的油耗，这就扩大了柴油机与船舶匹配的范 围，实现了较理想的“机配船”的配合方法。这种“减额输出”的方法，即适合于新船的设计和选型，也适用于相应旧船机型的改造。

2.1.1.2 实现柴油机“减额输出”的基本方法

实现柴油机“减额输出”是相对原有同一缸径和冲程的柴油机所采取的一些改革措施：主要是通过改变增压器型号或增压器通道截面、气缸的压缩比、排气阀正时和采用可变喷油正时(VIT)，使其在比额定的 MCR 低的情况下保持最高爆发压力 P_{max}基本不变，并使其在减额输出区中的任何一点都具有良好的性能及较低的燃油消耗率。这种方法和俗称的减速航行不一样，后者主要是通过降低主机转速和负荷来达到节油目的，虽说它在结构上也要采取某些调整措施。

2.1.1.3 减额输出图(Layout Diagram)及其含义

主机的“减额输出”性质及其可供配合的区域，主要是通过减额输出图来表示。不同机型的减额输出图虽然有所不同，但其功用和原理却基本相似。现以 B&W 公司 MC/MCE 柴油机和 Sulzer 公司 RTA 柴油机为例进行说明(参见图 6.1.3—2)

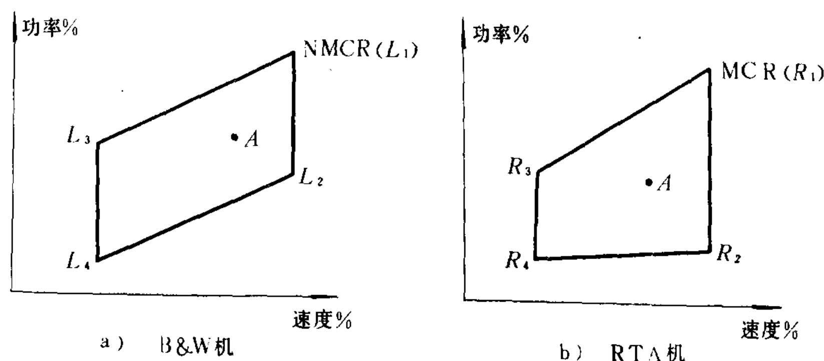


图 6.1.3—2 船舶柴油机的减额输出特性

a)B&W 机；b)RTA 机

图 6.1.3—2a)为 MC/MCE 机的减额输出图，其中纵座标表示功率 kW(BHP)的百分数；横座标表示主机转速(r/min)的百分数，二者均用对 数表示。减额输出区有四个输出点，其中 L_1 表示额定最大持续输出(Nominal Maximum Continuons Rating)，简称 NMCR。该点主机的输出功率为 $100\%P_n$；输出转速为 $100\%n_n$。除 L_1 点外，在减额输出区中的其他点的输出，均称为减额输出(DMCR)，并称其为约定最大持续输出(Specified MCR 即 SMCR)。图中的 L_2、L_3、L_4 则分别表示减额输出区其他三个拐角处的减额输出点，以便选用。在图(a)中，由 L_1、L_2、L_4、L_3 四个点及其连线所包围的面积即为减额输出区。在此区域中，任何一点主机的功率(kW)和转速(r/min)的组合均可供选用。图中的 L_1、L_3 和 L_2、L_4 两根斜线表示平均有效压力(mep)的百分数线；L_3L_4 和 L_1L_2 则为两根转速 n 的百分数线，其有关技术数据见表 6.1.3—1。

表 6.1.3—1　　MC/MCE 机减额输出区的 mep 及 n 的范围

符　　号	平均有效压力 mep%	主机速度 n%
L_1	100%	100%
L_2	80%	100%
L_3	100%	75%
L4	80%	75%

在上表中，对 L35MC/MCE 机的转速百分数线 L_3L_4(r/min)是被限制在 82%。

图 6.1.3—2b)为 Sulzer 公司的 RTA 机减额输出图。图中的 R_1 称其为主机最大持续输出(即 Engine MCR)，除 R_1 点外，减额输出区(即 R_1、R_2、R_4、R_3 四个点及其连线包围的面积)中其他点的输出，亦称其为减额输出(DMCR)，但也称其为约定最大持续输出(Contract MCR 即 CMCR)；图中的纵横座标的含义及表示法，以及所给出的减额输出区的含义及功用等，均与上述的 MC/MCE 机基本相似。

RTA 机减额输出区功率的输出范围为 55～100%P_n；转速输出范围为 72%～100%n_n；而 MC/MCE 机减额输出区功率的输出范围为 60%～100%P_n；转速输出范围为 75%～100%n_n。

除上述两种机型外，近年来中速柴油机(例如 MAN 及 PC 机)也能提供减额输出区。

2.1.1.4　减额输出区的配合特性及其燃油消耗率

参见 6.1.3.4 及 6.1.3.5。

2.2　船舶航行阻力特性

船舶在航行时，受到空气和水这两种介质的阻力。在正常的气候(3～4 级风)及海况下，航速不高的船舶的空气阻力，仅占总阻力的 2%～3%，船舶航行时的阻力特性，主要是以分析船速及载量变化时水对船舶的阻力的影响为依据。

一般民用船舶的水阻力，以摩擦阻力为主。实船或船模的试验表明，水对船体的总阻力与航速的 m 次方成正比[6]、[8]，即：

$$R = A_R . V_s^m \qquad (6.1.3—1)$$

式中：R ——水对船体的阻力，N；

V_s——船速，kn；

A_R——阻力系数，与船体线型、排水量、污底程度、拖带、航道及海情等因素有关。

m——指数，对于航速不高的民用船舶来说，可取 m=2；对水翼船及滑行艇可参考有关资料。

若航速为 V_s 时其船体总 阻力为 R，则直接用于克服船体阻力所需的功率 P_e 为：

$$P_E = \frac{RV_s}{1943} \quad kW \qquad (6.1.3—2)$$

式中：R ——船体阻力，N；

V_s——船速，kn。

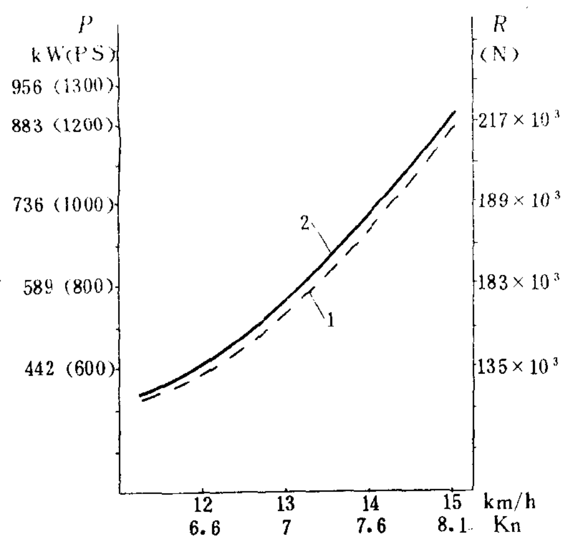


图 6.1.3—3 某轮的阻力、功率随航速的变化特性
1—裸船体； 2—实船

上述阻力、功率随航速的变化关系，可通过模型及实船试验求出。图 6.1.3—3 为某船的阻力、功率随航速的变化关系，由图可见，其阻力约与航速平方成正比变化；功率则约与航速的三次方成正比；图中的曲线 1 为裸船体船模试验所得，曲线 2 则为实船试航测试所得。由于实船航行时增加了附属体等的阻力影响，故曲线 2 在相应航速下所克服的阻力要比曲线 1 大。

2.3 船舶螺旋桨推进特性

船舶螺旋桨推进特性主要反映螺旋桨的推力 T 和转矩 Q，推力系数 K_T，转矩系数 K_Q 以及桨的敞水效率 η_0 等随船速（转速）和进速系数 J 的变化关系。

$$J = V_j / n_s \cdot D \quad (6.1.3\text{—}3)$$

$$K_T = T / \rho \cdot n_s^2 \cdot D^4 \quad (6.1.3\text{—}4)$$

$$K_Q = Q / \rho \cdot n_s^2 \cdot D^5 \quad (6.1.3\text{—}5)$$

$$\eta_0 = \frac{TV_j}{Q \cdot 2\pi n_s} = K_T / K_Q \cdot J / 2\pi \quad (6.1.3\text{—}6)$$

式中：ρ ——水的密度；

D ——螺旋桨直径，m；

n_s ——螺旋桨转速，r/s；

V_j ——螺旋桨进速，m/s。

图 6.1.3—4 示出 K_T、K_Q 及 η_0 随 J 的变化规律和关系。

在给定的船舶中，其桨径为定值，J 仅随 V_j/n 而变化。当 V_j/n 为常数时，K_T 与 K_Q 亦为定值，加之 ρ 的变化也较小，故桨的有效推力 T_e 和 Q 就与转速的平方成正比，即：

$$T_e = C_T \cdot n^2 \quad \text{kN} \quad (6.1.3\text{—}7)$$

$$Q = C_Q \cdot n^2 \quad \text{kN}\cdot\text{m} \quad (6.1.3\text{—}8)$$

式中：C_T、C_Q ——常数；

n ——螺旋桨转速。

螺旋桨所需的功率可写成：

$$P_P = \frac{\pi}{30} \cdot Q \cdot n \quad \text{kW} \quad (6.1.3\text{—}9)$$

式中：Q——转矩，kN·m。

将(6.1.3—8)式的 Q 值代入上式，可见 P_P 与转速的立方成正比。

图 6.1.3—5 示出：在不同的进速系数 J 时，T(Q)和 P 与 n 之间的函数关系。可知：当 n 一定时，随 J 的减小，T(Q)和 P 均要相应增大；在 J 保持不变时，T 与 Q 二参数均随 n 的平方成比变化。

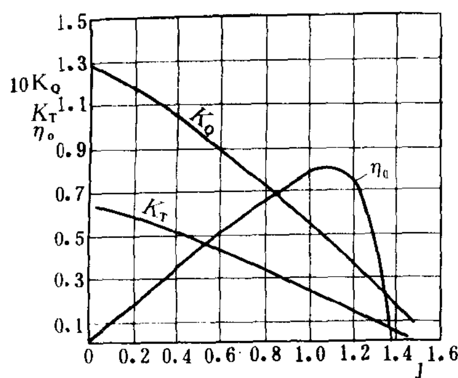


图 6.1.3—4　螺旋桨的敞水特性

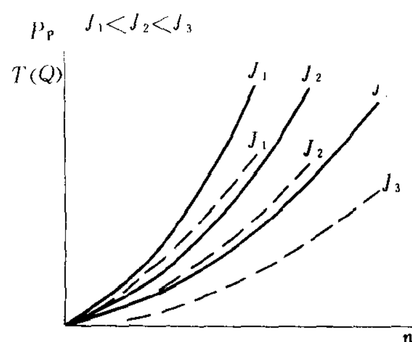


图 6.1.3—5　不同 J 时的推进特性
实线——P=f(n)的特性曲线；
虚线——T(Q)=f(n)的特性曲线

2.4　航速与转速的转换关系

船的阻力特性一般用它随航速的变化关系表示，螺旋桨及主机的特性则是以它们的主要技术经济参数随转速的变化关系表示，为此需建立航速与转速二者之间能够相互转换的关系式。已知：船舶在稳定工况（例如在进速系数 J 为定值的情况下）航行时，螺旋桨所产生的有效推力 T_e 和船舶阻力 R 是相等的，即：

$$T_e = T(1-t) = R \quad \text{kN} \qquad (6.1.3-10)$$

式中：t——推力减额分数，故由公式 6.1.3—1 和 6.1.3—7 可得：

$$n = \left(\frac{A_R}{C_T}\right)^{1/2} V_S \qquad (6.1.3-11)$$

对于已设计建造的船舶，其线型与尺度是已定的，当船舶的航行状态也保持一定时，上式中的系数 A_R C_T 可看作是常数。如令 $K = \left(\frac{A_R}{C_T}\right)^{1/2}$ 则：

$$n = KV_s \qquad (6.1.3-12)$$

此公式即为航速与转速的关系式。图 6.1.3—6 列示了不同 J 值时航速与转速的关系。其中 J_n 为额定工况的 J 值。从图可知，当 n 为某一常数时 J 值愈大则航速也相应较高。同时，从上式中表明：对于 n 与 V_s 只要知道其中一个参数，另一参数就可求得，故只要换一个比例尺，即可将二者表示在同一图上，如图 6.1.3—7 所示。

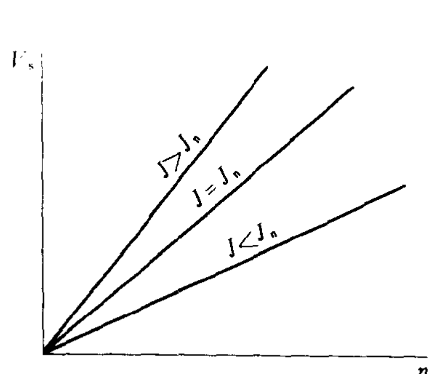


图 6.1.3—6　不同 J 值时航速与转速的关系

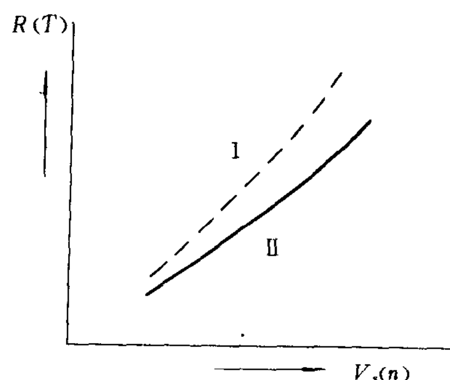


图 6.1.3—7　阻力(推力)与航速(转速)的关系
I—重载；II—转载；

3 船、机、桨的能量转换与配合性质

3.1 推进装置机械能的传递过程

船舶主机的功率在传递至螺旋桨的过程中，有一系列的损失，见图 6.1.3—8 及表 6.1.3—2。

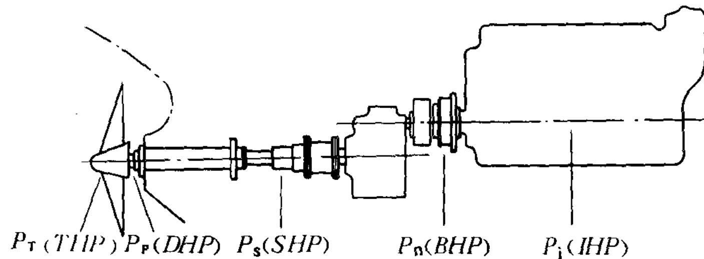


图 6.1.3—8　推进装置功率传递过程示意图

表 6.1.3—2　**功率的传递过程及其损失**

序号	功率的传递过程及其损失	
1	指示功率 P_i(IHP)	
2	最大持续功率 P_{mc}(MCHP)	考虑摩擦损失及温湿度修正后的功率
3	轴功率 P_s(SHP)	传动设备及各种轴承所消耗的功率
4	收到功率 P_p(DHP)	尾轴承及其密封装置所消耗的功率
5	推力功率 P_T(THD)	螺旋桨与水的摩擦及尾流动能所损失的功率
6	船舶有效功率 P_E(EHP)	由推力减额及伴流等船体影响所损失的功率

3.2 环境状况与推进装置功率转换计算

3.2.1 动力装置的标准状况

测量柴油机功率、燃油、滑油消耗率以及辅锅炉的油耗时，其计量值与其环境状况有关，国内、外有关标准对环境状况均有所规定。

1)中国推荐采用的标准环境状况[2]

中国船舶标准化技术委员会于 1984 年 11 月审查通过的“船用柴油机功率、燃油消耗和机油消耗的标定及在非标准状况下的修正”中规定，确定柴油机的功率和燃油消耗率时，采用的标准环境状况为：

大气压力 P_0=100kPa(750mmHg 柱)

环境温度 T_0=298k(25℃)

相对湿度 Φ_0=30%

空气冷却器进水温度 T_{mco}=298K(25℃)

对装在无限航区船舶上的柴油机,应采用下列替代的环境状况:

大气压力 P_0=100kPa(750mm Hg 柱)

环境温度 T_0=318K(45℃)

相对湿度 Φ_0=60%

空气冷却器进水温度 T_{mco}=305K(32℃)

2)ISO 推荐的标准环境状况

压气机进气温度	27℃
压气机进口大气压力	100kPa
空气冷却器进水温度	27℃
燃油低热值	42700kJ/kg

B&W 公司推荐:对非标准环境状况时所测燃油消耗率应作如下修正:

压气机进气温度上升 10℃	−0.04%
压气机进口压力上升 1kPa	0.06%
空气冷却器进水温度升高 10℃	0.79%
燃油低热值上升 1%	−1.00%

3.2.2 功率转换的计算

3.2.2.1 指示功率 P_i(IHP)

P_i(IHP)是在标准环境状况下,最大持续输出工况时柴油机所发出的指示功率,用下式[9]计算:

$$P_i=\frac{G_{Tm}\cdot H_u}{3600}\cdot\eta_i \quad kW \qquad (6.1.3—13)$$

式中:G_{Tm}——主机在最大持续输出时的燃油消耗量,kg/h;

H_u——柴油的低热值,kJ/kg;

η_i——柴油机的指示效率;

四冲程机:η_i=0.42~0.50

二冲程机:η_i=0.35~0.54

3.2.2.2 持续功率[1][2]P_n(BHP)

P_n(BHP)指柴油机在标定转速及标准环境状况下所输出的持续运转的最大有效功率。对于船用主机,此档标定功率称为最大持续功率[2],用符号 P_{mc}表示,通常也称其为额定功率。

在非标准状况时,P_{mc} 可用下式计算:

$$P_{mc}=P_i\cdot\eta_m\cdot\eta_t\cdot\eta_\Phi \quad kW \qquad (6.1.3—14)$$

式中:η_m——柴油机的机械效率

非增压机:η_m=0.75~0.85

增 压 机:η_m=0.8~0.92

η_t、η_Φ——分别表示温度与湿度的修正系数,可参照有关标准选用。

通常把持续功率 P_n 作为柴油机、轴系、传动设备及螺旋桨等的强度计算基准,并作为船舶

动力装置中各种辅机，设备以及舱柜等选型和估算容量的依据。

3.2.2.3 轴功率 P_s(SHP)

P_s(SHP) 指 P_{mc}(或 P_n)在扣除传动设备、推力轴承和中间轴承等传动损失后的实际输出功率，其数值与上述部件的结构型式、数量及在轴系上的测量位置有关。如将测量仪器安装在尾轴管的前端，则所得的功率为：

$$P_s = P_{mc} \cdot \eta_i \cdot \eta_{rt} \cdot \eta_{rz}^n \quad kW \tag{6.1.3—15}$$

式中：η_i ——减速装置效率，减速齿轮箱约 0.95～0.97，液力偶合器约 0.94～0.985；

η_{rt} ——推力轴承的机械效率(米契尔型约 0.995)；

η_{rz} ——每一个滑动中间轴承的机械效率(约 0.997～0.998)；

n ——中间轴承的数目。

3.2.2.4 螺旋桨收到功率 P_P(DHP)

P_P(DHP)指 P_s 扣除尾轴承及密封填料损失后所输出的功率：

$$P_P = P_S \cdot \eta_W \quad kW \tag{6.1.3—16}$$

式中：η_w——尾轴承及密封填料的机械效率，约 0.985～0.99。

3.2.2.5 推力功率 P_T(THP)

P_T(THP)是螺旋桨产生推力 T 和进速 v_j 时所作的功率：

$$P_T = P_P \cdot \eta_B = P_P \cdot \eta_x \cdot \eta_0 \quad kW \tag{6.1.3—17}$$

式中：η_β——船后螺旋桨效率：

η_x——相对旋转效率(约为 0.95～1.05)；

η_0——螺旋桨敞水效率(约 0.55～0.65，有时可达 0.75)。

3.2.2.6 船体有效功率 P_E(EHP)

P_E(EHP)指克服 船舶航行阻力所需的功率：

$$P_E = P_T \cdot \eta_s \quad kW \tag{6.1.3—18}$$

式中：η_s——船体影响系数：

$$\eta_s = \frac{1-t}{1-w} \approx 0.95 \sim 1.2$$

其中：t ——推力减额系数；

w——伴流分数。

3.3 机、桨的配合性质

3.3.1 工作区域的划分

螺旋桨的设计负荷点，或是主机的最大持续输出点，均要求二者能在所允许运行的工作区域选取一个机、桨合理配合的设计工况点。为此，必须先了解主机带桨在各个工作区域运行时的性质，即其工作的可行性，适应性及所受到的限制等。现以某柴油机带 桨工作时的功率与转速关系图为例加以说明。

图 6.1.3—9 表示 柴油机带桨位于不同工作区域时的情况。图中纵坐标所表示的功率百分数及横坐标所表示的转速百分数均是取其对数。AA′线是设计状态的理论推进线($P_p = C_p \cdot n^3$)，它通过 100%功率和 100%转速的 A 点处(即 MCR 点)。EE′和 CC′分别为桨过重或过轻时的推进线；图中斜度较小的 p_e%线为平均有效压力 p_e(或扭矩 M_D)的分数线。图中将柴油机带桨的工况划分成三个区域[3]：

1)区域Ⅰ——位于图中AA′线(右边)与线DD′线之间,常称为安全区,在此区域内的负荷P_e不可能超过100%P_e的负荷线,转速也在极限转速DD′线以内。

2)区域Ⅱ——位于图中AA′线与BB′线之间,它称为短时工作区,在此区域里的机桨配合点一般均是在桨过重时发生,例如假定其中的推进线EE′和全负荷p_e%线在E点相交,这时的转速将低于额定转速n_n,如果发动机装有调速器就可能出现超负荷,故一般在桨重而转速又过低时,主机不能按全负荷p_e运行,有时还必须减小油门的供油量,以防止它超负荷。特别是对于增压柴油机,由于转速下降,废气排量减小,废气涡轮前的压力下降,涡轮功率也下降,导致涡轮带动的压气机转速及进气量的减少。因此在降低转速的同时,减少了每循环的充气量,引起增压压力下降和气缸充气量的减小。此时虽然功率及转速均已降低,但主机每循环的喷油量有可能不变,其过量空气系数会减少,将引起热负荷升高等多种问题,影响主机的安全运行。在此区域只允许短时工作。

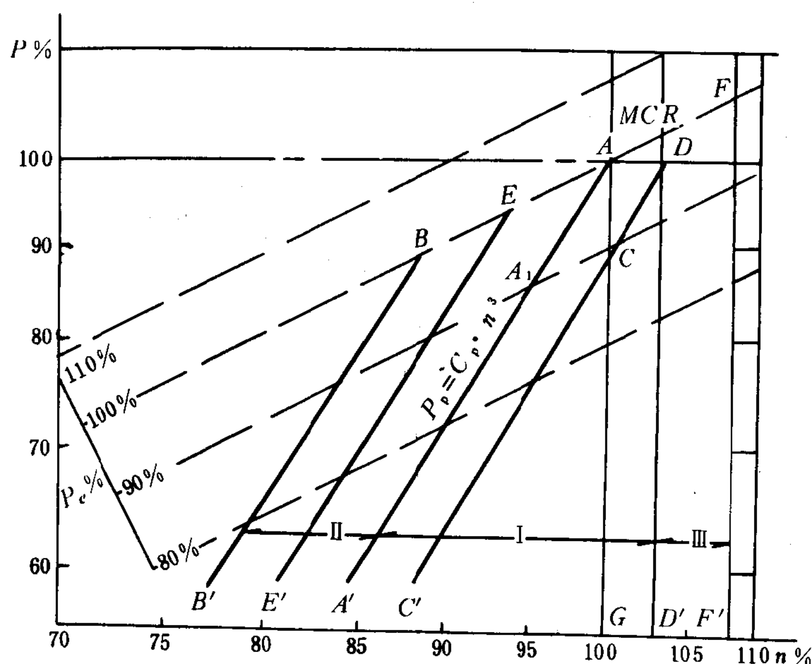


图6.1.3—9　柴油机带桨的工作特性

3)区域Ⅲ——位于图中DD′线(或AG线)与FF′线之间,并称为超速运转区域,供新船试航时为能达到设计航速,使其能在100%p_e条件下短时间内作超转速(103%~108%n_n)运转,在此情况下对发动机的磨耗及寿命产生某些不利影响,一般不宜常用。

通常不同的机型其区域划分范围是有所差别的。

3.3.2 螺旋桨设计负荷点的确定[3]

螺旋桨的设计负荷点是指机、桨额定工况的配合点,它与设计时所选定的机、桨特性曲线有关,将它们的性能曲线示于同一个功率——转速(或扭矩——转速)特性图上,其交点即为配合点。理论上此点是通过100%P_{me}、100%p_e和100%n_n的MCR点,在实船营运过程中,这个配合点往往会发生变化。例如:船舶在使用一段时间后,因污底引起船体阻力增加,主机的性能会发生某些降低;此外,气候、海况以及设计条件也会出现某些变化。如果螺旋桨的设计负荷是按新船满载试航时能吸收主机100%功率选定的(如图6.1.3—9中的A点所示),则新船试航时,主机将沿AA′线在A点附近运转,但当遇到风浪或因使用一段时间后船体污底而使船体

阻力增加，则螺旋桨将会加“重”，此时 A 点将渐移向 B 点（如果油门仍保持在额定供油量的位置不变），转速与功率就会相应降低。然而，如果螺旋桨设计工况点取在 C 点，即预先留有一定储备，则对船底清洁的新船，当其在良好的气候、海况条件下满载试航时，主机将沿 CC′线运转，这时螺旋桨就要“轻”一些。当螺旋桨负荷逐渐加大，C 点将逐渐上升，一直可升高到 A 点（使用调速器控制时），或将 C 点移到 A_1'点（无调速器并保持油门不变时）而不致超负荷。这说明设计负荷点取在 C 点（即使其具有一定的储备量），尽管在开始营运时负荷较轻，但在以后的长期运行期间，其主机负荷就不致过重，可保证船舶的安全营运。

3.3.3 储备的主要方法

常采用以下三种：

1）功率储备（并称为“P 储备”）取主机功率的某一百分比（例如 90%），转速为 100%，船体阻力取新船满载试航时的阻力作为设计工况（即该设计点为图 6.1.3—9 中的 C 点）。

2）转速储备（并称为“N 储备”）取 100%主机功率，适当增加转速（例如取转速为 103% n_n），而船体阻力取新船满载试航时的阻力作为设计工况（即设计点为图 6.1.3—9 中的 D 点）。

3）阻力储备（或称为“R 储备”）取 100%主机功率，100%转速，而船体阻力则取满载运行时船体有一定程度污底，并有一定风浪时的阻力（例如取新船静水试航时阻力的 120%）作为设计工况（即图 6.1.3—9 中的 AA′线代表船舶在满载营运时的主机输出曲线，而新船试航时的输出曲线则在 AA′线下面）。

以上三种方法，虽然表现的形式不同，其函义是一致的，即新船在试航时，螺旋桨“轻”一些，经过一定时期的运行或遇到风浪时，虽逐渐加“重”，但仍不致使主机超负荷。当然考虑储备后设计的螺旋桨，在新船试航时如要测试 100%主机功率时的航速，主机就必须要超转速，或加大油门至额定供油量位置。除这三种方法外，也有既将阻力增加某一百分比，又对在 100%转速时的主机功率打一折扣来设计螺旋桨；也有在设计时先不考虑储备（即 100%功率、100%转速、100%新船试航阻力、以下称为“O”储备），待算出螺旋桨参数后再凭经验适当加以修正（例如对扭矩和转速再分别打折扣等）。

10%P 储备和 3.5%n 储备基本相同，但 10%P 储备与 10%R 储备并不等价。储备量的大小和船型、机型、航速、航道、坞修等有关。沿海和内河航行的船舶、其储备量可取小一些，从动力装置的紧凑性和降低初建费角度考虑，主机的储备宜取小一点，以便充分发挥主机功率。一般储备量可取 5%～15%P_{mc}。对长江及内河船舶的国产机目前常采用主机 12 小时功率打九折，再考虑其在机舱时的温度、湿度修正，并扣除其轴系传动损失，由此得到螺旋桨的收到功率，并以其作为螺旋桨的设计负荷。目前轮机人员习惯于开常用车速（即降功率开主机），用这种确定桨的设计负荷方法也是可以的。决定储备量时，尚应考虑到用船部门的管理、调度及船员的操纵习惯等。

3.4 几种机型的配合特点与实例

对于采用废气涡轮增压的机型，其极限功率受到 DABB′线的严格限制（如图 6.1.3—9 所示）。其中 DAB 线段受到最高燃烧爆压力的限制，同时 B 点的转速不能过低、因在转速降低时，其爆压将受到轴承所能承受的机械负荷的限制。BB′段为排气温度（即热负荷）极限，如负荷再低则受到涡轮喘振及烟度限制，故在实际运转时，均须在上述极限功率线的右下方运转。在整个图中只有一部分区域才能作为允许运 转范围，此范围的大小与机型（冲程数、速度高低等）有关，特别与主机的扫气方式（直流、横流），废气涡轮增压方式（脉冲、定压）；增压度，热负

荷等有关。一般地说，非增压的四冲程柴油机较增压式二冲程柴油机所允许的运转范围为大，脉冲涡轮增压及直流扫气的柴油机又较定压涡轮增压，横流扫气的柴油机为大，同时即使同一种机型还和制造厂的制造与装配质量有关。

各柴油机厂对其制造的柴油机运转范围均有严格规定，往往还附有技术文件，可供选择机桨配合参考。

3.4.1 6135caB—2 型非增压船用柴油机的特性与配合

6135 型柴油机属高速柴油机；一般需经减速齿轮箱输出功率，其设计负荷的配合点应按上面所介绍的方法确定。台架试验的推进特性及其配合情况参见图 6.1.3—23。

3.4.2 6L20/27(25/30)型废气涡轮增压式船用柴油机的特性与配合

图 6.1.3—10 为 6L20/27(25/30)特性与配合情况，图中纵坐标表示功率输出的百分数；横坐标表示转速（速度）的百分数；与 AB 平行的诸斜线为等平均有效压力 p_e 线；与 AA′平行的诸斜线为螺旋桨的理论推进特性线；A 点为通过 100%p_e 和 100%n_n 的 MCR 配合点，影线面积 FP 为考虑污底等影响后，可供定距桨设计的负荷域；"Ⅰ"区域（即图中 D′DAEE′线所包围的面积）为可供持久工作的区域；"Ⅱ"区域（由 EBB′E′所包围的面积）为节制工作区域，即只允许短时间加速或机动操作时应用，该机允许在 12h 内有 1h 超负荷 10%的能力。

目前 M·A·N 和 B&W 公司所生产的这种中速柴油机，已能提供减额输出区，以利机桨配合。

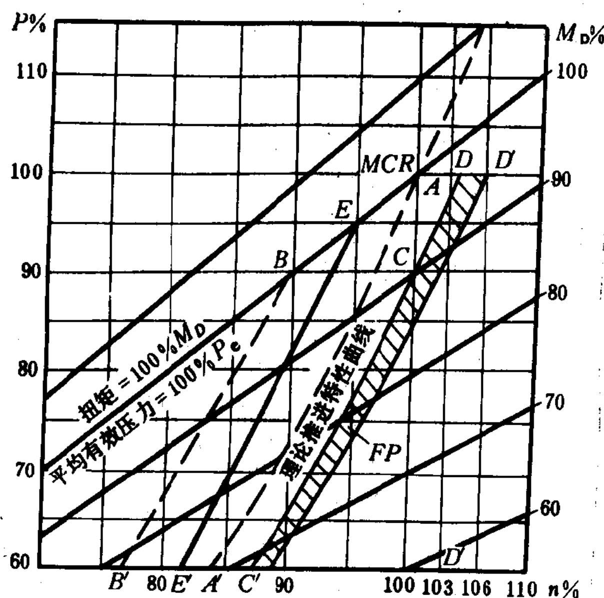


图 6.1.3—10 L20/27(25/30)船用柴油机与螺旋桨理论配合特性

3.4.3 NVD 系列增压式船用柴油机的特性与配合

图 6.1.3—11 为 8NVD48A——2U 型增压式船用柴油机的理论配合特性曲线。图中纵座标为扭矩百分数[M_d%]，横座标为转速；P_p、P_S、P_i、P_L 等为不同工况时的推进曲线，其中 P_i 为通过 100%M_d 和 100%n_n 配合点 O 处的理论设计推进曲线，O 点为单船装载自由航行时额定工况的配合点（即为 MCR 园点）；P_L、P_s、P_p 则分别为变工况时假想在某一工况所相应的推进特性曲线；b_e 为等耗油率的万有曲线；P(kW)为等功率线；t_s 为等温线；B 和 A 则分别为扭矩与转速的限制线。从图可以看出机桨匹配及有关技术经济指标的变化情况。一般只要知道其中某两个参数，就可求得第三个参数的数值。该机的说明书没有提到功率储备及区域的划分情况，故在管理和决定设计负荷点时应引起注意。

图 6.1.3—11 中：

M_a[%]——输出扭矩的分数；

b_e(即 g_e)——单位燃油耗率 g/kW·h；

O——100%M_d 和 100%n_n(相当 428r/min)时的交点；

○——超负荷 110%时机桨配合的交点；

P_L ——空载自由航行螺旋桨特性曲线；

P_i ——船舶装载自由航行时螺旋桨特性曲线；

P_s ——船舶拖载时的推进曲线；

P_P ——船舶系泊时的推进曲线；

A ——超转速时的调整曲线；

B ——超负荷时的绝对外部特性(扭矩)。

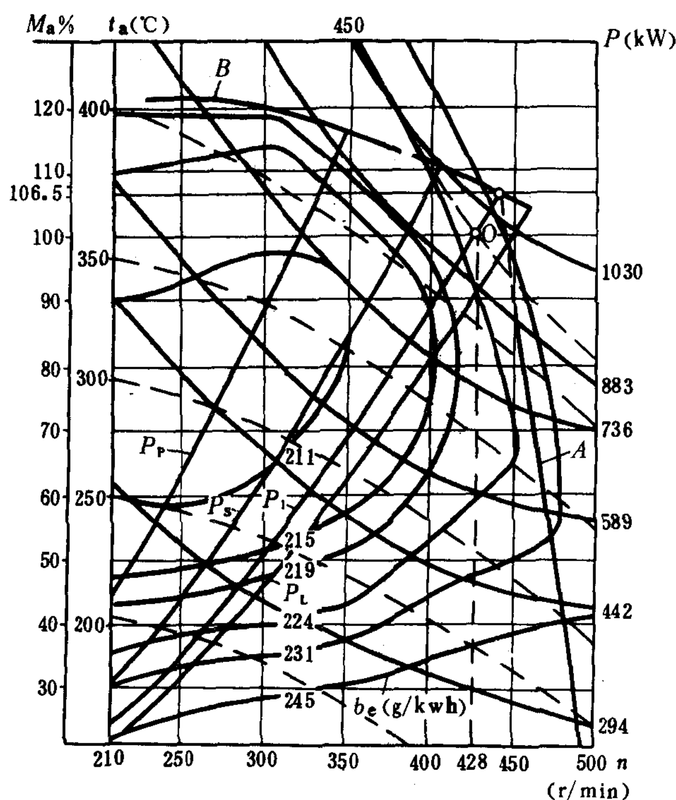


图 6.1.3—11　8NVD48A—2U 型增压式船用柴油机的理论配合特性

3.4.4　PC2—5 机的机桨配合特性(图 6.1.3—12)

图中列示了该机在各种使用工况下负荷域划分情况。图示的 MCR 点为最大持续输出;D 点为考虑储备后的桨的设计点,在额定转速条件下主机已留有 10%的功率储备。为了适应不同航区、污底、风浪等对船舶影响的差异,图中的区域 5 可供螺旋桨设计;带斜剖线的区域 1,可供船舶长期运行使用不受限制,亦即可供船舶的服务工况 CSR(Continuous Service Rating)长期使用。其他区域的功用与限制已在图中说明。目前 PC 机在额定转速条件下,已能提供一定范围的减额输出区供机桨选配。

3.4.5　Sulzer RTA 机的减额输出区及负荷域

3.4.5.1　RTA 机的减额输出区及燃油消耗率(BSFC)

苏尔寿公司的 RTA 机在机、桨匹配方面提供了减额输出区,如图 6.1.3—13 所示。

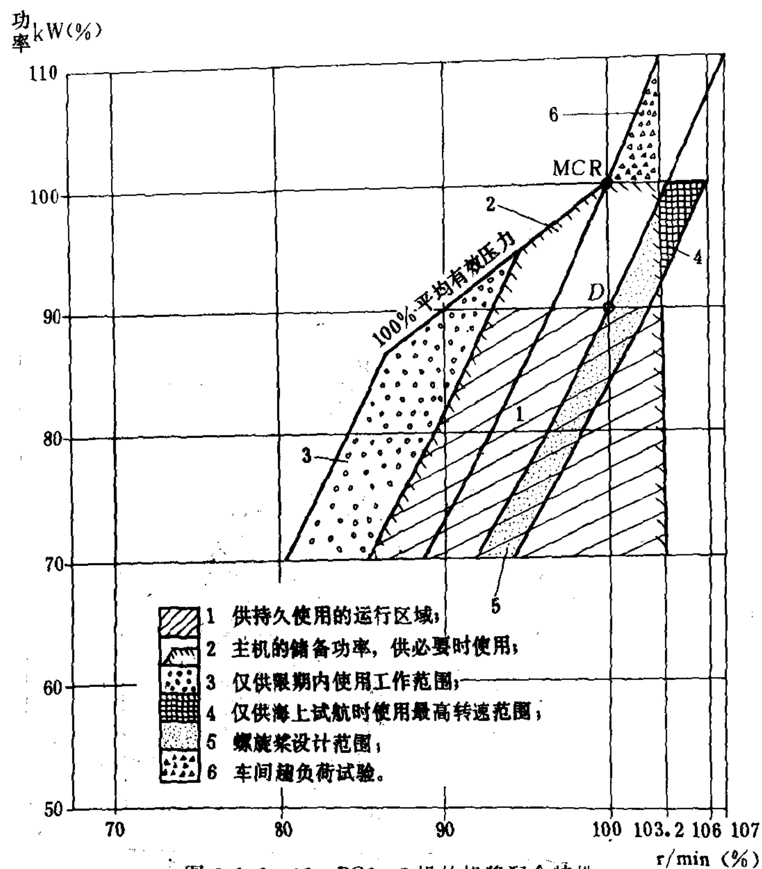


图 6.1.3—12 PC2—5 机的机桨配合特性

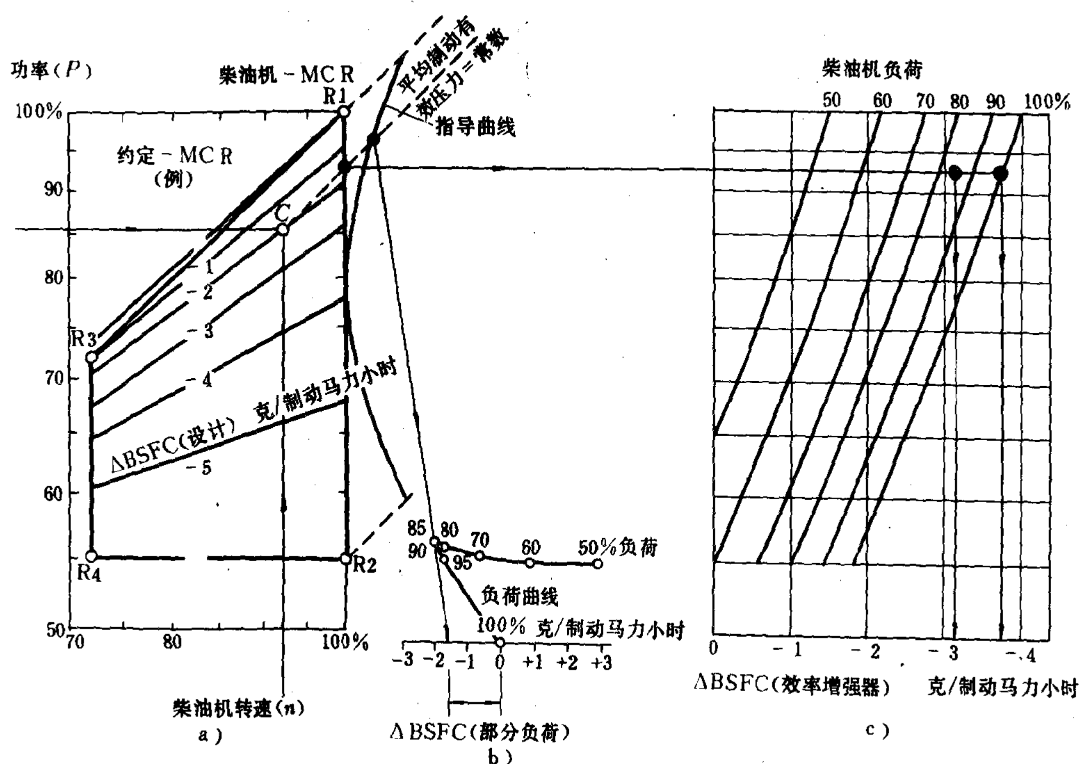


图 6.1.3—13 RTA 机减额输出图及其燃油消耗率

在图中的a)图除提供了R_1、R_2、R_3、R_4四个配合点外，还提供了由粗实线$R_1R_3R_4R_2R_1$所包围的减额输出区，这就进一步地扩大了机桨匹配的范围。该图上的细斜线表示在减额输出区相对NMCR点输出时燃油消耗率的减量△BSFC，g/HP·h(或1.36g/kW·h)；与R_1、R_3平行的虚线则为等平均有效压力(mep＝C)线；C点为约定MCR输出点，其右侧还绘有供查找燃油消耗率用的指导曲线。b)图为常规型RTA机燃油消耗率随负荷的变化量；c)图则表示配有效率增强系统的RTA机燃油消耗率随负荷的变量。b)、c)二图均可供查找或计算该机在不同负荷时的燃油消耗率用。应用图6.1.3—13查找燃油消耗率时可按以下步骤进行：先把所选定的柴油机功率和转速，化作该机NMCR输出的百分率，并确定其在减额输出区的位置(如a)图中的C点)，如果该点正好处在各油耗率减量线ΔBSFC的位置，那就要用内插法求出其相应的ΔBSFC值。再把表6.1.3—3中所列示该机在NMCR时的BSFC值，减去相应的ΔBSFC燃油减少量，即为约定MCR(CMCR或SMCR)输出时的BSFC值。如配有效率增强系统时，可沿水平的粗线从图a)中的减额输 出区向右转至c)图来决定其燃油消耗率的减少值(配有效率增强系统的ΔBSFC)。具体求法是：从约定MCR点作一平行于R_1、R_3边界的直线(即MEP＝C等平均有效压力线)，使其与转速坐标相交，再由这一相交点作一水平线使之与图c)中100%的负荷线相交，即可找到配有效率增强系统的ΔBSFC值，除了上述减量外，尚须再减 去这次所求得的减量数值，才能求出配有效率增强系统约定MCR的BSFC值。

对约定MCR在部分负荷下的BSFC的求法：从减额输出区的约定MCR的S点画一等平均有效压力线，并使其与指导曲线相交。再从此交点向下引一直线，通过图b)的负荷曲线上所考虑的部分负荷点(例如85%负荷)，即可在其横坐标上求得该部分负荷时的ΔBSFC值。从100%负荷时约定MCR的BSFC值减去(或加上)这个差量，即可得出部分负荷的BSFC值。在配有效率增强系统时，也是使过C点的mep线与100%转速线的交点，沿水平线向右转至c)图，但只与相应的部分负荷曲线相交，并向下引直线，即可找出其ΔBSFC值。

表6.1.3—3　**RTA机的燃油消耗率g/HP·h**(1.36g/Kw·h)

RTA	传统式		配有效率增强器	
	柴油机—MCR (RI)	最少	柴油机—MCR	最少
84M	125	118	121	115
84	126	119	122	116
76	127	120	123	117
68	128	121	124	118
62	127	120	123	117
58	129	122	125	119
52	128	121	124	118
48**	131	124	127	121
38	133	126	—	—

*　燃油消耗率是按净热值为42.707千焦耳/公斤(10200大卡/公斤)的燃油及在国际ISO标准环境条件(+3%容差)下计算。

**　RTA38和四至六缸RTA48型柴油机没有效率增强器。

下面示例介绍 RTA 机燃油消耗率的求法：

例 1：6RTA62 机

柴油机 MCR(R_1)	14940HP/102r/min
约定 MCR	12774HP/93.8r/min(相当 R_1 的 85.5%/92%)
燃油消耗率的计算	
柴油机 MCR(R_1 点)的 BSFC	127.0g/HP·h
ΔBSFC(查图)	—2g/HP·h
约定 MCR 的 BSFC	125.0g/HP·h
85%部分负荷时的 BSFC	
ΔBSFC(部分负荷)	—1.6g/HP·h
85%部分负荷的 BSFC	123.4g/HP·h

例 2：配有效率增强系统的 6RTA62 机

柴油机 MCR(R_1)	11940HP/102r/min
约定 MCR	12774HP/93.8r/min (相当 R_1 的 85.5%/92%)
燃油消耗率	
柴油机 MCR(R_1)的 BSFC	127.0g/HP·h
ΔBSFC(查图)	—2.0g/HP·h
ΔBSFC(带效率增强系统)	—3.8g/HP·h
约定 MCR 的 BSFC	121.2g/HP·h
85%部分负荷的 BSFC	
柴油机 MCR(R_1)的 BSFC	127.0g/HP·h
ΔBSFC(查图)	—2.0g/HP·h
ΔBSFC(部分负荷)	—1.6g/HP·h
ΔBSFC(带效率增强系统)	—3.2g/HP·h
85%部分负荷的 BSFC	120.2g/HP·h

3.4.5.2 RTA 机的负荷域

图 6.1.3—14 为 RTA 机的配合特性线及其负荷域，图中的 CMCR(Contract Maximum Con—tinuous Rating)点为约定最大持续输出点，其功率和转速组合可从主机的减额输出区中选定．图示的 CMCR 点是处于 100%P_{CMCR}及 100%n_{CMCR}的交点处，并与图中的推进特性线及额定平均有效压力线相交，A 区域是该机相对所选定的 CMCR 点运行不受限制(允许连续运

行)的区域,新的 RTA 机比老式机在 CMCR 推进特性线左侧的区域增大了,它可供轴带发电机使用, B 区域为累计 2000h 的工作限制区,它是从 95%P_{CMCR}及 95%n_{CMCR}才开始的,故有利于减少海上储备; C 区域为相对 CMCR 点超转速 104%~108%的运行区,它只允许在新船试航时演示其 CMCR 输出应用; D 区域是根据船舶的最大排水量、理想天气、清洁底和深水条件计算定距桨设计点的区域。对自动抛光油漆船体,其选配的功率可提高 5%; E 区域为超负荷区域,在运行 12h 内允许超负荷运行 1h; A 区域是主机运行速度在 25%~67%CMCR 时,它所允许的最大功率范围。

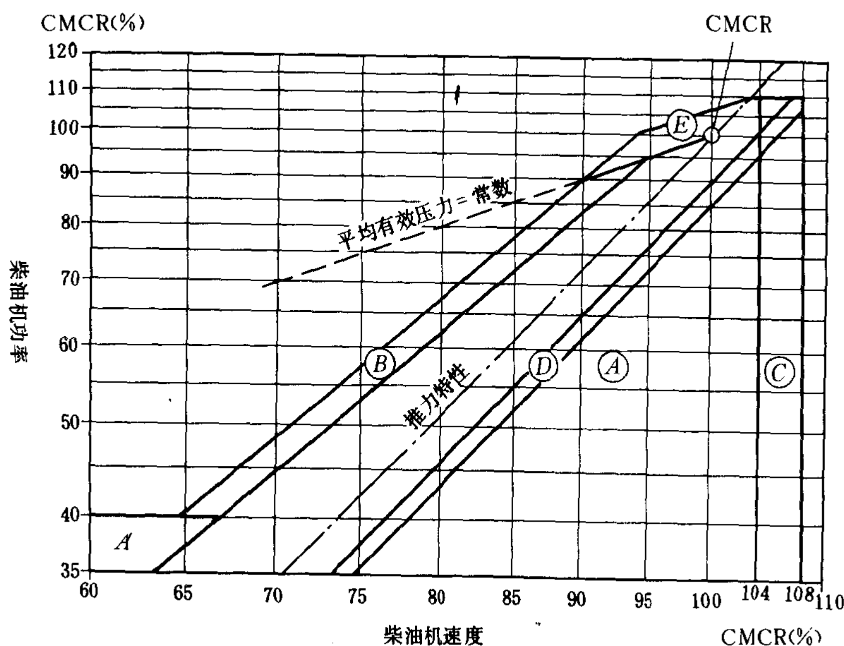


图 6.1.3—14 RTA 机的配合特性及负荷域

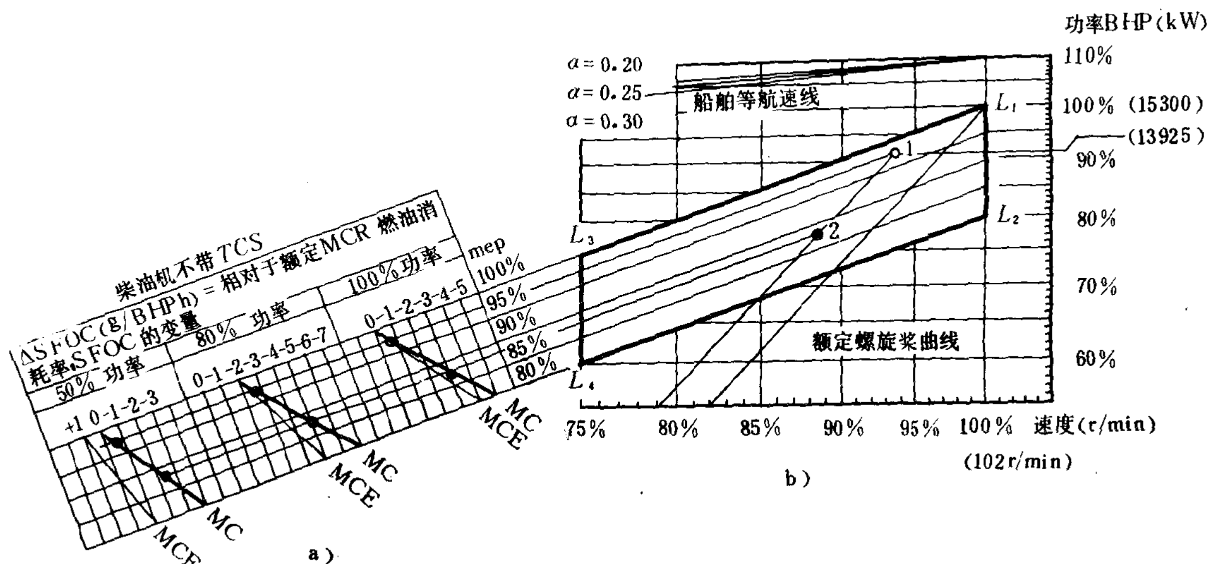
3.4.6 MC/MCE 型柴油机的减额输出及负荷域

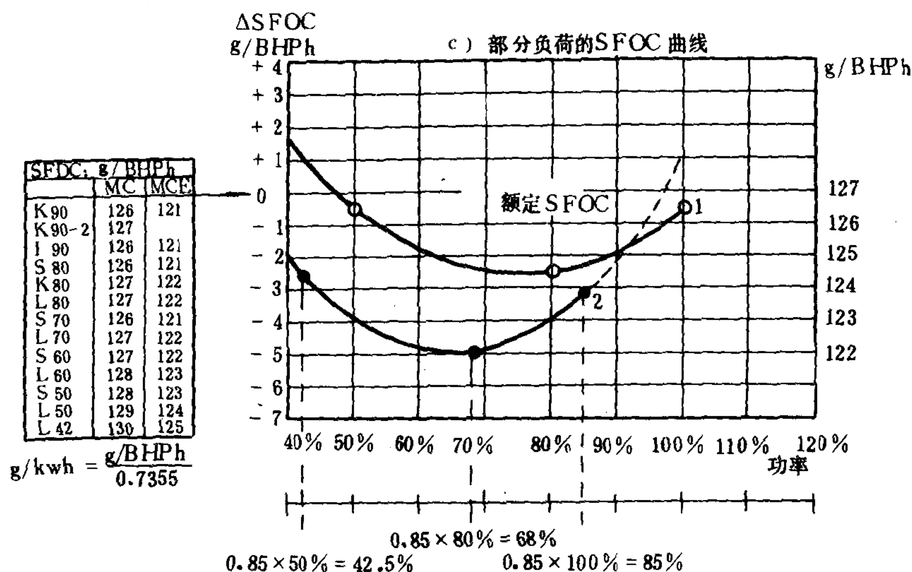
3.4.6.1 MC/MCE 机的减额输出及燃油消耗率(SFOC)

该机为直流扫气、超长冲程,并且可以通过调节有关技术参数,使其提供减额输出区。图 6.1.3—15 示出该机的减额输出区及 SFOC 随负荷的变化情况。图中的(a)图示出对所选定的任一 MCR 点在 100%、80%及 50%负荷时燃油消耗率的相对降低或增量;(b)图为其减额输出区及其配合特性。图中的纵、横座标分别表示功率 BHP(kW)和转速(r/min)的百分数,其中:L_1、L_2、L_3、L_4 是为便于说明而设的四个设计点,及由它们连线(粗实线)所包围的面积(减额输出区)。在 L_1 点上,设有额定平均有效压力(100%mep)线、额定的转速(100%n_n)线及额定的螺旋桨推进线与其相交;图上还画有各等平均有效压力百分数线及另一根在其上标有约定输出(SMCR)"1"、"2"标记的推进线;图的上部设有不同船舶系数 α 的等航速线。系数 α 与船型、航速及主机功率等因素有关,瘦型船:α=0.2;常规船型 α=0.25;肥胖船型 α=0.3;某些瘦小船型 α=0.15 的线图中没有示出。在给定的某一船舶系数 α 的等航速线上,任一点的功率可用下式计算:

$$P=\left(\frac{n}{n_0}\right)^{\alpha}\times P_0 \qquad kW \tag{6.1.3—19}$$

式中:P_0、n_0 分别为桨设计点的功率 BHP(kW)或转速(r/min);P 为桨在某一设计转速 n(r/min)时,维持航速不变主机所需的功率 BHP(kW)。





SFOC, g/BHPh	MC	MCE
K90	126	121
K90-2	127	
I 90	126	121
S 80	126	121
K80	127	122
L 80	127	122
S 70	126	121
L 70	127	122
S 60	127	122
L 60	128	123
S 50	128	123
L 50	129	124
L 42	130	125

$$g/kwh = \frac{g/BHPh}{0.7355}$$

图 6.1.3-15　MC/MCE 机减额输出图及燃油消耗率

(c)图为燃油消耗率 SFOC 及其变量 ΔSFOC 随负荷的变化关系。

MC/MCE 机和 RTA 机一样,因能提供减额输出区,故适应性较强。对于设计者或用户提出的某些特殊要求,可通过在该区选择最佳的 MCR 点得到较好的满足,还能根据所选定的 MCR 点进行优化,以提供相应优化的燃油性能曲线。在约定 MCR 输出的"1"点外,其最低耗油率发生在 80%负荷处。

现以机型:6S60MC 为例来说明减额输出区任一约定 MCR(例如取图中的"1"及"2"点)燃油消耗率的求法:

该机额定输出(NMCR):功率(100%)=15,300BHP 转速(100%)=102r/min;额定 SFOC=127g/BHP.h。

该机约定输出(SMCR 即"1"点处):功率(100%)=13,925BHP;转速(100%)=95.4r/min;约定 SFOC=126.2g/BHP.h。

则在"1"点处的约定输出(SMCR),当其负荷分别为 100%、80%、50%时,其燃油消耗率的变量 ΔSFOC,可从(a)图上的细斜线上小圆圈所处的位置查得,然后再把上述各负荷所对应的 ΔSFOC 减量值,点到图(c)上,通过所点的三个点,就可画出约定点"1"处 SMCR 的 SFOC

曲线。

用同样的方法也可以画出约定 SMCR 在部分负荷“2”点处的 SFOC 曲线。

上图还适用于带定距桨的 90—80—70—60—50—42 等缸 径的MC/MCE 机。图上所有燃油消耗率的数字(g/HP. h)指的是燃油低热值为 42707kJ/kg,及 ISO 标准环境条件。

在减额输出区某一输出点的燃油消耗率也可根据下式计算:

$$g_e=g_{e_n}+1.36\varphi(\frac{P}{n}\times\frac{n_n}{P_n}-1) \quad (6.1.3—20)$$

式中:g_e——减额输出点的燃油消耗率,g/kW. h;

g_{e_n}——额定输出点的燃油消耗率,g/kW. h;

P——减额输出点的功率,kW;

P_n——额定输出点的功率,kW;

n——减额输出点的转速,r/min;

n_n——额定输出点的转速,r/min;

φ——系数,可按下表 6.1.3—4 求得

表 6.1.3—4 **系 数 Φ 的 值**

缸径	90—80—70—60—50				42		35		26	
机型	MC		MCE		LMC	LMCE	LMC	LMCE	SMC	SMCE
	不带 TCS	带 TCS	不带 TCS	带 TCS	不带 TCS	不带 TCS	不带 TCS	不带 TCS	不带 TCS	不带 TCS
Φ	25	15	20	15	25	20	20	15	20	10

注:TCS——透平复合系统(Turbo Compound Sys Tem)

3.4.6.2 MC/MCE 机的负荷域

图 6.1.3—16 为该机的配合特性及负荷域。它表示机、桨的各种负荷及其配合性质,并示出对给定的螺旋桨配主机时持续运行的限制。这种图也类似减额输出图,其纵、横座标分别代表功率(BHP)和转速(r/min)的百分数;平均有效压力 mep 也是用百分数表示,并且它们均采用了对数标度。图中的 A 点主要表示约定最大持续输出(SMCR),该点的输出:功率 $P=100\%P_{SMCR}$;转速 $n=100\%n_{SMCR}$。各线含义如下:

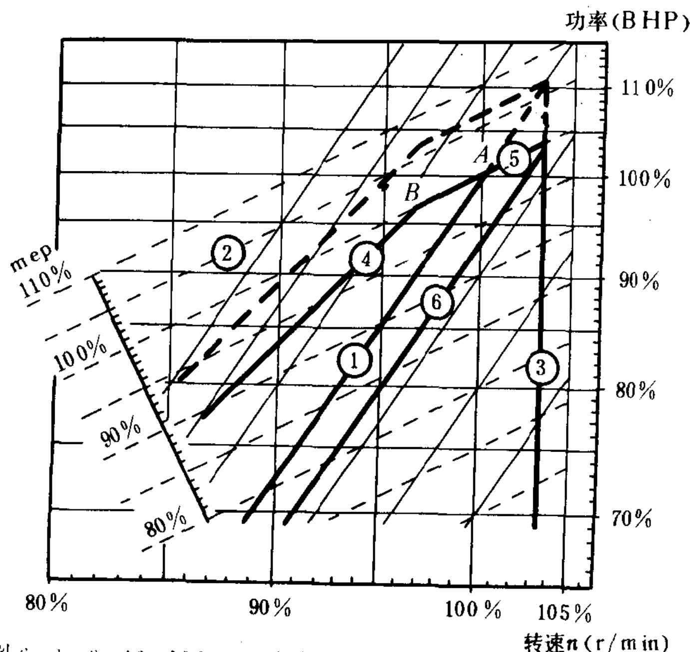


图 6·1·3—16 MC/MCE 机的配合特性及负荷域

线①:是通过图中的 A 点(SMCR 输出点)的桨的推进线,此线代表主机在试验台等所使用的负荷。平行于线①的诸线,是在给定的运行条件下,其功率被桨所吸收的螺旋桨推进线。在线①的右侧,即在①⑤③粗实线之间的区域,可供主机持续运行,不受任何限制。

线②:与其相平行的诸线(包括线②)均为等平均有效压力线 mep,其数值用百分数表示。

线③：是转速限制线（约 103.3%n_n），它受活塞速度所限制，除在新船满载或轻载试航时，能允许短时间达到 106%n_n 之外，其他情况一律不许超过 103.3%n_n，因为过高 的转速可能导致轴系振动。

线①：代表其相应转速的最大功率线。

线⑤：是 100%mep（额定平均有效压力线），但在其转速低于 97%n_n 时，由于转速降低，空气供应量不足，为避免发动机热负荷太大，应限制或 减少喷油量。因此在转速低于 97%n_n（即在 B 点）的线④时，其平均有效压力低于 100%mep 线，并向左下斜。

线⑥：它表示已考虑转速储备的某桨在新船（清洁船底）试航工况的满载推进线。在船舶污底后，桨的推进线⑥将朝左边移动。

图中的粗虚线和④、⑤线之间的面积可供短时间超负荷运转用（但每 12h 只许超负荷运行 1 小时）。线④、⑤和①所包围的大块面积可供营运储备之用，必要时才可应用，但不能超过线④线⑤。

3.5 大型低速柴油机桨的设计点及 MCR 点在减额输出区的确定

3.5.1 海船的主机功率储备

为了探明桨的设计点及 MCR 点的关系，必须先求得主机功率的储备量。海洋船舶主机的功率储备是（Power Margin）由海上功率储备（Sea Margin）和主机能力储备（Engine margin）两部分所组成。

3.5.1.1 海上功率储备

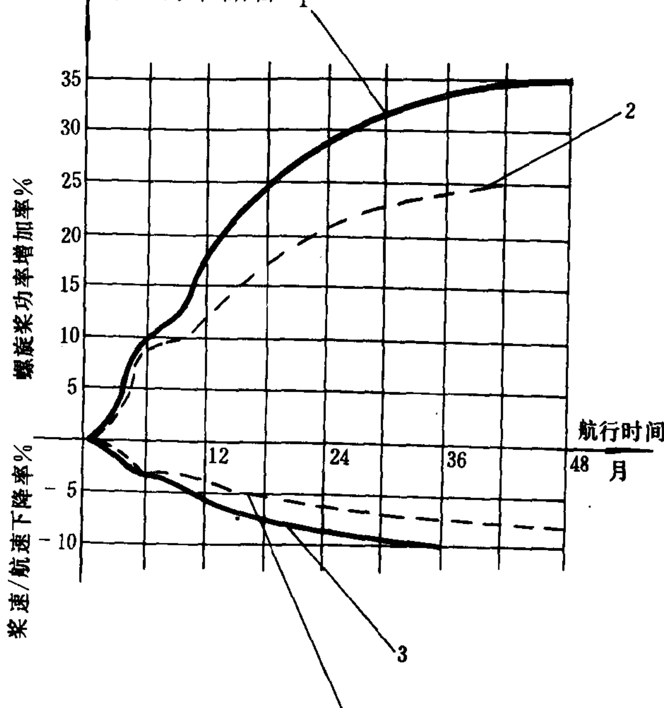


图 6.1.3—17 航行期间在船速、桨速一定时推进功率的变化

1—航速不变；2—桨速不变；3—航速推进功率不变；

4—桨速推进功率不变

船舶在航行期间，由于污底（包适污桨），船舶的航行阻力将会增加。为了能始终保持船舶预期的航速，在决定桨的设计功率时，必须把海上的功率储备考虑进去。海上功率储备要根据船舶航行海域及作业特点来确定，它与船体油漆、阴极保护、螺旋桨叶面粗糙度及进坞清底周期都有关系。一般由用户及设计单位决定，苏尔寿公司推荐为 0～25%。对于 海上功率储备系数的选择，苏尔寿公司曾做过相当深入的研究。他们通过对大量船舶约十年航行资料的统计，提供了船舶在海上航行时期，当保持航速或螺旋桨转速不变时所需功率随船龄增加而增大的统计曲线，见图 6.1.3—17。该曲线适用于方形系数＞0.75，船速约 14kn，无限航区船舶。从图 6.1.3—17 还可看出，船舶保持定航速比定转速航行所需的功率储备更大。对于坞修清底周期长的船舶，海上功率储备必须大一点，从统计资料所绘制的特性曲线示出：船舶在航行满六个月后，功率的增大有一个停滞阶段，随后船舶航行所消耗的功

率又随船龄的增加而增加。

3.5.1.2 主机能力储备

主机选用 MCR 点输出，在名义上此点虽可供持续运行使用，但在这种情况下主机的热负荷及机械负荷均已接近极限值，易加速零部件的磨损与积炭，并导致其性能的下降。此外，适当地降低主机的运行功率，其油耗相对亦会有所降低。故主机长期运行，一般并非在额定工况，而是选择服务工况(CSR)，这对保持其良好的工作状态，增长使用寿命、减少维修费用，提高运行经济性，保留必要的航速储备等均有好处。由于该点的输出一般均小于额定输出，故实际上相对于额定工况已含有主机的能力储备，如果不计及海上储备、主机的能力储备也可以表示为$(P_{MCR}-P_{CSR})/P_{MCR}\times 100\%$，它一般是由用户来决定的。苏尔寿公司推荐的主机能力储备值为 0～15%。

3.5.2 海船在考虑储备后各配合点的关系

图 6.1.3—18 表示在考虑储备后，桨的设计点 D_1、服务工况(CSR)的输出点("A"→"B")，及它们与额定最大持续输出点 MCR 之间的相互关系。图中的纵坐标表示功率 P 的对数百分数。其中图(a)的横坐标表示航速 V 的对数百分数；图(b)的横坐标则表示转速(r/min)的对数百分数。它们分别表示各工况点的 P 随 V 或 n 的变化关系。图中，设约定功率输出点 S(即 SMCR 点)在 MCR 处，AD 为清洁底时桨的推进特性；BS 表示污底时桨的推进特性。

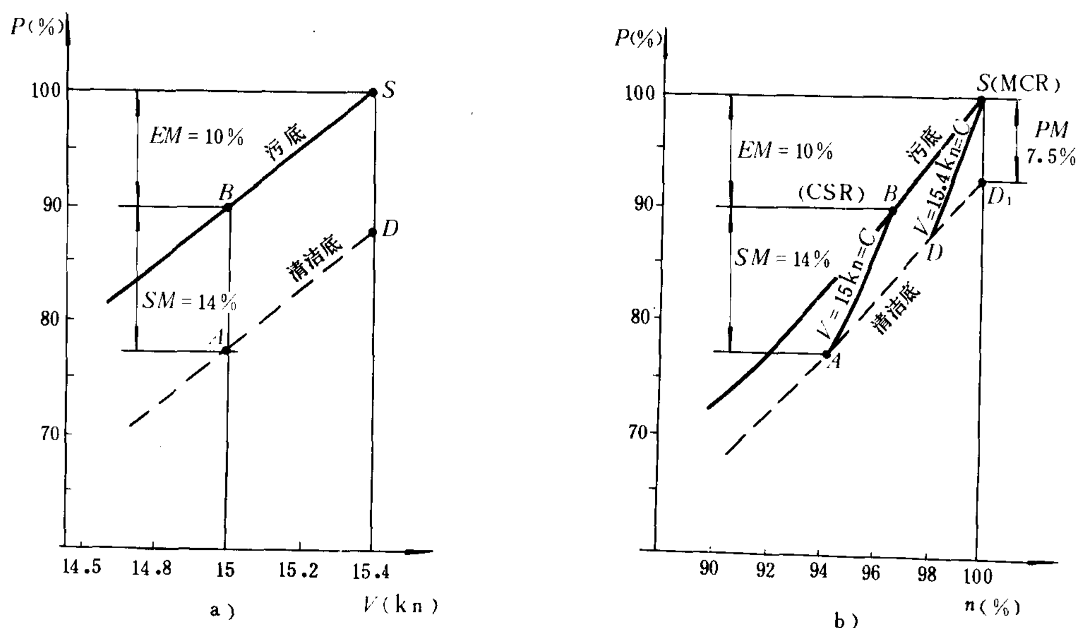


图 6.1.3—18 海船在考虑储备后各配合点的关系

以图 a)为例，假定该船是按清洁底设计的，其服务工况(CSR)时的航速(服务航速)为 15kn。当其在 A 点运行时，主机的功率储备为海上储备(SM)14%和主机的能力储备(EM)10%；若该船按设计航速 15.4kn 在 D 点处运行时，则其主机的功率储备只具有海上储备(SM)14%。再从图 b)的 P=f(n)配合特性曲线可以看出：当船速按等航速线 V=15kn 或 V=15.4kn 运行时，由于船舶的污底关系，当转速 n 变化时，其消耗的功率，将按图中的 AB 及 DS 粗实线变化。图示的 D_1 即为桨的设计点，相应的转速为 $100\%n_n$；功率为 $92.5\%P_n$；主机的功率储备 PM 为 7.5%。在该图中由于 SD 为三角形△SDD 中钝角所对应的斜边，其值最大，故在 $n=n_n$ 时其 PM 将小于 SM 值。从图 b)还可看出：如桨的设计点取 D_1、主机的功率储备 PM

取 7.5%P_n，则当其按清洁底的推进特性线运行时，其主机的功率储备量随转速 n 的变化而异，当转速 n＝94%n_n、V＝15kn 运行时，它所具备的主机功率储备 PM＝SM＋EM＝10%＋14%＝24%Pn；而当 n＝n_n 的并在 D_1 处运行时 PM＝7.5%P_n，其值小于 EM 值。

3.5.3 SMCR 点及桨的设计点在减额输出区及负荷图中的确定方法

以 B&W 公司所生产的产品 MC/MCE 柴油机为例加以说明(见图 6.1.3—19)：

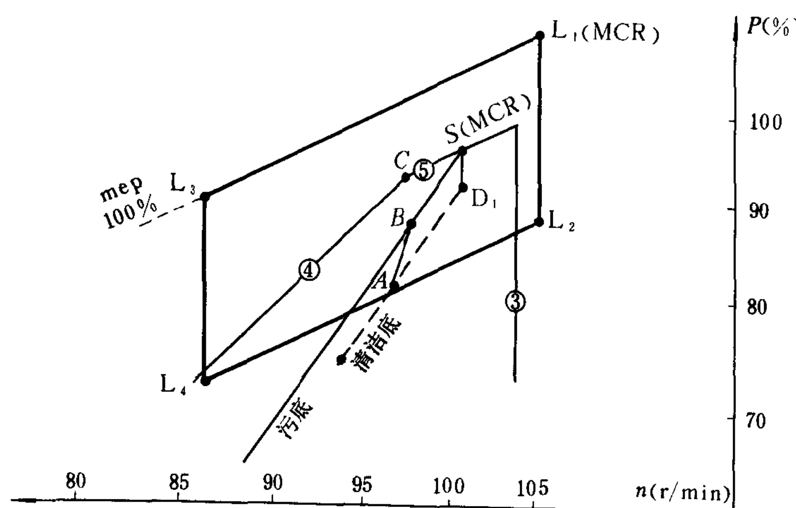


图 6.1.3—19 SMCR 点及桨的设计点在减额输出区及负荷图中的关系

第一步：先根据所给定的主机画出其减额输出区，其中的 L_3、L_1 线为该机 100%mep(平均有效压力线；L_1、L_2 为转速百分数线，MC/MCE 机的此线，常位于 100%n_n 处；L_3、L_4 则为 75%n_n 的转速百分数线(除 L35MC/MCE 机外)，L_1 点为额定最大持续输出点(NMCR)，一般使其通过 100%P_n、100%mep 及 100%n_n 处。在主机的减额输出区 L_1、L_2、L_3、L_4 的四边形面积内可供自由选择能体现船舶最佳状态及所指望运行范围的某一组功率与转速的输出。

第二步：对某一缸径的柴油机而言，其减额输出区往往是一定的，但其负荷图的位置则往往随所选定的约定 SMCR 的不同，厂家对该机要作相应的性能调整，故它在减额输出区所处的位置也会相应有所变化。这样，当将所确定的负荷图叠加到减额输出区图上并进行二者的匹配时，应该注意到：负荷上的线⑤及约定的最大持续输出点(SMCR)，必须在 L_3、L_1 线上或在其下面；线④与线⑤的交点 C 不能太靠近 L_3、L_4 线，以避免使线④被置于减额输出区之外，使主机低速运行时功率不能充分发挥，并导致性能的恶化。负荷图上线③在右侧所处的极限位置可与减额输出区 L_1、L_2 线相重合。约定的最大持续输出点 S(SMCR)，可位于线⑤上或在其下面，也可以取 L_1 点作 SMCR 点；BS 为污底后桨的推进特性线，此线往往使其通过 L_1 点。AD 则为清洁底之桨的推进特性线，D_1 则为考虑了污底储备后桨的设计点，在图例中 D_1 所相应的转速为 100%n_n。A 及 B 点为服务航速下桨运行时的输出点。在减额输出区内布置负荷图时，如发现有违背上述布置原则的地方，可以将负荷图位置加以调整，以期使二者的配合合理。

3.5.4 如何从主机减额输出区优选机桨匹配点

3.5.4.1 对同一机型在等航速线上优选机桨匹配点的方法

图 6.1.3—20 中的右图列示了 8LMC42 机的减额输出区(L_1、L_2、L_3、L_4),还示出过 C 点不同船舶系数 α 条件下等航速(V=C)时的 P=f(n)各放射线,在减额输出区匹配点究竟应选配何处,在左侧还是右侧;是选配在 C 点还是在 L_3、L_4 线上的某一点,近年来国外一些主机厂家推荐:应把它选配在 Layout 区等航速线上的最低转速区(即靠左侧)为好,并认为这样能起到节能效果。实际上这是不全面的。因为对某些船舶来说,当按其某一 α 值的等航速线上的低转速区来设计桨,有些时候其主机的功率节减不大,而燃油消耗量反会有所增加,这可从右图所列示各线之间的关系即可初步判断。由于

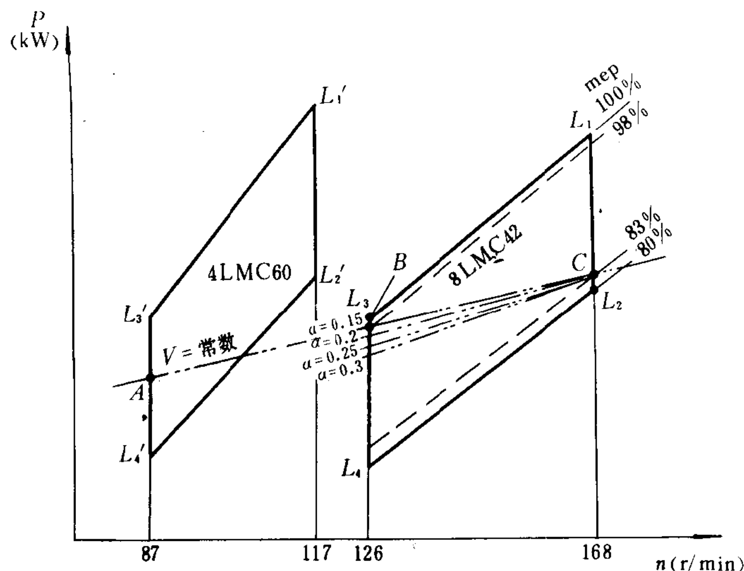


图 6.1.3—20 同机或不同缸径、缸数转速机的比较

图中的 mep(即 p_e)线远较等航速(V=C)时的功率 P=f(n)线为陡,故在不同 α 时的各等航速线它在 L_3、L_4 线上的各交点(包括 B 点)所对应的平均有效压力 mep(p_e)均较 C 点的 mep(p_e)=83%要高。根据柴油机功率公式[9]:

$$P_D=\frac{p_e \cdot V_n \cdot n \cdot i}{300\tau}=\frac{G_T \cdot H_u \cdot \eta_e}{3.6\times10^3} \quad \text{kW}$$

式中: τ ——冲程系数; η_e ——有效效率;

V_n ——气缸工作容积 L; p_e ——平均有效压力 bar(0.01kPa);

G_T ——每小时燃油消耗量,kg/h; i ——气缸数。

可知,上式中的 V_n、i、τ、H_u 等均为常数,当 η_e 变化不大时,G_T 随 p_e 增加而增加;同时转速低时所用的桨径也要相对增大,也要增加一些初投资。故把配合点选在左侧的低转速区也不一定有利。从上图还可看出:不同的 α 值,它在 L_3L_4 线上交点的高度也不同,所消耗的功率亦不同。α 愈大则所消耗的功率相对较小。故在减额输出区其配合点到底应选在等航速线上的左侧还是右侧,对不同的 α 值要作具体分析。同时还应考虑在转速变化时主机所需功率及燃油消耗率的变化的影响。

根据 B&W 公司资料[4]:瘦小型船 α=0.15~0.20;常规船型 α=0.25;肥胖船型 a=0.3。以及 Sulzer 公司发表的桨的推进效率与其转速的关系曲线推得:α=0.1~0.28。通过计算表明[11]:LMC 机的 α>0.16;RTA 机的 α>0.13 时,其配合点选在减额输出区的左侧才有节能效果。

3.5.4.2 对不同转速、缸数、缸径机的选配

图 6.1.3—20 中,设 α=0.15 的那条等航速线通过 8LMC42 机和 4LMC60 这两个减额输出区,那么匹配点究竟应选在这两个区的那一个较合理,现在该二区分别选任意的 A 点和 B

点作代表来权衡其利弊。从图中不难看出，在 A 点不仅转速 n 较低、桨的推进效率较高，而且 mep(p_e)及功率 P 也比 B 点相对减少，故配合点选在 4LMC60 机减额输出区的 A 点，比选在 8LMC42 机(较高转速)减额输出区的 B 点有利。

3.5.4.3 对同缸径 MC 和 MCE 机的择优法

对同缸数和缸径的 MC 和 MCE 两种机相比肯定后者有利，这是因为在同一转速条件下，MCE 机较 MC 机的油耗要低。而对不同缸数的 MC 和 MCE 机的比较，那就须作具体分析。现以 5L60MC 和 6L60MCE 二种为例进行分析对比(见图 6.1.3—21)。设图中的 A、F 点分别为二者额定最大持续输出(NMCR 点)其相应的“功率/转速”分别为 8250/111(A 点)；7920/111(F 点)。F 点也是二者约定最大持续输出(SMCR 点)；f 点则为常用输出(即 CSR 点)，其相应的比值为 7128/107。根据对常用输出时的燃油消耗量计算：6L60MCE 每天要比 5L60MC 节约燃油消耗量0.93t/d，节油率为 3.2%。但 6L60MCE 机的造价因要按 6L60MC 机的计算功率计价，故后者较前者的造价高出 74.06 万元，再加上采用 6L60MCE 的推进系统价格较采用 5L60MC 机的推进系统价格高出 33.16 万元(当 5L60MC 机采用了平衡器时)及 63.16万元(5L60MC 机不设平衡器时)，这样，采用 6LMCE 机每年虽可节能，但其投资却要相应增加。计算结果表明：按国内船舶营运参数计算的投资回收年限分别为 12.89 年及 36 年，这样选 6LMCE 机并不有利。故对二者择优时，必须根据当年燃油节减费，追加投资额和 贷款利率等进行综合分析和考虑，并用投资回收期的年限来权衡与决策。

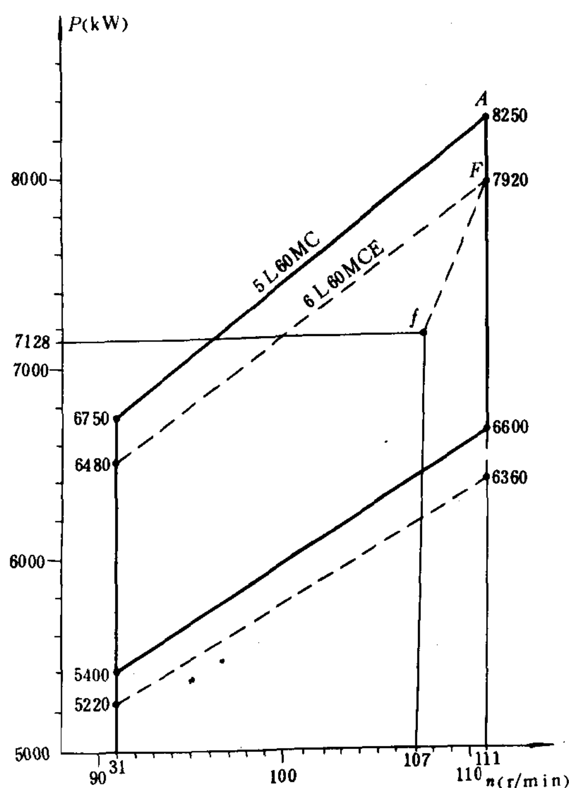


图 6.1.3—21 同缸径 LMC 和 LMCE 机的对比

4 典型推进装置的特性与配合

4.1 单机单桨直接传动

4.1.1 基本原理

忽略传动机组(齿轮箱等)及轴系的传动损失，柴油机所发出的功率 P_D 必须等于螺旋桨所吸收的功率 P_p。柴油机的特性线 $P_D=cn$(C 为比例 常数)和螺旋桨的推进特性线 $P_p=Cpn^3$ 变化规律不同，在某一稳定工况条件下，二 者的配合只能在一点相交。一旦工况变化，配合点也必将发生变化。无论推进装置的型式如何，都必须符合上述配合的基本原则。

4.1.2 单机直接带桨的特点

它是用一台柴油机不经过传动机组，直接带动一只螺旋桨，如图 6.1.3—22 中 a)所示。这

种装置的性能特点是：$P_{mc}=P_p$；$M_D=M_p$；$n_D=n_p$。这种主机与桨直接连接的装置，只要通过改变油门，主机的平均有效压力 p_e 就会变化，并使转速发生变化，使二者获得新的配合。

4.1.3 配合特性

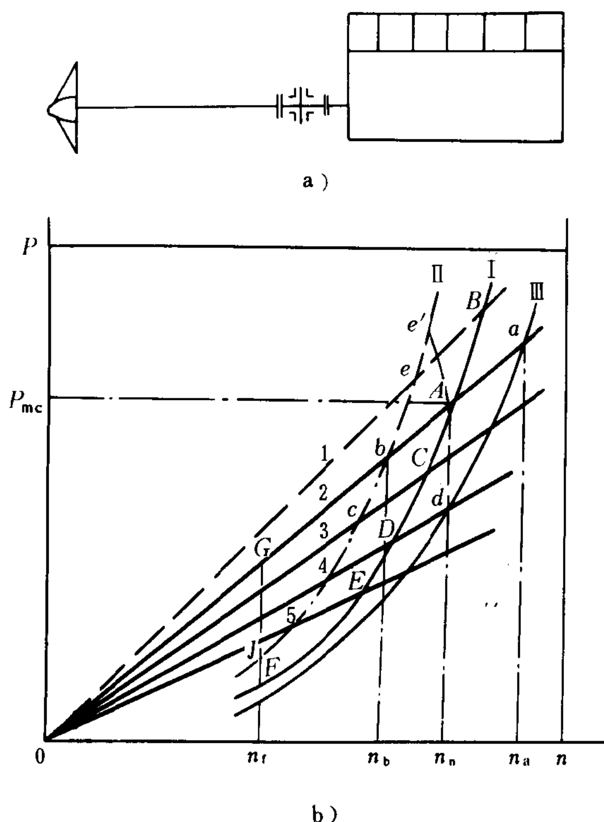


图 6.1.3—22 单机直接带桨的特性与配合

Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ—螺旋桨的推进曲线；1、2、3、4、5—柴油机在各等平均有效压力时，各个 $p_e=f(n)$ 的变化曲线

4.1.3.1 机配桨工作的配合

假定柴油机是按其所带动的螺旋桨的设计推进曲线Ⅰ工作的。，现为了分析方便忽略储备量及传动损失的影响，即将上图中的 A 点看作是按额定负荷 p_e 工作的，并位于 MCR 点上，其相应的功率为 P_{mc}、转速为 n_n。B 点为超负荷时的配合点；C、D、E 和 F 为主机在部分负荷情况下的配合点。如图 6.1.3—22 中的(b)图所示。

假定船舶在按其所要求的航速正常航行，其机桨的配合点为 C，在外界条件不变的情况下，若要求船速大于正常航速，只要加大油门，使主机的 p_e 增加（即图中所示的斜线变陡），主机和螺旋桨的转速就会相应增加，配合点也会移至相应的 A 点处，这样船速就加快了。当要求船速小于正常航速时，就可以使主机减少油门，并以部分特性线 4 或 5 等与之相配，使机、桨的特性在 D 或 E 点相交，这样船舶便可以实现减速航行。按推进曲线Ⅰ工作时柴油机的转速调节范围是在 A 点至 F 点之间，F 点的转速 n_f 为其最低稳定转速。主机按部分特性工作时，有一部分潜在功率未能发挥。例如按图中的推进曲线 AF 线段工作时，对非增压机来说有 AGFA 这块面积的潜在能量未被利用，对某些废气涡轮增压机来说，有 bJFA 这块面积未被利用。有的船舶为了使其主机在部分特性时的潜在能量得到充分利用，可采用轴带发电机或带动其它辅机装置。在急流航段或在川江滩险航段逆水上行的船舶，这时可把主机的油门拉至最大位置，使其按超负荷线 1 工作，配合点也就可移至 B 点处，这样就可进一步提高航速，但在 B 点只允许短期工作。

4.1.3.2 桨配机工作的配合

设主机是按持久功率外部特性线 2 工作的，当船舶载量（或顶、拖量）增加，螺旋桨特性曲线将变陡，这种配合情况常称之为“桨重”，如图中示出的曲线Ⅱ。在这种情况下主机亦将随之按Ⅱ线工作，如果其油门仍保持在特性线 2 的供油量位置上时，机、桨就会在 b 点相交，这时的功率和转速均较 A 点为低。如果该主机设有调速器，由于后者有使转速恢复的功能，将会使主机油门进一步加大，并将使配合点移至 e 点，这就可能导致主机超负荷，故在此配合点只允许短时间工作。

当船舶载量减少（或顶、拖量减少）时，螺旋桨推进曲线将变平，现假定这时的工况如线Ⅲ所示。这时主机亦会按线Ⅲ工作，如果油门位置仍维持在原定供油量位置上，则因主机所产生

的功率大于桨所吸收的功率，就会使配合点移至 a 处，从图可见，a 点的转速 n_a 已是超转速了，由于调速器的关系，它会自动使油门减小，并以部分特性与之相配，即它与桨的推进特性线 Ⅲ 交于 d 点。但 d 点的功率将小于最大持久功率 P_{mc}，故称这种工况为“桨轻”。

柴油机直接带桨，无论是桨重或是桨轻，其功率均会降低。故这种柴油机直接带桨的推进装置，主要适合于工况改变较少的船舶。

4.2 减速齿轮箱传动

中速或高速柴油机作主机的船舶，一般在其机、桨之间均采用减速齿轮箱传动，藉以获得较低的螺旋桨转速，从而提高其螺旋桨效率。

4.2.1 特点

柴油机的功率是通过减速齿轮箱后传送给螺旋桨的，如图 6.1.3—23 中的(a)图所示。如忽略功率在传递过程中的各种损失，则

$$\left.\begin{aligned} P_D = P_p; \qquad n_p = n_D/i \\ M_p = iM_D \end{aligned}\right\} \tag{6.1.3—21}$$

式中：P_D ——柴油机的功率；

P_p ——螺旋桨的功率；

i ——减速比。

由于柴油机的输出功率，在减速后其转速降低了 i 倍，而其扭矩也相应增加了 i 倍，故在进行轴系、螺旋桨的计算时应考虑这一因素。

4.2.2 特性

图 6.1.3—23b）为 6135CaB—2 型柴油机通过减速齿轮箱带桨工作时的特性曲线实例。横坐标有两项：一是主机的转速 n_D；另一项是螺旋桨的转速 $n_P = n_D/i$。图中的纵坐标则表示主机或螺旋桨的功率 p_D 或 P_p；主机的扭矩 M_D 和经减速和不经减速的螺旋桨扭矩 M_{p_2} 和 M_{p_1}。

图中除示出了有关性能指标随转速 n 变化的特点外，还表示出采用减速齿轮箱后桨的输出转速为 n_p 时所对应的扭矩 M_{p_2} 的变化规律。

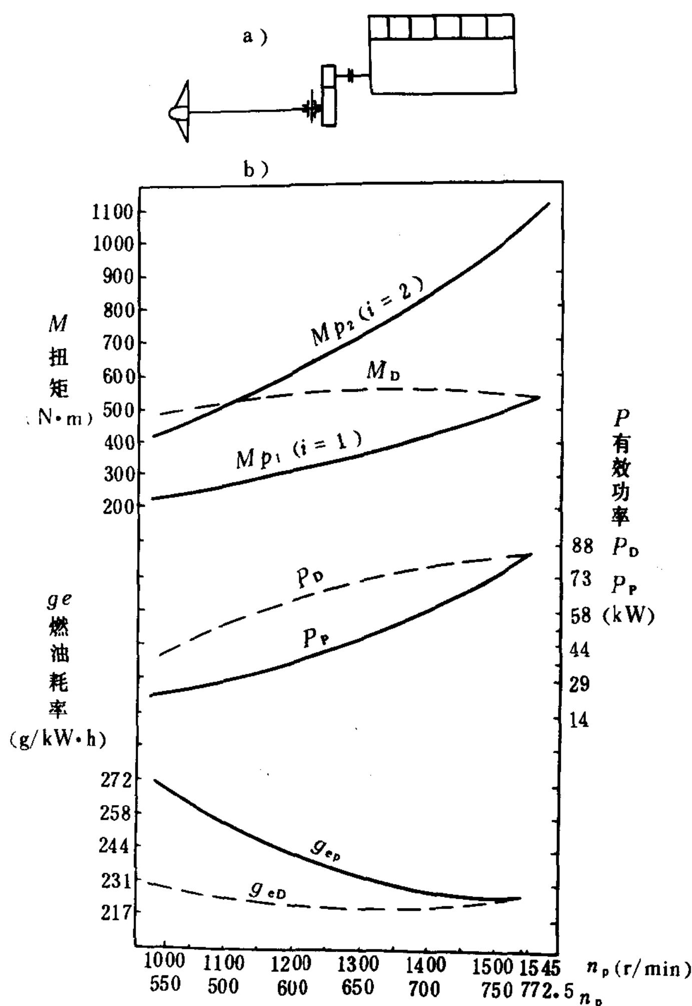


图 6.1.3—23 单机经减速齿轮箱带桨的特性与配合

————外特性；—推进特性；M_{P_1}、M_{P_2}—分别为 i=1 和 i=2 时的扭矩特性线；i—减速比；P_D、P_P—主机、螺旋桨的功率；g_{e_p}、g_{eD}—分别为按推进特性和外特性工作时的耗油率。

减速传动的节能效果，也可用前面提到的公式(6.1.3-19)$P = (\frac{n}{n_0})P_0$ 加以说明，例如当

船舶系数 $\alpha=0.25$ 时，在等航速线上当转速减至 n，即可降低主机的功率，其功率的减量为：

$$\Delta P=P_0-P'=P_0-(\frac{n}{n_0})^{\alpha}P_0=P_0[(1-(\frac{n}{n_0})^{\alpha}]$$

这样，只要将不同的减速比 $i=\frac{n_0}{n}$ 代入，即可求出功率的减量(即节能量)。例如：当

$i=2$ 时，$\Delta P=16\%$，即节能 16%

$i=3$ 时，$\Delta P=24\%$，即节能 24%

4.3 多速齿轮箱传动

指所采用的齿轮箱具有换挡变速能力，即在其输入转速一定时，可配置不同的减速比 i_1、i_2、i_3 等，以获得不同的螺旋桨转速，现仅以双速齿轮箱为例介绍如下：

$$n_{p1}=n_n/i_1; \qquad n_{p2}=n_n/i_2 \qquad (6.1.3—22)$$

式中：　n_n ——齿轮箱输入的额定转速，y/min；

n_{p1}、n_{p2}——采用不同减速比 i_1 或 i_2 时，对应的螺旋桨转速(设 $n_{p2}>n_{p1}$)。

采用这种装置对某些多工况船舶(推、拖船和渔船)是有一定经济效益的。图 6.1.3—24 为双速齿轮箱的工作特性。设螺旋桨是按满载推(拖)船舶队的负荷设计的，桨的螺距比较小，设其推进特性曲线为Ⅰ；图中的线 1 和线 2 则为等转速的特 性线；A 点为线 2 和曲线Ⅰ在设计工况的交点，其相应的船速为 V_A，功率为 P_{mc}。当船队总阻力减少时，其推进曲线将变平，如图中的曲线Ⅱ所示，它与主机的等转速线 2 交于 B 点。虽在平衡点 B 处的航速已提高至 V_B(因船舶阻力减小的关系)，但其转速因受主机极限转速的限制却不能再增高了，这时因其桨的螺距比较小，所消耗的扭矩相对减小，尚有潜在功率 ΔA 未能发挥出来，如采用双速齿轮箱，并将其换至快速档，将桨的转速提高到 n_{p2}，即可将 ΔA 发挥出来，并可使船速由 V_B 提高 V_c，从而得到一定的经济效益。对于按自由航行状态设计的螺旋桨(螺距比一般较大)，当满载推、拖工况航行时(桨的攻角 α_k 就要增大)，主机的扭矩就不能满足要求，这时如果采用双速齿轮箱就可以将其速比改换成低速档，这样就可以使桨的攻角不致增大，以提高船舶的推、拖能力。

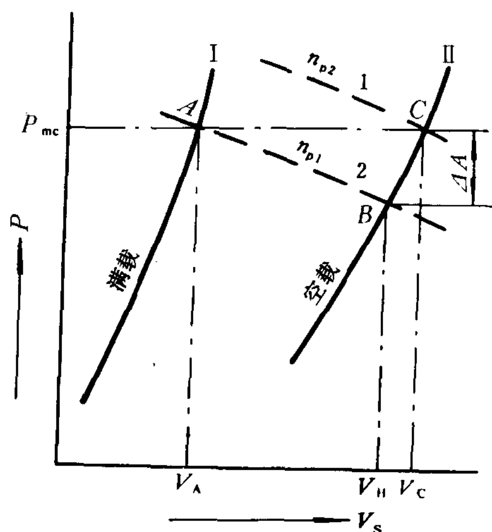


图 6.1.3—24　双速齿轮箱的特性与配合

4.4 多机并车传动

主要有双机并车和四机并车等传动形式。

4.4.1 双机并车

4.4.1.1 特点

由两台主机各自通过离合器后共同经过减速齿轮箱带动一个螺旋桨，其主机与螺旋桨之间的转速关系同减速比有关，这与单机减速后带桨的情况类似，即：

$$\left.\begin{aligned}2P_{me} &= P_p; \quad n_p = n_D/i;\\ M_p &= 2iM_D\end{aligned}\right\} \qquad (6.1.3\text{—}23)$$

这种装置一般多采用单级传动，双主机的转向常相同，但与桨的转向相反。其装置的基本结构如图 6.1.3—25a)所示。

4.4.1.2 特性

图 6.1.3—25b)为这种并车装置的特性曲线。设 A 点是两台主机联合工作时与桨相配合的额定工作点，其相应的功率和转速各为 P_{mc}和 n_n。B 点为一台机开全功率时与螺旋桨推进曲线的配合点。可见，要使船舶在推进曲线 I 的$\widehat{AB}$线段内工作，两台主机必需并联运行。如果转速（船速）降低至 B 点以下时，既可开两台机联合工作，也可开其中一台机工作，但应该注意：在 B 点以下由于螺旋桨所吸收的功率本来已经很小，如果仍开两台机联合工作，那么每台主机所担负的功率将更小，这就造成耗油率的增加；如果只开一台主机，则其功率的利用较充分，其耗油率也相应要低一些。

4.4.2 四机并车传动

4.4.2.1 特点

由四台运行的主机各自通过其离合器后共同经过减速齿轮箱带动一个螺旋桨，机桨之间的关系为：

$$\left.\begin{aligned}4P_D &= P_p; \quad n_p = n_D/i;\\ M_p &= 4iM_p\end{aligned}\right\} \qquad (6.1.3\text{—}24)$$

图 6.1.3—26a)为四机并车传动装置的基本结构。

4.4.2.2 特性

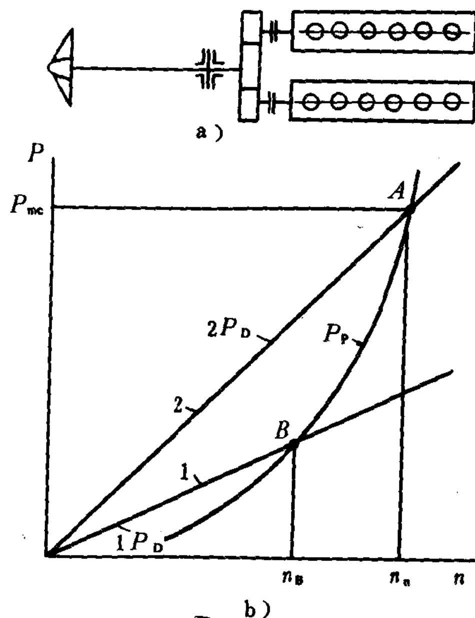


图 6.1.3—25 双机并车推进装置的特性与配合
1—推进特性曲线；1、2—与所开主机台数相对应的组合外特性曲线

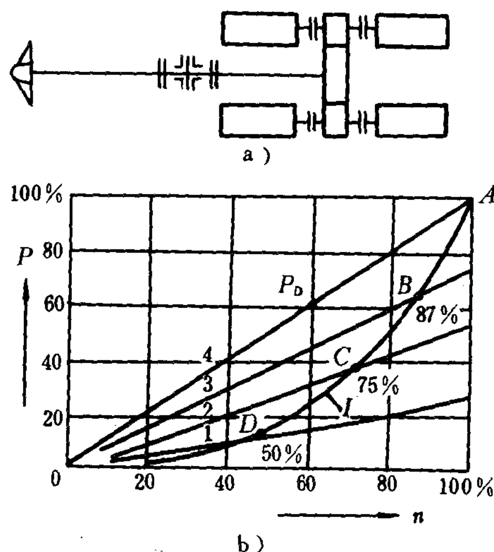


图 6.1.3—26 四机并车推进装置的特性与配合
I—推进曲线；1、2、3、4、—与所开主机台数相当的组合外特性

图 6.1.3—26b)为其特性曲线。A 点（即 MCR 点）为四台主机联合工作时与推进曲线在

额定工况时的配合点，其相应的功率和转速各为100%P_{mc}和100%n_n。B、C、D点分别为开3台、2台、和1台主机工作时的组合外特性与推进曲线的交点，从图中的各推进特性曲线可以看出：随着转速的降低螺旋桨所吸收的功率将很快减少，当转速降至50%n_n时螺旋桨只吸收了10%P_{mt}左右，在这种转速条件下，只开一台主机时其负荷利用率就较高，耗油率也相应较低。

4.5 一机分车传动

在螺旋桨直径受吃水限制的船舶上或机舱布置双机桨较困难的情况下，可采用一机双桨传动装置。

4.5.1 装置特点

图6.1.3—27中的a)图为其装置简图，图示的单机功率是通过齿形带轮经离合器减速齿轮箱Z驱动双桨的。

4.5.2 特性

图6.1.3—27b)为其配合的特性曲线；线1和线2分别为单桨的最大持续功率外特性和部分特性线；曲线Ⅰ和曲线Ⅱ分别为单桨和双桨组合的推进特性曲线；A点为按双桨工作时设计工况下的配合点，这时$P_{mc}=P_{p_1}+P_{p_2}$、P_{p_1}、P_{p_2}分别为两个桨在设计工况下的收到功率；B点为在额定工况下两桨同时工作时单桨的推进曲线与主机部分特性线的配合点。这种装置由于采用了离合器，它既可使用双桨工作，必要时也可以用单桨工作，但后者只能采用主机的部分特性线2匹配。由于在单桨航行时船的进速降低，进速系数J减小，加之还要消耗一部分拖桨功率和因单桨工作时所产生的回转力矩而增加的偏舵阻力，故其实际推进曲线将变陡，如图中的曲线Ⅰ′所示，主机的负荷也偏离额定负荷较远，一般耗油率也高，故非必要情况，一般航行时均不使用。

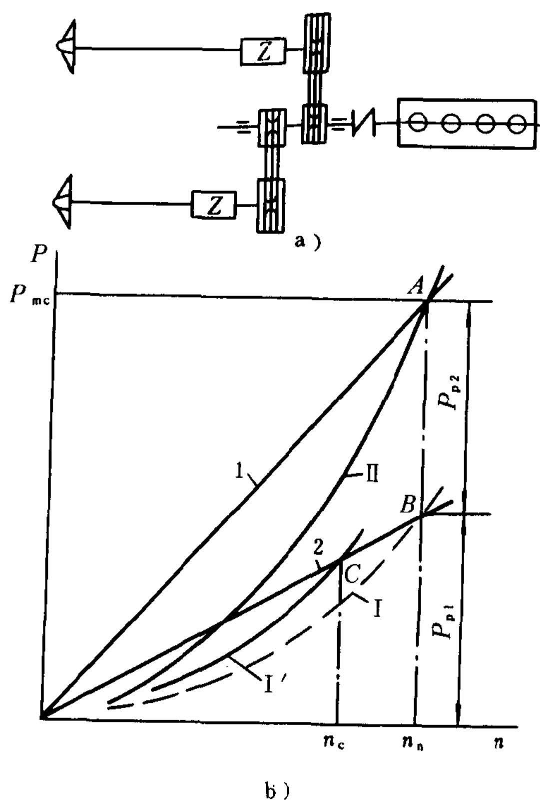


图6.1.3—27 一机双桨的特性与配合

4.6 单机经液力偶合器传动

柴油机经液力偶合器带桨，主要有单机或双机并车经液力偶合器带桨两种形式，其基本原理类似，这里只介绍前者。

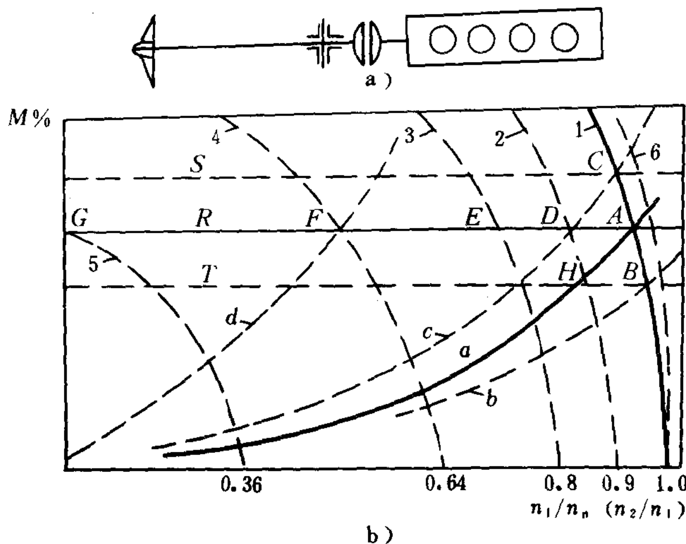


图 6.1.3—28 单机经液力偶合器带桨的配合特性

4.6.1 装置特点

图 6.1.3—28a）为其装置的基本结构，根据结构的特点可知，液力偶合器传动与刚性直接传动的主要不同点是：主机与螺旋桨之间存在着转速差，一般桨的转速略低于机的转速，即使桨的转速为零时主机仍可按一定转速旋转。

4.6.2 特性与配合

图 6.1.3—28b）为其特性与配合情况。图中纵坐标是扭矩百分数 M%；横坐标则表示主机实际转速比额定转速的百分数$\frac{n_1}{n_n}$%和主、从动轴的转速比百分数$\frac{n_2}{n_1}$%；曲线 1～5 表示主机的各转速百分数（分别在等转速 0.36、0.64、0.8、0.9 和 1 运行）时的液力偶合器的特性随转速比百分数$\frac{n_2}{n_1}$的变化关系曲线；曲线 a、b、c、d 是各种不同负荷（即不同 J）情况下的推进特性曲线；R、S、T 则分别表示主机最大持续功率、超额功率和部分特性所对应的等扭矩线。从图可见，在各等转速 n_1 的偶合器特性线上，当螺旋桨的负荷增高，即 J 减小时，液力偶合器的从动轴（或螺旋桨轴）转速 n_2 将减小，它所吸收的扭矩就会相应增加。在额定工况下，主机的扭矩线 R、螺旋桨的推进线 a 和偶合器的特性线 1 三者将在交点 A 平衡。当螺旋桨负荷增加时，转速便降低，相应的推进曲线就变陡（如曲线 C 所示）。如果主机带有调速器，在这种情况下它将使油门加大，并使 1、S、C 三根线在"C"点相交，使柴油机在超负荷工况运行。如果事先已将油泵齿条限位，则主机的扭矩就被限制在 R 线上，三者就会在 D 点相交。无论是在 C 点或在 D 点，主、从动轴之间均存在着转速差，即 $n_2<n_1$。

当螺旋桨负荷减少，即 J 升高时，推进特性曲线将变平（如曲线 b 所示），则曲线 1、曲线 b 就和等扭矩线 T 交于 B 点，这是因为桨的负荷减轻，而主机的输出负荷末变，导致机、桨平衡的破坏，使转速百分数相应提高。

在三者的平衡点 A 处调整主机油门，使主机扭矩线为 T 时，主机 n_1 也随之下降，则 a、T、2 三线就交于 H 点上，这时螺旋桨所吸收的功率和转速也都下降了，但转速 n_2 因液力偶合器的滑差关系仍小于 n_1。

曲线 d 表示在系泊状态时桨的推进特性曲线，这时三线将在 F 点相交，主机转速变为

$0.64n_n$。当螺旋桨负荷进一步增加，直到螺旋桨被卡住不能转动时，由于液力偶合器所具有的性能，发动机仍能转动，但其转速降为 $0.36n_n$（其特性线如图中的曲线 5 所示），并且能使主机，保持在额定扭矩工作。这个特性对破冰船和挖泥船是很有好处的。

4.7 多机多桨传动

运输船舶所采用的多机多桨装置中多数为双机双桨推进装置，如图 6.1.3—29 所示。

4.7.1 装置简图

图 6.1.3—29 即为这装置图，双机分别直接或经传动设备各带一桨。

4.7.2 特性

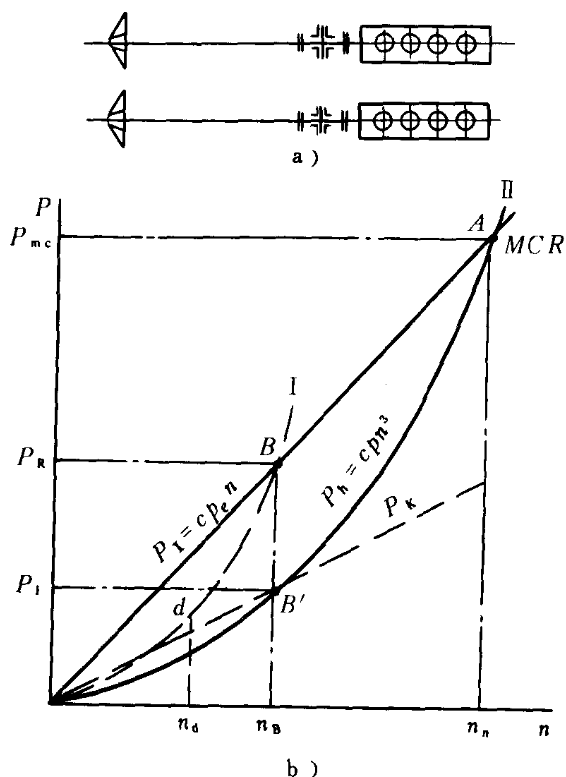


图 6.1.3—29 双机双桨传动的配合特性

图 6.1.3—29b）为双机双桨推进装置在某些运行工况的特性与配合。曲线 I 、II 为同一个螺旋桨在不同工况下的特性曲线（曲线 I 为单桨特性）；P_1 为一台主机的额定外部特性线；P_n 为一台主机的部分特性线；线 P_1 与曲线 II 的交点 A（MCR）为额定工作点。在曲线 1 上 B 点以下的转速范围，既可以用单桨工作也可以用双桨同时工作。例如设在转速 n_B 的工作条件下，如按单桨工作时，推进曲线 I 与主机外特性线 P_1 将在 B 点相交，这时由于 V_p 较小，进速系数 J 亦小，曲线 I 较曲线 II 为陡（实际上由于拖桨等关系其曲线将更陡），尽管主机是按额定负荷 p_e 工作，但其功率 P_B 和转速 n_B 均远小于额定值；如果在转速 n_B 条件下按推进曲线 II（双桨同时工作时的单桨特性线）运行，则分摊在每个桨上的功率 P_B' 约为 $1/2P_B$，它只能与主机的部分特性线 P_h 在 B' 点相交。在这种情况下，逐渐增加发动机的负荷，航速就相应增加，直到额定负荷 A 点，达到额定航速，船速不再提高。设图 6.1.3—29 中的 n_d 为发动机的最低稳定转速，如果只开一台发动机，那就只能在转速 n_d 至 n_B 范围内工作，而同时开两台发动机就可在 n_d 至 n_n 间的全部转速的范围里工作。

4.8 轴带负荷时的工况配合

4.8.1 装置特点

所谓轴带负荷是指主机的功率除用来带动螺旋桨外，并通过齿轮箱的专门输出轴（常称 P、T、O）或传动轴带动其他负荷（如发电机、泵等），故在推进装置轴带负荷时，主机（这里指的是直接带桨传动）供给功率必须等于或大于螺旋桨和附带负荷的功率之和。

4.8.2 特性与配合

4.8.2.1 按主机的额定转速 n_n 选配

在 n_n 转速下主机的供给功率等于或大于桨和附带负荷所需要的功率，如图 6.1.3—30 中

的 a)图所示。图中的 OA′线为主机额定外部特性线；OB′A 为桨的推进曲线；n_{min}为主机的最低运转转速。在配合点 A′处时：

$$P_{mc}=P_A+P_F \qquad (6.1.3—25)$$

式中：P_{mc}——主机额定供给功率；

P_A——桨所吸收的功率；

P_F——附带负荷所需的功率。

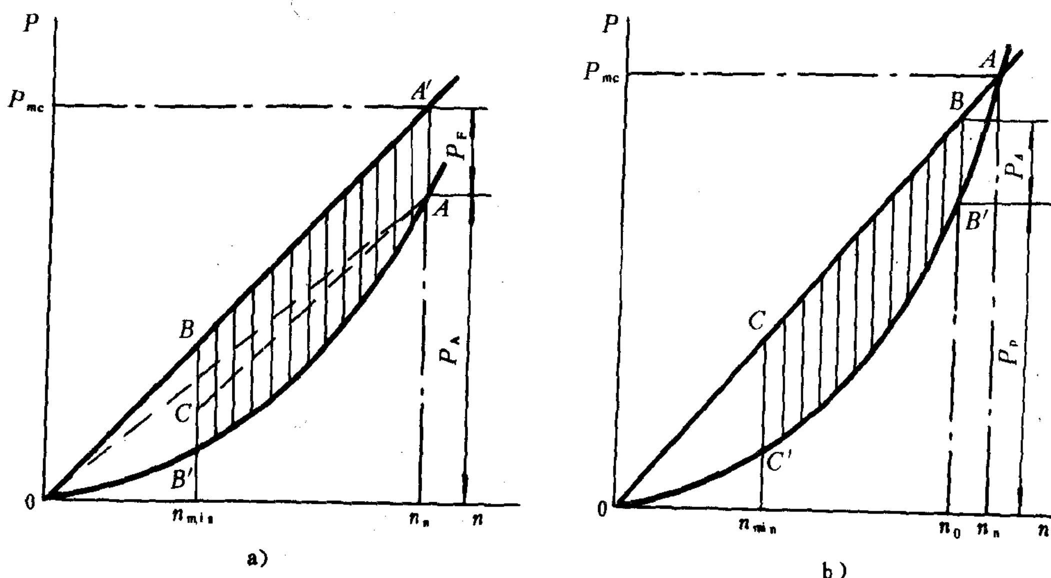


图 6.1.3—30 推进装置轴带负荷的配合特性

图中面积 A′ABB′为 $n<n_n$ 时主机相对螺旋桨的剩余功率，按这种方案配合时，在常用转速范围内，均可带动轴带负荷。对运输船舶来说，它的轴带负荷 P_p 比主机的负荷要小得多，且受转速变化的影响小。当 $n<n_n$ 时主机轴带负荷 P_F 后，仍有剩余功率时(如图中面积 ACB′所示)，仍需减小主机油门来进行配合。

4.8.2.2 按常用转速 n_0 配合

某些运输船舶平常航行时为了省油或使主机在较好的工作状态下工作，多使用常用航速(或转速)。这 时，主机已有剩余功率可供轴带负荷。采用这一配合方案的如 b)图所示，图中的 n_0 即为常用转速；P_s 为转速等于 N_0 时可供轴带负荷的主机剩余功率。配合点按这一方案进行设计，其好处是剩余功率利用较好，但如按额定航速运行时，主机就不能轴带负荷。

4.8.3 主机剩余功率与轴带负荷的配合关系

图 6.1.3—31 为主机剩余功率及轴带负荷的特性。对于某转速 n_1 处的剩余功率可按下法求得：已知主机的功率为其转速的线性函数，故在 n_1 处主机所发出的功率为：

$$P_D=\frac{n_1}{n_n}P_n \qquad (6.1.3—26)$$

而螺旋桨所吸收的功率 P_p 则与转速 n^3 成比例，故在 n_1 处桨所吸收的功率：

$$P_p=(\frac{n_1}{n_n})^3P_n \qquad (6.1.3—27)$$

其剩余功率为：

$$P_s=P_D-P_p$$

例：现设轴带负荷是轴带发电机，取其工作转速 $n_1=0.8n_n$，将其代入式 6.1.3—26 及式 6.1.3—27 就可求得主机的剩余功率：

$$P_D=0.8P_n;$$
$$P_p=0.8^3P_n=0.51P_n;$$
$$P_s=P_D-P_p=0.29P_n$$

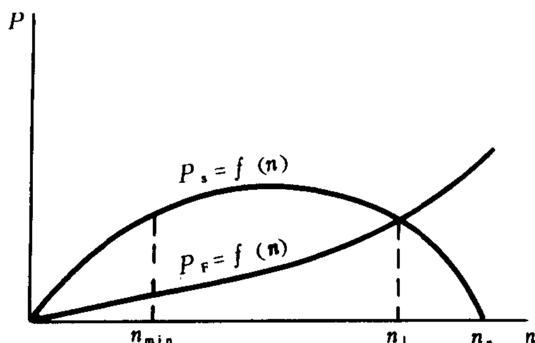


图 6.1.3—31 主机剩余功率及轴带负荷的特性

图 6.1.3—31 中的 $P_F=f(n)$ 曲线表示主机轴带泵功率随转速 n 的变化关系，可见它的变化规律与 $P_s=f(n)$ 并不一致，设图上两曲线相交的点为二者功率的配合点，它表明转速在 n_{min} 至 n_1 的范围内主机的剩余功率是足够驱动负荷的。

在轴带负荷较多时，尚须先将它们分别转换成 $P=f(n)$ 关系线，再在相应的转速处将它们分别和桨的负荷曲线 $P_p=f(n^3)$ 叠加起来，并求得其总和，它和主机外特性的交点就是它们的能量平衡点，并使其处于主机剩余功率所包围的面积内。

4.8.4 海船主机轴带发电机的配合实例

图 6.1.3—32 为海船主机轴带发电机的配合实例。

图中的 FCBE 为负荷域；S 点为约定最大持续功率 SMCR；D 点为桨的设计点（已考虑其具有 8～10%的正常功率储备）。如果轴带发电机的功率小于主机功率的 6%时，轴带发电机可以在原来的机、桨配合条件下工作，不必改变原来的匹配。由图看出：船底清洁时，主机转速在 100%n_n 运行，其储备功率除足以带发电机外，尚有少量储备，即使在污底严重的情况下，主机可以在 97%n_n 处的 B 点工作，完全可满足正常航行的需要，即使在需要全部使用储备功率的情况下，可脱开轴带发电机，而轴带发电机的负荷可由柴油发电机来承担。这种情况非常少，而且持续运转的时间也不会长，这种匹配可充分利用主机功率，故是可取的。如果要是轴带负荷超过 10%时，那在决定桨的设计点时就应多留一些相应的储备。

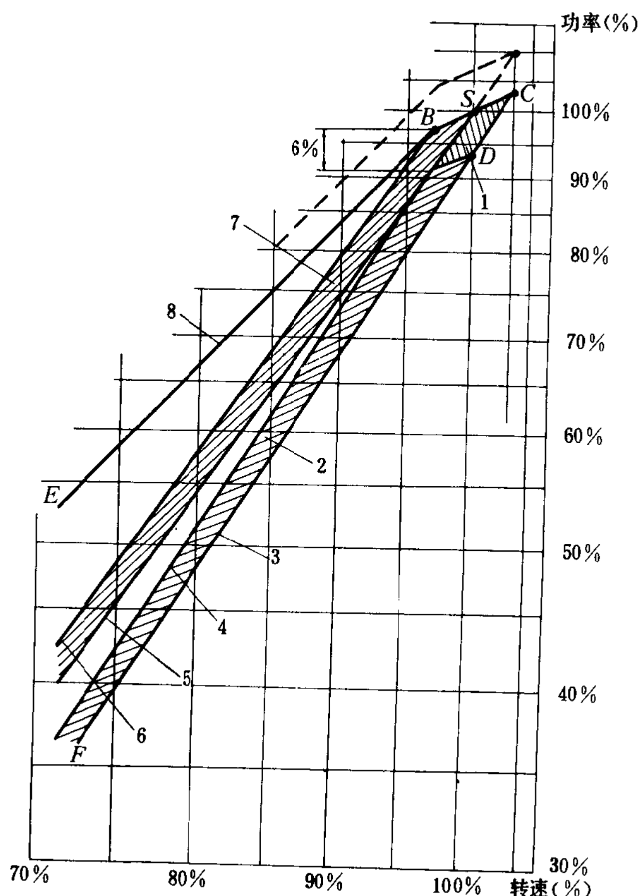


图 6.1.3—32 海船主机轴带发电机配合实例

1—发电机空载时推进功率区域；2—坞修间隔内推进功率使用范围；3—清洁底推进曲线；4—污底推进曲线；5—带有6%发电机负荷清洁底发动机负荷曲线；6—带有 6%发电机负荷的污底发动机负荷曲线；7—坞修间隔内发动机功率使用范围；8—负荷限制曲线

5 调距桨的基本特性

一台调距桨因螺距可以任意改变，可视为一系列同一直径的具有不同螺距比的螺旋桨的组合（见图 6.1.3—33），它具有一组工作曲线（见图 6.1.3—34）。在相同的进速系数 J 下，调距桨的推力和扭矩不仅随转速而变，同时也随螺距比的改变而变化（见图 6.1.3—35）。从该图(a)可见，在阻力因素不变的情况下，螺距越大，在等转速下推力越大，螺距越大扭矩也越大，见图 6.1.3—35b）。因而，可以通过调整螺距比来控制螺旋桨转速和扭矩及推力之间的关系，以适应各种船舶工况变化的需要。

5.1 调距桨的三个基本工作特性

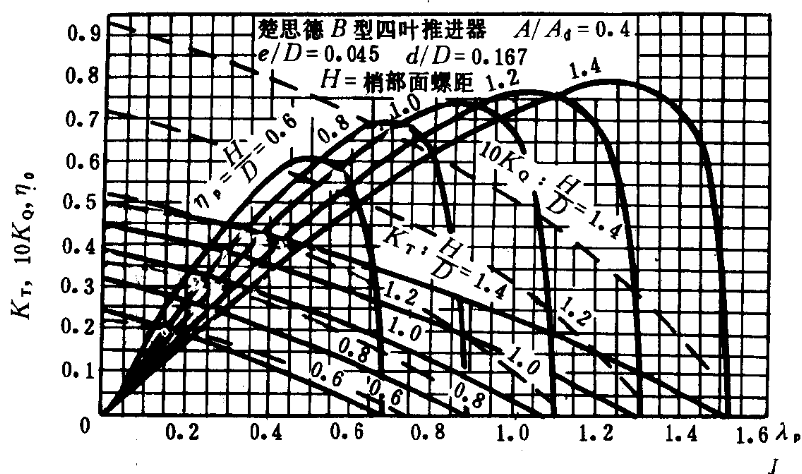


图 6.1.3—33 调距桨的特性曲线

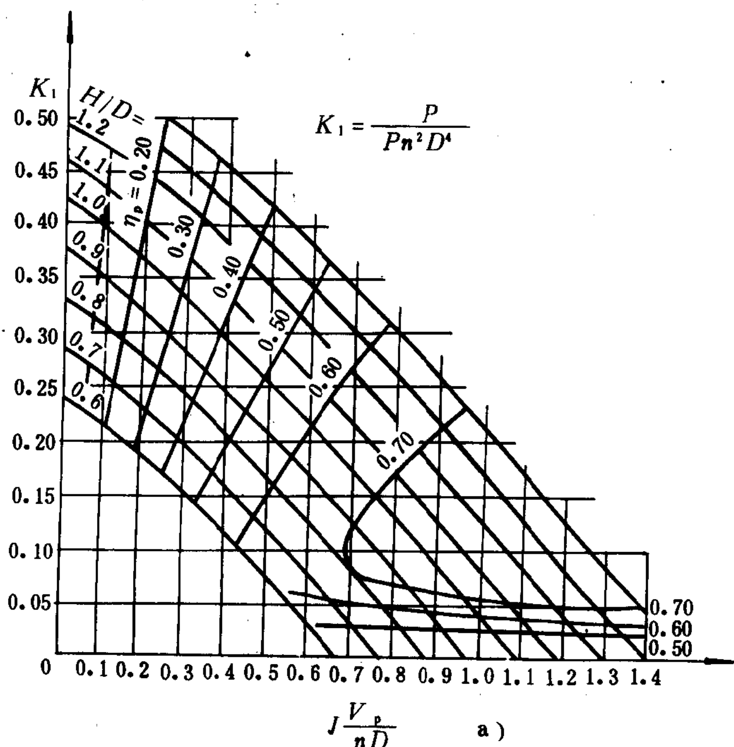


图 6.1.3—34

1）船舶在任何工况下均能吸收主机的全功率。此特性从图 6.1.3—34 b）中 $K_Q=\frac{M_{kp}}{\rho\cdot n^2\cdot D^5}=\frac{P_{mc}}{c\cdot n^3\cdot D^5}$= 常数得到清楚的说明。当螺旋桨的转速 n 和直径 D 已定，要在任何阻力情况下保持航速一定，只要配以一定的螺距比 H/D，就可使扭矩系数 K_Q 保持不变，从而功率 P= 常数，那么主机就可始终在额定功率下运行。

2）用不同的转速 n 和螺距比 H/D 相配合，可得到所需要的舰船航速。（图 6.1.3—36 所示）。

3）在保持螺旋桨转速 n 不变的情况下，改变螺距比 H/D，船舶也能具有不同的航速。从正车最大航速到倒车最大航速，当桨叶放在螺距为零的位置时，主机仍以一定的转速运转，螺旋桨推力也为零。船舶原处不动；当桨叶转

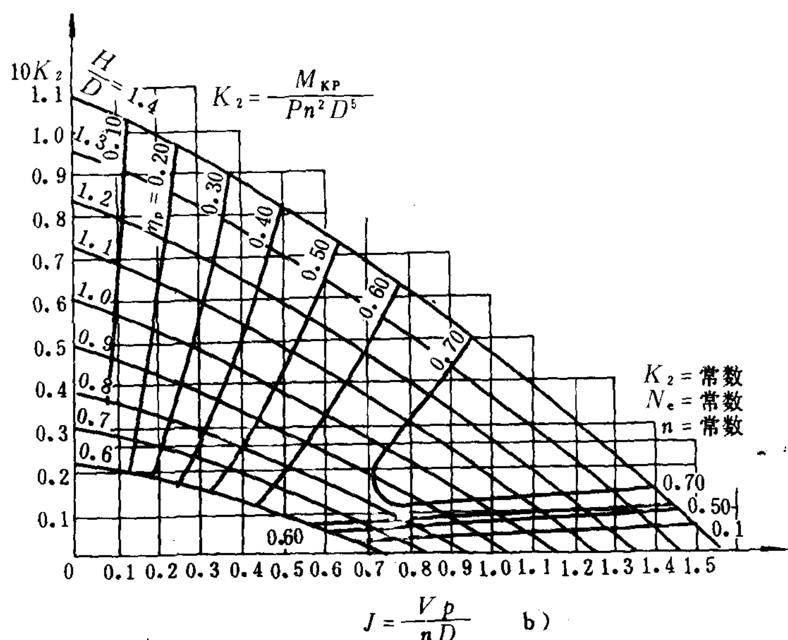


图 6.1.3—34 调矩桨工作性能曲线图

到负螺距位置时，可使主机在不改变转速和转向下，船舶实行倒航。

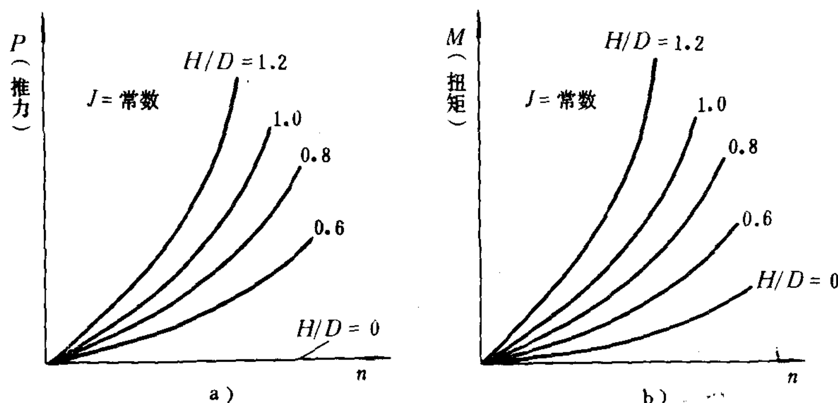


图 6.1.3—35 调矩桨的推力和扭矩特性图

5.2 调距桨的调速特性

图 6.1.3—36 为某船试验资料整理的线图。图中斜线 p_e 为主机不同供油量时的外特性线；曲线（实线）为不同 H/D 时的推进特性曲线；曲线（虚线）表示不同航速 V_s 时的等航速线；A 点为额定配合点，其相应的航速 $V_{sn}=19k_n$。从图中可见，除在保持某一螺距比 H/D 不变时，改变转速 n 或平均有效压力 p_e 可得到不同船速 V_s 外，在 n 或 p_e 不变时调节 H/D 也可得到不同的 V_{s0}例如假定保持图中的转速 $n=0.8n_n$ 不变（即在等转速 BB′线上），采用不同 H/D 推进曲线时，可在 BB′的转速线上得到 1、2、3、4、5、6、B 诸交点。上述诸点，即为不同的 V_s；再如：假定保持图中的 $P_{e4}=0.88$ 不变，在采用不同的 H/D 推进曲线时，也可在 p_e 线上找到 a、b、c、d 诸点处的不同航速。

5.3 调距桨的轴带负荷的特性配合

5.3.1 轴带负荷的特点

推进装置用来轴带负荷，例如轴带交流发电机时，要求被带的发电机能提供恒频的电流，

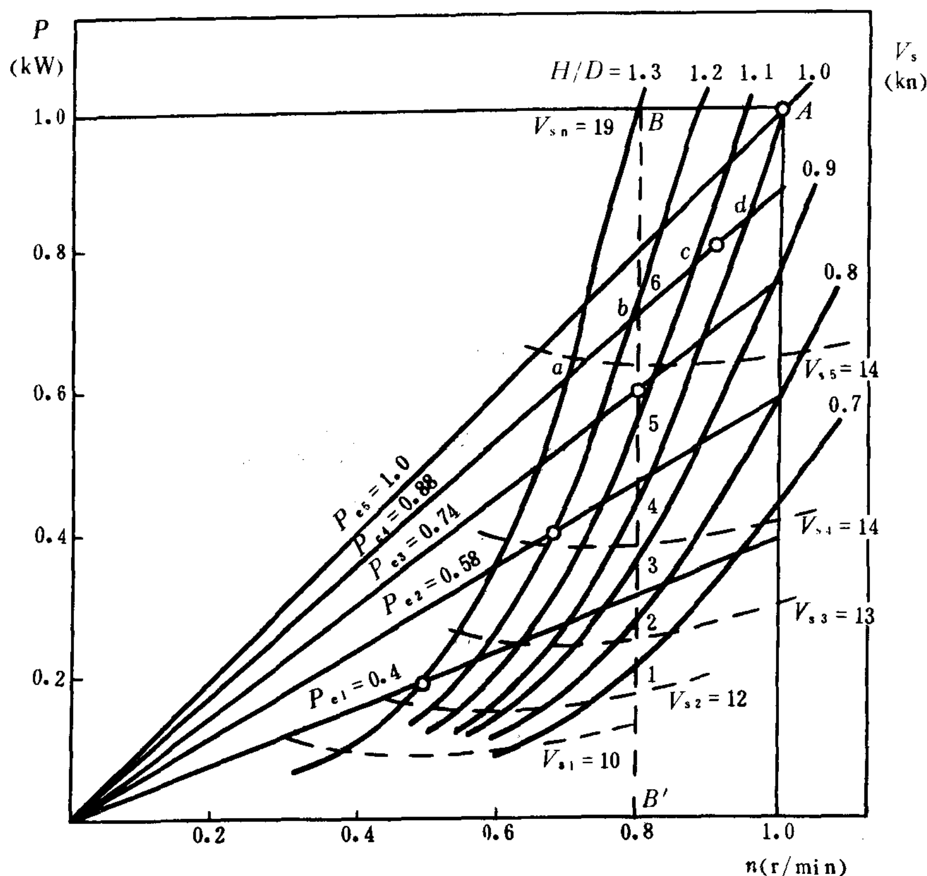


图 6.1.3—36 调距桨的调速特性

这就要求主机的输出转速波动不大。由于船舶在运行时，因营运、避碰、航道变化、抢点到港和其它外界工况变化必须要求船速(主机转速)发生变化，采用调距桨来带轴带发电机一般能适应这一要求。

5.3.2 特性与配合

图 6.1.3—37 中的曲线 1 为最大持久功率的外部特性；曲线 2、3 为部分特性，OA′是螺旋桨的

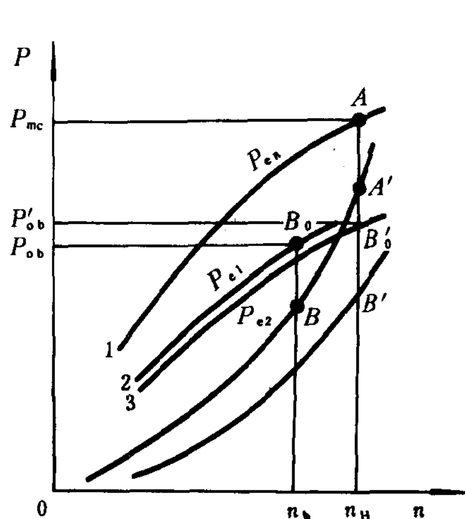


图 6.1.3—37 调距桨轴带负荷的配合特性

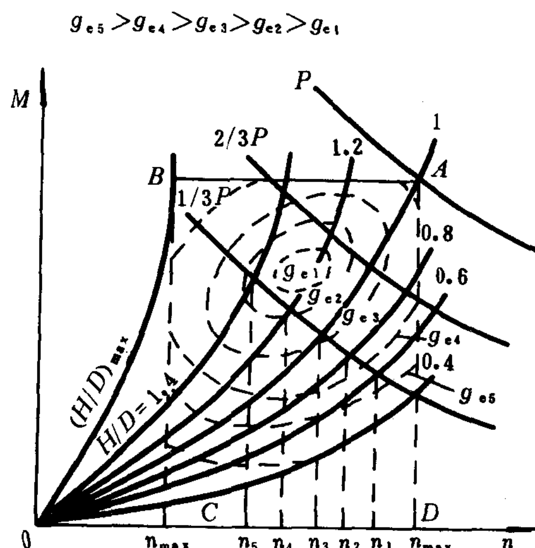


图 6.1.3—38 柴油机和调距桨的配合特性

螺距比为 A/D 时的推进特性曲线；OB′是螺距比为 H_1/D 时的推进特性曲线；螺距比 H/D＞H_1/D；AA′、B_0B 和 $B_0'B'$ 均为主机的轴带负荷。在设计工况条件下，主机的额定负荷为 P_{en}，A 点为主机在额定转速 n_n 时的最大持续功率，这时主机的剩余功率 AA′足以用来轴带负荷。在船舶运行时，一旦要求转速（或航速）降至 n_b 线，可以将其螺距比减小至 H_1/D，使推进曲线变成较平坦的 OB′线。此时，其剩余功率 $B_0'B'$ 既可供轴带发电机，也可保持主机额定转速 n_n 不变，使发电机发出恒频电流。

5.4 调距桨的最佳匹配

调距桨能实现机、桨的最佳匹配，即能使推进装置在不同工况条件下工作时耗油率最小。从图 6.1.3—38 可以看出：对于定距桨的船舶，当其推进特性线一定（设它为 OA 线），主机处在部分负荷工况时，它只能按照图中的 OA 线变动。而对于采用调距桨的船舶，由于螺距比 H/D 可以变动，它就能在柴油机最大扭矩的上限曲线 AB、最大转速线 AD、最低稳定转速线 BC 和下界曲线 H/D＝0 的 扭矩曲线 CD 所围的区域内工作；亦即可在面积 ABCD 中任何一点上工作。如果假定船舶在某一航速 V_s'，螺旋桨所需功率 P_p 为图上的 1/3P 时，则调距桨装置在该功率线 1/3P 时就可以由很多组相应的转速 n 和螺距比 H/D 配合来达到（如图中 H/D＝0.6，$n=n_1$；H/D＝0.8，$n=n_2$；H/D＝1，$n=n_3$……）。因此调距桨装置在某一定航速 V_s' 下，在 1/3P 功率时，借助于主机的万有特性曲线（其等耗油率曲线如图中的虚线 g_e 所示），可以从柴油机和螺旋桨共同运转的很多组的 n——H/D 配合中，找到经济性最好（g_e 最小）的 n 和 H/D 一组配合，这一组配合就称其为最佳匹配。

6 船、机、桨在变工况时的配合

船舶在实际使用中，较多的情况是处在变工况条件下工作。船、机、桨按变工况使用时，其 配合特性也将发生明显的变化，如果处理或配合不当，就很容易发生主机超载和桨的过重或过轻现象。

6.1 系 泊 工 况

在船舶系岸的情况下运转的主机和螺旋桨的工况称为系泊工况。这时船速 $V_s=0$；进速系数 $\lambda_p=0$。船舶在起航的最初阶段，螺旋桨开始转动时，因为船还没有移动，这时的工况也与系泊工况相似。

船舶在系泊工况工作时，由于 J＝0（较小），其推进特性曲线较陡，亦即在同一转速时它将吸收较大的功率。

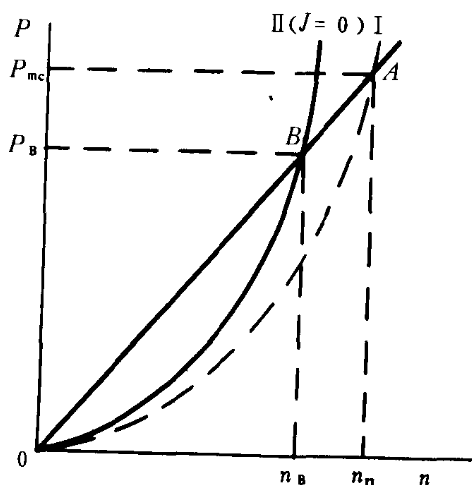


图 6.1.3 39 系泊工况的配合

图 6.1.3—39 中的 Ⅰ 为设计状态下的推进曲线；Ⅱ 为系泊时桨的推进特性曲线；OA 为主机额定外部特性；A 为额定设计工况的配合点；B 为系泊工况的机桨配合点。从图可见，在系泊工况时配合点 B 处的功率 P_B 要比额定值 P_{mc} 小很多，其转速也比额定转速低，通常 $n_B=(0.8\sim0.85)n_n$ 并且发生在 OA 左侧的短期工作区域，故在装有全制式调速器的主机带桨作系泊试验时，必须充分顾及这一特点，要经常检查其排烟温度等，不能把主机转速开到额定值，否则

主机将发生超负荷运行，并可导致某些机务事故。

6.2 过渡工况

过渡工况主要反映船舶在起航、加速、转弯、制动与倒车等变化过程的动态特性。机、桨按这些工况工作和配合，条件往往比较恶劣，容易发生超负荷现象，驾驶和轮机人员操作时必须特别注意。

6.2.1 起航与加速工况

船在刚起航时，犹如系泊工况，桨的推进曲线较陡，油门不宜开得过大。

船舶在起航和航行中的加速过程，螺旋桨所发出的有效推力，除用来克服船舶在该航速时的阻力外，有一部分尚须用作为克服船舶加速时的惯力之用，即：

$$T_e = R + (m + \Delta m)\frac{dV}{dt} \qquad kN$$

式中：T_e——有效推力；

R ——船的阻力，kN；

m ——船的质量 kg；

Δm——船的附水质量，kg；

V ——船体相对速度，kn。

从上式可知，船舶加速航行时要求的螺旋桨推力比作等速航行时要大。这一特点也可以从

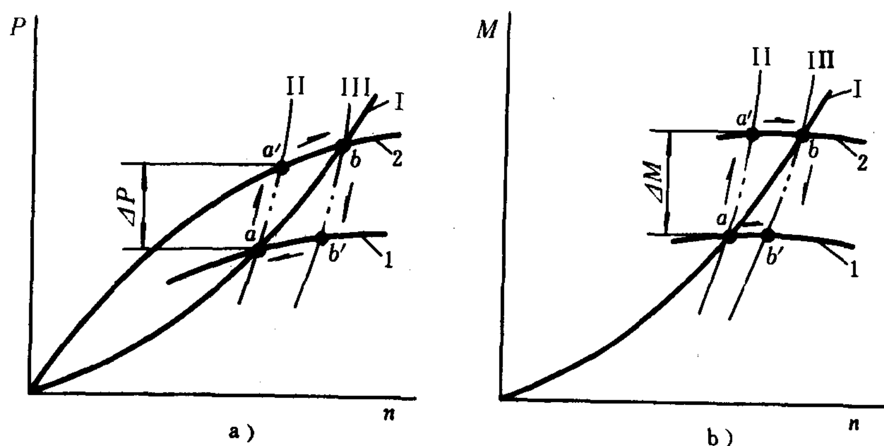


图 6.1.3—40 减速特性

图 6.1.3—40 机、桨配合特性中的加速特性曲线变化过程看出：图中曲线 I 为螺旋桨在某一等速航行工况时的推进曲线，Ⅱ与Ⅲ为加、减速时桨的推进曲线；1、2 则为主机不同供油量时的主机外特性曲线。从前面分析得知：欲使船舶加速，就必须增加螺旋桨推力，亦即要求主机开大油门。假定以主机外特性线 1 的 a 点为起始点，当主机供油量增加后，主机的特性线从 1 变为 2，主机与桨的转速 n 也相应增高，而在此瞬间，船速却因其惯性作用尚未增加，致使 V_p/n 值下降，推进曲线变陡(如曲线Ⅱ所示)，配合点由 a 沿Ⅱ线变为 a′。从图可见，在 a′点时主机供大于求，使工作点沿曲线 2 到达 b 点才稳定下来，促使桨的推力增加和船速提高。由此可见，加速过程中(非稳定过程)发动机工作点的变化不是沿 I 线上的 a→b 变化。而是沿上述的 a→a′→b 变化。如果把 a 至 b 的加速过程分为许多小阶段进行，即把原来一次增加的喷油量分为多个分量进行，则每一小阶段成为一个小加速过程。阶段分的愈细，加速过程的工作点的变化路线则

越接近于 a—b 线。船舶起航时，航速从零逐渐增加至全航速。对于这个最长的加速过程，实际操作都是把喷油量分段提高，使发动机的负荷随着航速一起逐渐增加，这对发动机的运转有好处。

减速情况则相反，当主机减油后，主机的外特性线就会从 2 变为 1，这时转速 n 就下降，而 V_s 却暂时未变，V_p/n 值将增大，在 b 点以下的减速线Ⅲ将低于Ⅰ，平衡点也将从 b 点转向 b′，并因求大于供的关系，再沿 b′点回到 a 点。

图 6.1.3—41 表示船在起航和加速时螺旋桨的转速、航速和扭矩随时间变化的情况。实践证明：迅速地起航和急剧加速，将导致发动机的机械负荷和热负荷过重。除紧急情况外，不宜采用这种起航办法，特别当发动机的温度还很低，尚未达到正常运转温度时，更不宜采用。起航时慢慢提高螺旋桨转数，使航速较缓和地提高，对发动机的磨损和负荷都有利，虚线所示即为这种操作情况。

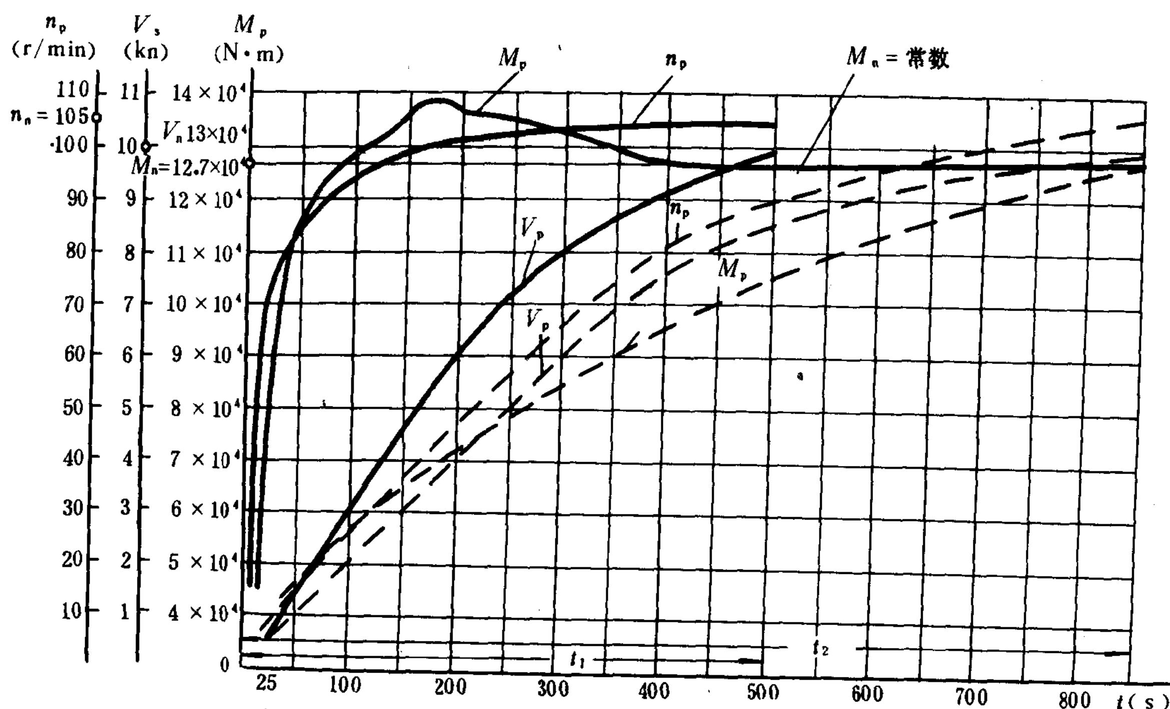


图 6.1.3—41 起航加速时有关参数的变化

6.2.2 倒车(反转)工况

船舶在进出繁忙的港口，过狭小复杂的航道，或在气候恶劣等情况航行时，经常要进行频繁的倒车操纵，以防两船相碰，触礁等事故。

图 6.1.3—42 所示螺旋桨的倒车特性曲线。图中纵、横坐标分别为螺旋桨转矩和转速的百分数。曲线 A、B 和 C 分别为船舶在全速、半速和系泊情况下根据船模试验测出的螺旋桨倒车特性曲线。在主机全部换向过程中，假定船速均没有变化，图中虚线 D 为船舶在全速前进时实际的螺旋桨倒车特性曲线(它已考虑主机在制动和换向过程船速逐渐降低的影响)。

分析船舶在 $V_p=1$ 全速前进时主机从正车紧急换向为倒车的运转情况(参见曲线 A);主机在紧急换向过程中,一般经过三个阶段,第一阶段(a—b),接到倒车命令后先要停止向主机供油,主机转速便迅速下降,使螺旋桨的进速系数 J 急剧增加,螺旋桨的推力系数 K_T 和转矩系数 K_Q 也明显下降,当下降到 b 点,约(0.6~0.7)n_n 时,螺旋桨的转矩为零。第二阶段(b—c—d),在 b 点以后,由于船舶仍在全速前进,J 在继续增加一般会使 K_T、K_Q 转为负值,螺旋桨被水冲击产生负转矩,象水涡轮一样带动主机曲轴等仍按正车方向回转,此负转矩为主机各运动部件摩擦损失所消耗,使转速迅速下降。当转速降为(0.3~0.4)n_n 时,负转矩达到最大值点 c,c 点为临界点,过 c 点转速再降低时,负转矩就开始逐渐减小。当负转矩下降到与主机各运动部件的摩擦阻力矩相平衡时,螺旋桨就停转(点 d)。第三阶段(d—e);在 d 点之后,如果倒车起动主机,其起动力矩必须大于螺旋桨的负转矩,使螺旋桨的负转矩产生推力,对船速起制动作用。然而,从图可知,按全速前进时曲线 A 上的 e 点表明,在倒车转速为(0.3~0.4)n_n 左右时,螺旋桨所吸收的转矩即达额定值—M_H,此时随着主机转速的下降,船速已经减慢,因而是按图中的虚线 D 工作(在曲线 A 左方)。尽管如此,按额定转速作全速倒车也是不允许的,因为从图可知,无论是将 de 或 d′e′线延长至额定转速线上时,所要求的转矩将相当于额定转矩的 3~4 倍,故倒车转速必须限制在 70~80%n_n 以内。当然如果船速按 $V_P=0.5$ 或 $V_P=0$ 实行倒车,则情况就比较缓和。

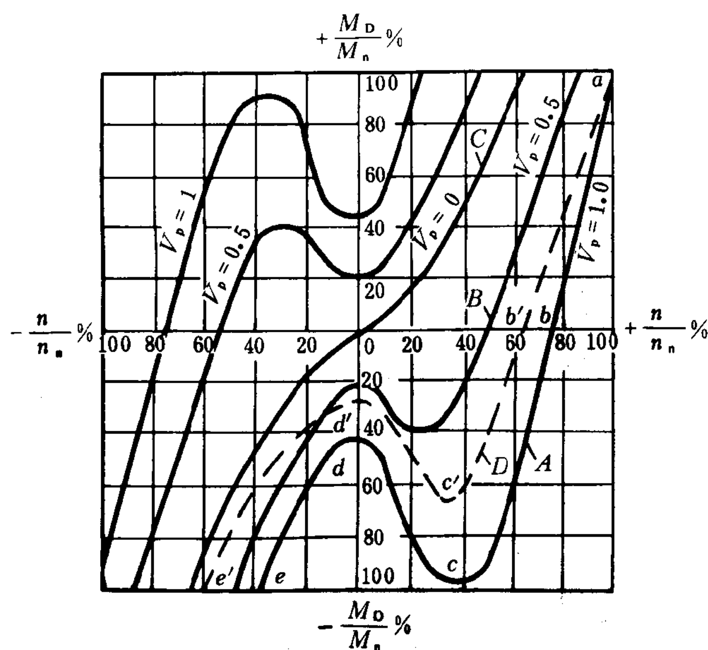


图 6.1.3—42 倒车工况桨的特性

在使用起动空气系统刹车时,由于各种机型操纵系统的紧急刹车性能不同,当紧急换向时,还必须根据它们的特点进行正确操作。一般来说必须遵守一个原则,即刹车有效转速约为额定转速的 40%左右,其次是在刹车过程中,只能向气缸供给压缩空气。刹车时不能一次把主机刹住,应该刹刹停停,直到停车,再倒车启动和进油反转。因为如果我们在主机处于最大转矩时,一下子把主机刹住,将使曲轴受到很大的反力矩,易使缸套处产生滑移及增加其它零部件的受力和冲击等。

在图中 $V_p=0$ 曲线上方的 $V_p=0.5$ 和 $V_p=1$ 时的转矩变化曲线则是船以全速后退时螺旋桨作正转的情况,它们与前进时桨作反转的情况类似。

6.2.3 双桨推进装置的转弯工况

6.2.3.1 双桨船舶转弯的过程

船舶的转弯是靠舵来实现的,左转弯时,左侧桨为内桨,右侧桨为外桨,如两只桨均为外旋,船舶在左转弯时,一般先使船舶外移。当转左舵时由于水在舵面的作用力,使船舶一面外移,一面围绕重心旋转,并使船尾外扬,使重心瞬时旋转速度 V 与船中线形成夹角 γ(所谓偏流

角),偏流角的出现,加上转弯时舵的阻力,使船舶运动的阻力增加,航速也相应下降。船舶在转弯时船速及螺旋桨处水流的大小与方向均在不断变化,两只螺旋桨的负荷也是在不断变化的。

6.2.3.2 转弯时桨的负荷变化

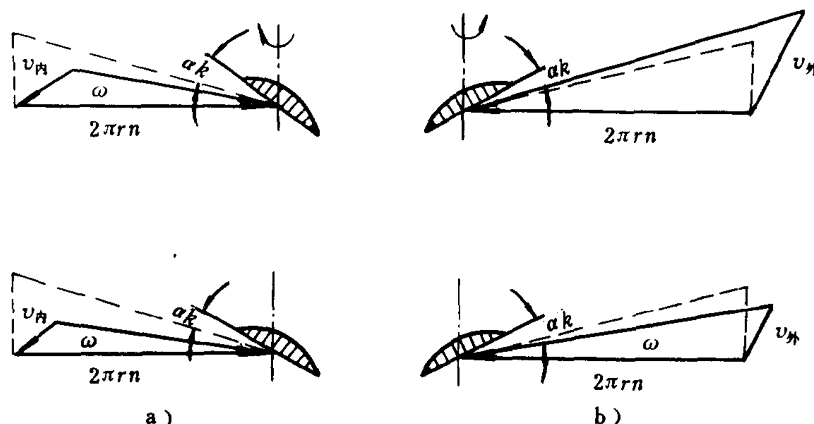


图 6.1.3—43 船舶在转弯时内、外桨的负荷

现取内、外桨的各一个叶切面来分析,从图 6.1.3—43 中的 a)和 b)可以看到:在螺旋桨处除作用斜向水流外,还有螺旋桨本身旋转而产生的切向流速(2πrn),一般主机均装有调速器,可认为转弯时螺旋桨的转速及切向流速保持不变。这样便可以画出桨的速度(负荷)三角形。

图中的虚线表示转弯开始前的水流情况。对于内桨(见图 a)在左转弯开始时,由于船尾外扬使攻角 α_k 加大,随着转弯的发展,其航速进一步降低,攻角进一步加大,在转弯过程中,一般内桨的扭矩往往是在不断上升的;而对于外桨(见图 b),在转弯开始时,由于船速降低很少,加之船尾外扬在桨处所产生的速度,使 $\overline{V}$ 增大并导至攻角 α_k 减少使主机负荷降低;但在转弯过程中随着航速的降低,水流的攻角也相应增大,又使扭矩增大起来,但其数值较内桨要小得多 。

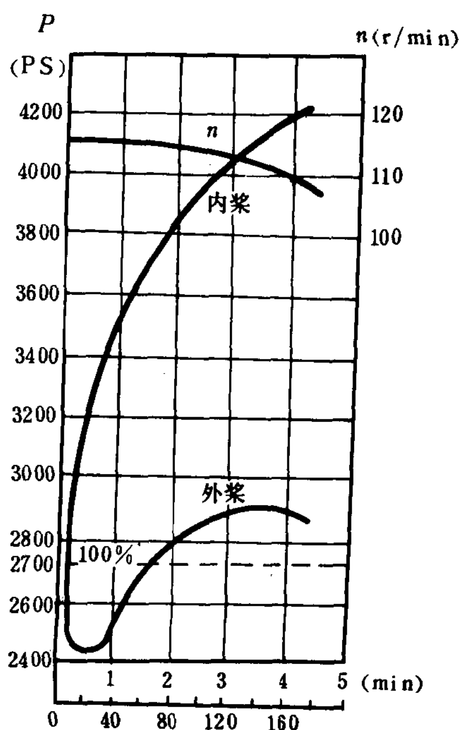


图 6.1.3—44 转弯时双桨推进装置负荷变化实例

图 6.1.3—44 为某船在转弯时,内外桨负荷变化试验结果。该船以 $14k_n$ 的船速向左转弯,在半分钟之后船转到 20°,此时外桨的负荷降至最低,此后随着进速的减小重新上升超过额定负荷 6%~7%后稳定下来。内桨的负荷一直不断上升直到船转至 180°,此时需要经过 4~5min,功率将超过原来的 60%。转弯时所用的舵角,航速及螺旋桨转速愈大,机桨的负荷也随之增大。为了避免主机超负荷,一般宜在低航

速低转速及较小舵角的情况下进行转弯。特别是带有调速器的主机，在转弯时宜适当减小内桨的转速(或减小该桨主机的油门)，以免其超负荷。

6.3　船舶在营运时的变工况

6.3.1　装载或吃水的影响

对于货船和客货船，当其装载量变化时，船舶的吃水也受其影响，使船舶航行时的阻力发生变化，导致桨过重或过轻，特别是载货量变化幅度较大时，操作管理尤应注意。有关载货量对机、桨配合的影响，前面已有介绍。

6.3.2　推(拖)船的航行工况

推船、拖船及拖网渔船等在推(拖)状态航行时，螺旋桨所产生的推力除用来克服船体本身的阻力外，尚须克服推、拖驳队或拖网的阻力。在营运中由于拖带量常发生变化，对其配合性质及航速亦将发生很大影响。

图6.1.3—45为船舶在推(拖)驳船或单放时的特性与配合。图中示出了船舶的有效推力、拖(顶推)力和船舶阻力随航速变化的关系。曲线Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ分别为船舶推(拖)四驳，二驳和单放时的阻力曲线；$T_e=f(V_S)$为有效推力随航速的变化线，$F=T_e—P_T$则为不同航速时，推(拖)船顶推(拖)驳船或渔网之力。

从图可见：T_e线随航速的提高向右下方倾斜，这是因为$T_e=K_T\cdot\rho\cdot n^2D^4(1—t)$中的$K_T$随$V_p$升高而下降的缘故。在系泊时，船速$V_s=0$，其$T_e$及F均为最大值。而随着航速的增加，拖(顶推)力$F=T_e—R_T$也因拖船本身阻力$R_T$的增加而减小；当推(拖)船单放(即自由航行)时，其拖(顶推)驳之力$F=0$。

如果图中的a点为设计状态的有效推力T_e与额定推(拖)量的船舶总阻力曲线Ⅰ的配合点，那么当推(拖)量变化为阻力曲线Ⅱ或Ⅲ时，其配合点将变到b点或c点处，后者将出现桨的过重或过轻现象。图中还表明：在T_e线一定的情况下，推(拖)量愈大则船速愈慢，反之则船速较快。因此，将这种类型的船舶，根据其不同的结构型式及性能，分别将它们的$F=f(V_s)$及$T_e=f(V_s)$的变化曲线编制出来，这对用船部门的计划管理与调度是很有好处的。

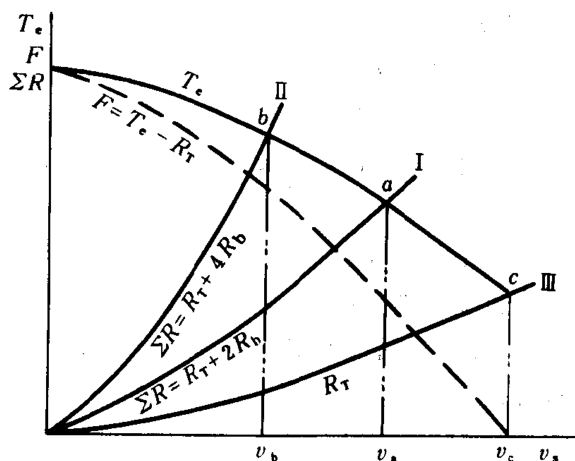


图6.1.3—45　推、拖航行时的配合特性

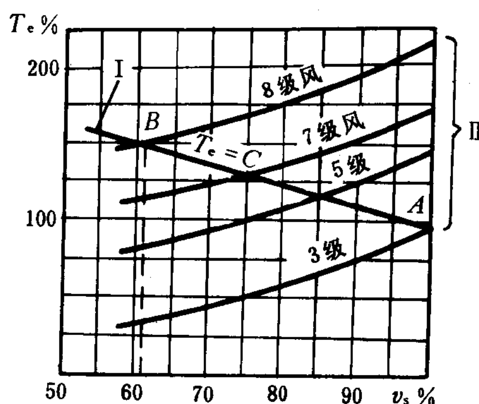


图6.1.3—46　风力对船舶航速及推力的影响

Ⅰ—主机额定平均有效压力不变时的推力特性线；

Ⅱ—船在不同风力时的推力特性线；V_s—船速；

T_e—船的有效推力

6.3.3 船舶进入浅水或窄航道航行

船舶从深水进入浅水航道时，由于浅水航道中摩擦阻力和兴波阻力都比较大，船的阻力将增加，螺旋桨的扭矩和推力也相应增加。船舶在这种情况下航行，对船舶动力装置也应提出相应要求。轮机管理人员必须认识这一特点。如果船舶在深水中航行时其主机已处于额定负荷，当其进入浅水区域或窄航道航行时，必须减低航速，以免导致主机超负荷。

6.3.4 船遇风浪

船舶在实际营运中，必将遇到风浪，风浪将使船舶产生摇摆、升沉、拍击等一系列运动，并需消耗能量；水线以上的船体部分受到风力的作用，风的方向与航向一致时船舶阻力就减少，逆风时则阻力增加，如风从侧向吹来则影响船舶的航向，并要通过舵的作用来抵消，以维持既定的航向，船舶偏舵航行亦会使船的阻力增加。这些对机桨的配合特性均将发生影响。

风力对船舶阻力的影响与风力大小、船体的受风面积以及航速等因素有关，图 6.1.3—46 示出了某船受风力影响的情况。

从图可见，设 A 点为 3 级风时的额定配合点，此时船舶有效推力 T_e 接近 100%的额定值。随着风力的增加，船速 V_s 也因船舶阻力的增加而降低，致使进速系数 J 减少，船舶所需推力相应增加，在 8 级风时的机桨配合点 B 处 T_e 值已大大超过额定值了。

6.3.5 偏舵对航行的影响

船舶受到侧向风力的作用时，为保持航向必须偏舵航行。此时船的阻力也相应增加。图 6.1.3—47 为偏舵航行时推力变化的情况。从图可以看出，偏舵航行时船所需的推力随舵角的增大而增大。

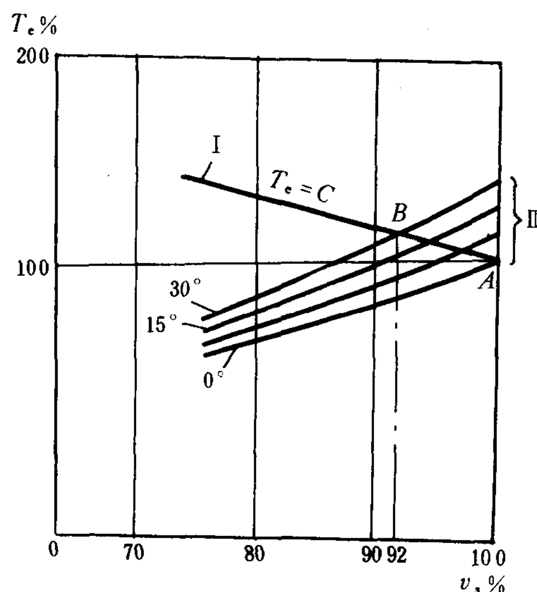


图 6.1.3—47 偏舵航行对推力的影响

Ⅰ—主机平均有效压力时的推力性线；

Ⅱ—不同舵角时船的推力特性线；

A—正常直线航行时的机桨配合点；

B—偏舵 30°时的机桨配合点

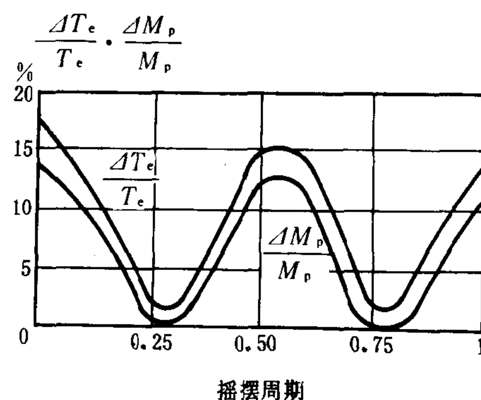


图 6.1.3—48 船舶纵摇对扭矩和推力的影响

6.3.6 摇摆的影响

船舶摇摆使螺旋桨在斜流中工作，造成螺旋桨的攻角加大，扭矩和推力也相应增加，其增加值随斜流的角度和摇摆周期而变。对排水量为 2000t，平均航速为 20kn，在 6～7 级风的海面

航行，转速为230r/min的某螺旋桨进行了计算，结果指出，船舶在纵向摇摆航行时，螺旋桨的扭矩和推力是随着摇摆的周期变化着，如图6.1.3—48所示，图中ΔM_p和ΔT_e是螺旋桨扭矩和推力的增额，图中的纵坐标表示推力和扭矩增加率的百分数。

6.3.7　污底对船舶航行的影响

水线以下的船壳表面，随着营运时间的增长，油漆的机械侵蚀，船壳的锈蚀以及船壳表面生长生物等，致使其粗糙度日渐增加，摩擦阻力和摩擦伴流也逐步增加，导致航速逐渐下降。这种现象称为污底影响。在船舶设计、管理和在选定机、桨设计负荷点时，必须计及船壳污底所造成的影响。

6.3.7.1　停泊期间的污底

海洋中的海草、贝类等的生长因气候、海区不同而异，温度越高，盐度越大，则生长越快。停泊不动的海船更容易生长。污底的产生在一定时期内按线性规律增加，超过一定时期后其增长速度逐渐减缓。在淡水中航行的船舶要好一些，但油漆的脱落、船壳的锈蚀及附着污泥等，也将使船壳表面的粗糙度增加。污底的影响程度与涂料、水的温度、咸度等周围环境条件有关，目前仍靠积累有关经验数据作大致估算。

6.3.7.2　营运期间的污底

目前很多船舶研究部门已着手研究此工作。挪威船舶研究协会提出，在保持船速不变时功率增长率计算的经验公式为：

$$Y \doteq K\lg\frac{x}{b}$$

式中：Y——功率增长率；

K——随船型而异的系数，对于大型肥大船$K \doteq 0.5093$；

b——新船竣工时的表面粗糙度，挪威取$b \doteq 125\mu$；英国取$b \doteq 142\mu$左右；

x——竣功t年后的表面粗糙度，$x = at + b$；

a——表面粗糙度增长率，μ/年。

船龄在6～7年间粗糙度随时间的关系大致上与上式一样成线性关系增长，以后增长率就变缓了。对于肥大型船，若新船粗糙度为125μ，年增长率约为20μ/年，则第一年的功率增长率约为3.2%，8年后约为18%。

通常营运期间的功率增长比停泊期间要小得多。

6.3.8　弯曲航道对船舶航行的影响

船舶或船队在弯道中艄行时，漂角能使运行阻力增加，推进器所受的偏斜流能使其工作条件恶化，这些都会使船舶或船队航速降低。

船舶在内河弯道中航行的特性及对桨负荷的影响，同船舶在稳定回转运动时极为相似，其航速计算常采用后者的计算办法进行模拟。

为了克服弯道对船舶（船队）航速的影响，需要计算因弯道而增加的船舶航行时间。通过弯道所需的附加时间Δt，可按下式计算：

$$\Delta t = \frac{l}{V} - \frac{l}{V_0} = \frac{l}{V_0}\left(\frac{V_0}{V_i} - 1\right) \qquad S$$

式中：V_0——船舶或队的直线航速，m/s；

V——在某弯道曲度半径航行的航速，m/s；

l——弯道长度，m。

将航线上所有弯道的 Δt 值相加，就可求出通过弯道所需额外增加的航行时间 Δt_c，即

$$\Delta t_c = \sum_{i=1}^{n} \Delta t_i = \frac{1}{V_0} \sum_{i=0}^{n} l_i \left(\frac{V_0}{V_i} - 1 \right)$$

通常只计算船舶或船队下水航行时通过弯道所需的附加时间 Δt_c；船在上水航行时，如计算表明其 Δt_i 值很小，则可忽略不计 。

参 考 文 献

[1] 船舶名词术语编订组：船舶名词术语(第四册)，国防工业出版社，1979 年 10 月

[2] 全国船舶标技委：船用柴油机功率、燃油消耗和机油消耗的标定及非标准状况下的修订，1984.11

[3] 蒋慰昌、崔存纲：运输船舶设计工况点的探讨，中国造船，1981 年 3 月

[4]《Project Guide MC Programme》Edition2. 1986

[5] RTA General Technical Data〈lssue1987/1986 SULZER〉

[6] 朱树文：船舶动力装置原理与设计，国防工业出版社，1980 年 9 月

[7] 张乐天：民用船舶动力装置，人民交通出版社，1985 年 6 月

[8] 崔朗然：船舶柴油机动力装置，国防工业出版社，1980 年 12 月

[9] 西安交大：内燃机原理，中国农机出版社，1981 年 2 月

[10] MAN—B&$\overline{W}$：二冲程 MC 发动机系列，1987

[11] 王国强、盛振邦 ：船舶推进，国防工业出版社，1985 年 12 月

[12] Selection of Derating Point for Hitachi B/W L—MC/MCE，September28，1981 Revised Hitachi Zosen

[13] Constant Ship Speed Line in Layout 〈project Guide MC Programme〉Edition 1. 1985

[14] Cul Cungan："Selection of Main Engine and Its Match With Propeller from The Enevgying Point of view 〈Selected Papers of The Chinese Soeiety of Naval Architecture and Engineering〉 Nol，1985.

[15] B. Г лавленко ，СудовыЕ ТЯ ГОВЫЕ РАСЦЕТЬ1，ИЗД . 2-е〈транспорт〉，москва，1978

第 4 章　船舶动力装置节能技术

1 节能措施

船舶柴油机动力装置的节能措施是：

1)完善柴油机的工作过程、提高热效率、减少排气与冷却水带走的热损失和减少机械损失；

2)提高整个动力装置的效率。

从系统工程的角度来看，涉及到装置各工作系统之间的相互关系，并且要考虑与结构、材料、使用维护和技术管理等有关因素。所以，船舶动力装置节能的措施是综合性的技术措施。

2 节能型推进装置

2.1 提高螺旋桨推进性能的一般概念

螺旋桨的推进效率为：

$$\eta_D = \eta_k \cdot \eta_0 \tag{6.1.4—1}$$

式中：η_k——船体影响系数；

η_0——螺旋桨的敞水效率。

螺旋桨的敞水效率 η_0 为：

$$\eta_0 = \eta_l \cdot \xi_p = \frac{2}{1+\sqrt{1+\sigma_p}} \cdot \xi_p \tag{6.1.4—2}$$

式中：η_l——理想螺旋桨效率；

ξ_p——螺旋桨的结构效率；

σ_p——螺旋桨的负荷系数。

$$\sigma_p = \frac{T}{\frac{1}{2}PAV_\rho^2} \tag{6.1.4—3}$$

式中：T ——推力；

ρ ——流体密度；

A ——螺旋桨的盘面积；

V ——旋桨进速。

由此，提高螺旋桨的推进效率的方法有：

1)提高船体影响系数 η_k，即寻求螺旋桨与船体尾部及主机的最佳配合。

2)提高螺旋桨的敞水效率 η_0。

减小螺旋桨的负荷系数和选择合理的螺旋桨转速，可提高螺旋桨的敞水效率 η_0。这方面的节能螺旋桨有：

(1)低转速、大直径螺旋桨；

(2)导管螺旋桨；

(3)可调螺距螺旋桨；

(4)大侧斜螺旋桨；

(5)串列螺旋桨；

(6)对转螺旋桨；

(7)无梢涡螺旋桨。

上述的各种螺旋桨只有在特定的条件下才具有节能效果。不能离开具体情况笼统地评论哪一种螺旋桨或推进方式的节能效果好坏。因此，把各种不同形式的螺旋桨装在同样的船体上来进行比较是不恰当的。

2.2 低转速、大直径螺旋桨[1]

与螺旋桨的负荷系数 σ_p 有关的各个参数中，推力 T 与前进速度 V_p 取决于船体的大小和所要求的速度。在船舶营运要求不变时，要减小负荷系数就必须加大盘面积 A，即加大螺旋桨的直径。此时，若转速保持不变，则叶梢线速度的增加会引起摩擦损失的增大，导致推进效率下降，从而抵消了减小负荷系数所带来的好处。所以，螺旋桨的转速与其最佳直径(效率达到最高值时的直径)之间存在着一定关系。

2.2.1 螺旋桨的直径

通常，螺旋桨的直径越大、转速越低，推进效率越高，但螺旋桨的直径受到船体线型和吃水的限制，螺旋桨最大直径约在下列范围：

单螺旋桨　　$D=(0.7\sim0.8)T_w$

双螺旋桨　　$D=(0.6\sim0.7)T_w$

式中：T_w——满载时的船尾吃水。

双螺旋桨船，叶梢最低位置约在基线以上 15cm，不得已时才容许叶梢超出基线。

2.2.2 螺旋桨的转速

当前的大型远洋节能运输船的螺旋桨转速为 60～90r/min，有的已降低到 50r/min 左右。近海船舶螺旋桨的转速约在 190～300r/min。内河船舶螺旋桨的转速约在 200～500r/min。

螺旋桨转速降低，受螺旋桨直径的限制。随着螺旋桨直径的加大，伴流增益减少，船身效率下降，因此，螺旋桨的转速不能过低，螺旋桨转速应从整个推进系统来考虑，尽可能使主机、传动装置、螺旋桨和船体之间的配合完善。对于具体船舶来说，最佳的螺旋桨转速应根据最低的投资和燃油费来考虑。

确定螺旋桨转速时，还应考虑船体和轴系的振动问题，避免发生共振。

当采用低转速、大直径螺旋桨来提高推进效率时，降低转速的方法有：

1)采用超长行程低速柴油机。目前，B&W 公司的 S—MC 系列低速柴油机的 S/D 已达 3.82、Sulzer公司的 RTA84M 低速柴油机的 S/D 为 3.47；

2)采用带有大减速比减速装置的中速柴油机。为解决齿轮减速装置的齿轮中心距过大给机舱布置带来的困难，可以采用行星齿轮减速装置。

3)采用低速柴油机加减速装置。

2.2.3 低转速大直径螺旋桨的节能效果

图 6.1.4—1 表示采用低转速大直径螺旋桨所能达到的功率节减量的关系

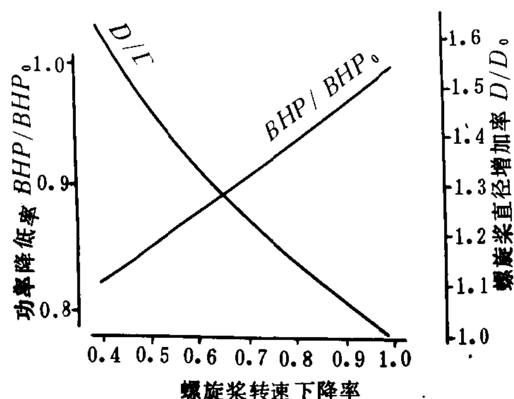


图 6.1.4—1 低转速、大直径螺旋桨与功率节减量的关系

一般，在航速确定后，如螺旋桨转速降低 10%，其效率约可提高 5%，转速降低 30%，效率约可提高 17%。

丹麦 B&W 公司在 6 万载重吨级的散装货船上，将螺旋桨的转速从 145r/min降低到 50r/min，其直径相应地从 6.5m 增加到 9.0m。对船体也作了一些改进措施。结果，在保持原有航速 16 节时，主机功率从原来的 13613kW 降低到 9639kW。在满载状态下，主机功率和油耗量降低了 30%左右。

日本对满载排水量 90300 吨的隧道型船尾的散货船采用低速大直径螺旋桨。螺旋桨直径从 6.6m 增加到 8.6m，转速从 114r/min 降到 70r/min，主机功率节减 12.3%。

采用低转速大直径螺旋桨存在的主要问题：

1)螺旋桨叶片的剥蚀问题；

2)螺旋桨所造成的激振力问题；

3)紧急状态下的停车性能问题。

这些问题，在估算实际营运效果时应予充分注意。

2.3 导管螺旋桨[1]

导管螺旋桨的基本结构是在普通螺旋桨的外面安装一个径向机翼形截面的圆形套管(参见图 6.1.4—2)。导管分为固定导管和转动导管。转动导管螺旋桨兼起舵的作用，一般转动范围为左右各 40°。

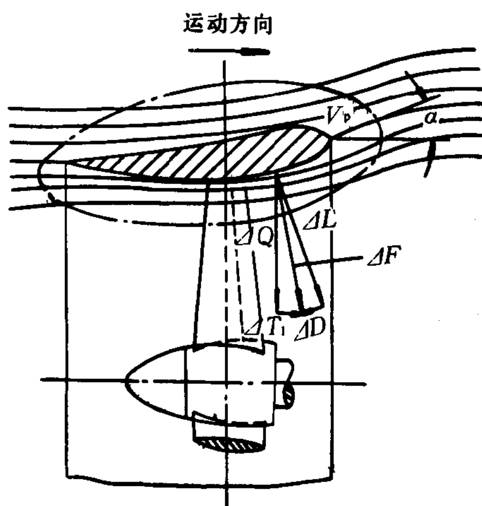


图 6.1.4—2 导管螺旋桨的原理

2.3.1 导管螺旋桨的节能原理

加设导管可改善螺旋桨周围的流场，提高推进效率，原因是：

1)安装导管后，螺旋桨叶梢部分的自由涡漩将转化为导管内壁的附着涡漩，而螺旋桨又处于导管内截面最小的位置，这样就加大了桨盘处的水流速度，但在桨盘后面，水流速度增加很小，因而又减少了螺旋桨尾流的收缩，这就提高了螺旋桨的敞水理想推进效率 η_{pi}。

2)由于导管内壁与桨叶叶梢之间的间隙很小(一般只有 0.005～0.010 螺旋桨直径)，所以限制了桨叶叶梢的绕流损失。

3)导管在流场中本身也能形成一定的推力，如图 6.1.4—2 所示，当冲角为 α 的水流以速度 V_p 流经导管的机翼形剖面时，其升力 ΔL 和阻力 ΔD 的合力为 ΔF。ΔF 可分解为径向力 ΔQ 及轴向力 ΔT_1，其中 ΔQ 沿整个圆周叠加后的合

力等于零，ΔT_1 与航速方向一致。它沿整个圆周叠加后形成导管的附加推力 T_1，即加装导管之后，船体的总推力 T_z 为螺旋桨推力 T 与导管的附加推力 T_1 之和。如果船舶的总推力一定，则加装导管之后，需要的推力 T 可以稍为减小。由螺旋桨的敞水理想效率的表达式

$$\eta_{pi}=\frac{4}{3+\sqrt{1+\frac{4T}{\rho AV_p^2}}} \tag{6.1.4—4}$$

可知，提高了螺旋桨的敞水理想效率。

试验表明：加装导管后所获的推力增量与螺旋桨的负荷大小有关。推力负荷系数越大，推力的增量越大。

采用导管螺旋桨，还有以下优点：

1）导管的存在减轻了斜流的影响，使螺旋桨的入流均匀平直，从而可以减轻由螺旋桨的入流不均匀所造成的激振力。

2）当船舶在波浪中航行而处于剧烈的纵摇状态时，导管可以消除水流的倾斜作用并减轻螺旋桨的出水程度。

3）由于导管螺旋桨的尾流较平稳，所以在浅水和狭窄航道中航行时，可以减轻尾流对河岸的冲刷作用。

4）导管对桨叶起着一种“防护”作用，可以有效地防止桨叶碰损。

2.3.2 导管螺旋桨的适用范围

螺旋桨负荷大的船舶，如拖船、拖网渔船及大型油轮等，其尾流载面收缩大，尾流能量损失也大，加装导管后减少的能量损失在数量上可以超过导管本身的阻力损失，这时采用导管螺旋桨的效果比较明显。一般认为，当功率系数 $B_p>40$ 时，采用导管螺旋桨有利。据统计，在大型油轮上采用导管螺旋桨后，可增加航速 0.3～0.4 节。对于某些具有中等螺旋桨负荷的船舶，导管设计恰当，也可获得一定的收益。对于一般的客、货船来说，由于其航速较快，尾流收缩较小，尾流能量损失不大，此时如果采用导管螺旋桨，导管本身的阻力增量就可能超过其形成的推力增量。

当船舶航速较高时（大于 18～20kn），导管本身和螺旋桨叶梢处均会产生空泡，推进效率将降低。

2.3.3 导管螺旋桨的新型结构

1）前置式导管螺旋桨

导管螺旋桨工作时，导管内桨轮叶梢涡空泡使导管内壁自顶端顺桨轮转向发生严重空泡剥蚀，影响导管螺旋桨的使用。为了解决这一问题，日本三井造船公司（MIDP）研制出一种整体式前置导管螺旋桨，如图 6.1.4—3 所示。

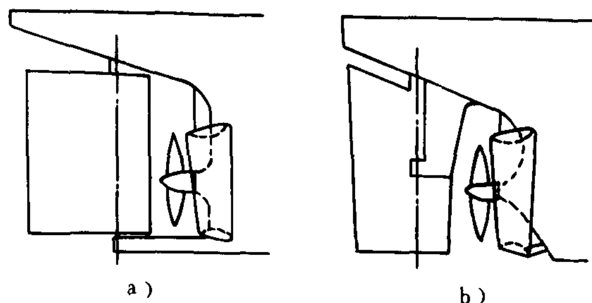


图 6·1·4—3 三井整体式前置导管螺旋桨
（a）安装于封闭式船尾；（b）安装于敞开式船尾

这是将一个环形的钢制导管固定于螺旋桨前方的尾部船体上，导管的形状需与船体形状相匹配。

前置导管使螺旋桨来流均匀，减小了船体阻力，它可以节省动力约 5％～10％，同时使螺旋桨的空泡区缩小、减轻了船体振动并改善了

船舶的操纵性，此装置适用于新造船舶和旧船改装，原有的螺旋桨不必改动，其安装工程简便。

2）上、下截面不对称的导管

常规型的导管对称于螺旋桨的轴线，导管的机翼形剖面沿整个圆周都是凸面向内。由此导管内部的流体压力低于导管外部的流体压力，使导管产生推力，同时在导管的上部产生回流。因此，装有导管螺旋桨的肥大型船舶，其尾部边界层的分离状况往往要比装有普通螺旋桨时更为激烈，使船舶推进性能和操纵性能下降，并引起船舶振动。

上、下截面不对称的导管螺旋桨（如图 6.1.4—4 所示），解决了这个问题。这种新型导管大体上也是一个与螺旋桨同心的圆筒形结构，导管上部的机翼型剖面是凸面向外，下部和两侧的机翼型剖面则是凸面向内的，两侧与上部之间以对称机翼型剖面过渡。导管用支柱固定于船体尾部与尾框架上，其后装置舵。

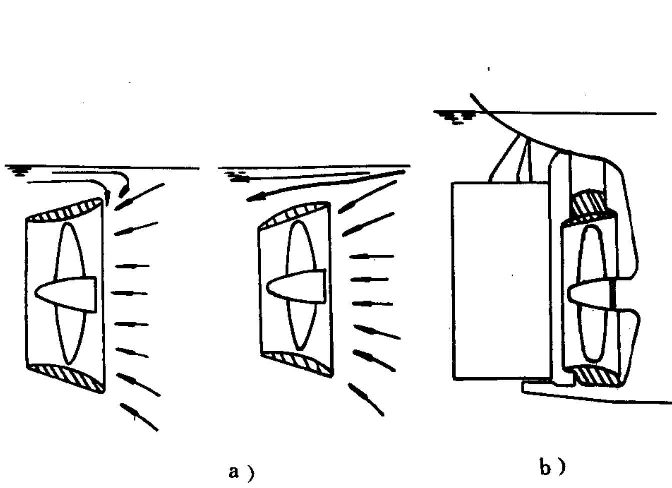


图 6.1.4—4　上、下不对称的导管螺旋桨
a）常规型导管螺旋桨；b）新型导管螺旋桨

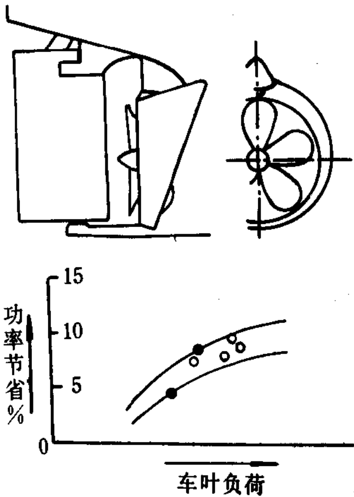


图 6.1.4—5　日立 HZ 型导管螺旋桨

这种导管上部的机翼型剖面向上方凸起，其上部水流的循环方向向左，它阻止了导管上部的回流，使肥大型船尾不产生边界层分离。

导管两侧及下部的机翼型剖面与常规者相同。

3）日立 HZ 导管[2]

图 6.1.4—5 为日本日立造船公司开发的一种 HZ 导管，其特点是螺旋桨未被全部包围，它改善了尾柱周围的不均匀流场，使船体阻力减少，提高了推进性能。同时，减少船体振动、漂浮物吸入及空泡量。载重量为 60000t、80000t 和 130000t 等船舶的功率节省、航速提高和油耗减少的船模试验结果见表 6.1.4—1。

表 6.1.4——1　HZ 导管对不同载重量船舶的节能效果

项目 \ 船舶尺度（t）		60000	80000	130000	170000
航速提高（节）	满载	0.18	0.33	0.35	0.35
	压载	0.25	0.17	0.30	0.25
功率节省（%）	满载	4	7	8	8
	压载	6	4	6	6
燃油消耗与节约	消耗量（t/d）	47.9	51	65.7	101.9
	节约（%）	5.0	5.5	7.0	7.0

2.4 可调螺距螺旋桨[1]

2.4.1 可调螺距螺旋桨的节能原理

采用可调螺距螺旋桨可使机桨得到最佳的配合，从而节约燃油。有关可调螺距螺旋桨的机桨配合见6.1.3.5调距桨推进装置的工况配合。

采用可调螺距螺旋桨后，大约可以节约燃油15%～20%。

2.4.2 可调螺距螺旋桨的适应范围

可调螺距螺旋桨适用的范围有：

1)需要经常灵活地前进、停车或倒退的船舶，如短途客货船、港作船、轮渡、扫雷舰、破冰船及救生船等；

2)途中需要经常改变航态及航速的船舶，如潜艇及捕鲸船等；

3)要经常通过运河、港湾与船闸的船舶；

4)要经常改变负载状况的船舶，如拖船、渔船等。

2.5 大侧斜螺旋桨[1]

大侧斜螺旋桨可缓和螺旋桨与船体伴流之间的相互作用、减小螺旋桨激振动。

侧斜角θ_s的定义见图6.1.4—6。根据定义，大侧斜螺旋桨桨叶的侧斜角应大于两相邻桨叶之间夹角的一半。所谓侧斜角，乃两个通过桨轴中心的径向矢量(一个指向叶梢，另一个与侧斜线相切)之间的夹角，而侧斜线则为通过各叶片剖面弦线中点的曲线，图6.1.4—7是常规叶片与大侧斜叶片的两种可调螺距螺旋桨与船尾之间的布置示意图。

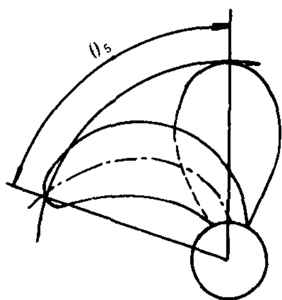


图6.1.4—6 侧斜角θ_s的定义

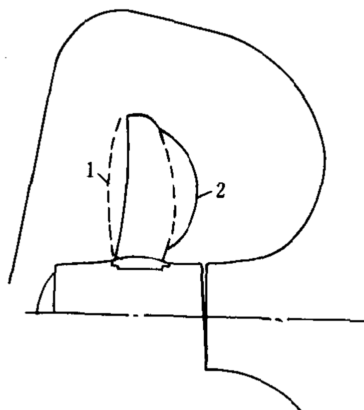


图6.1.4—7 常规桨叶与大侧斜桨叶的型式
1—常规叶型；2—大侧斜叶型

大侧斜叶型的主要优点为：

1)与常规对称叶型比较，大侧斜螺旋桨叶片和叶片支承上的动态应力小；

2)空泡起始(特别是在出现相当大的无空泡区的非均匀伴流场中)性能较常规螺旋桨有所改善，增加空泡分离速度，可以用更高的航速航行而不产生空泡。这对于某些舰船是极为重要的；

3)推力脉动较常规螺旋桨的小，对消弭轴系纵向振动和减小船体振动有一定效果；

4)适合于采用低转速、大直径螺旋桨。假如维持与常规桨所引起的相同程度的船体振动，则大侧斜螺旋桨的直径可增大10%，其转速约可降低15%，而螺旋桨敞水效率η_0约可提高

4%～5%。

大侧斜叶型的缺点是设计工作特别是在水动力计算方面比常规叶型复杂，制造困难，造价较高。叶片侧斜导致梢部的弯曲刚度降低，并使最大应力由壳部向梢部后缘迁移，在设计时必须特别注意。

2.6 串列螺旋桨[3][4][5]

串列螺旋桨是两只特定的、单独制造的普通螺旋桨安桨在同一轴上并同方向转动的推进装置。其中首先接受来流的一只(高舵较远者)称为前桨，通常，其螺距较小；另一只称为后桨，其螺距较大，前后桨相隔一定距离。我国已制定有4叶和3叶的6个系列的串列螺旋桨的设计图谱：CLAU3—30—1；CLB4—55—2；CLN4—40—2；CLB4—40—2；CLB4—55—1；CLB4—5540—1。其中“CL”表示串列，“AU”、“B”、“N”代表叶型，第一部分的数字表示前、后桨的叶数，第二部分和第三部分的数字分别为前、后桨的盘面比及前、后桨的螺距比差。例如CLB4—5540—1表示采用荷兰B型的桨叶剖面，4叶，前桨盘面比为0.55，后桨盘面比为0.40，后桨螺距比比前桨的大0.1。

2.6.1 串列螺旋桨的参数选择

1)桨距比

串列螺旋桨前、后桨盘面之间0.7R半径处的轴向距离和直径之比L/D称桨距比(见图6.1.4—8)，一般取L/D=0.20～0.25较适当，此时效率最高。

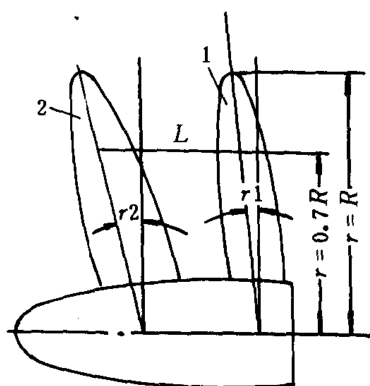


图6.1.4—8 桨距

1—前桨；2—后桨

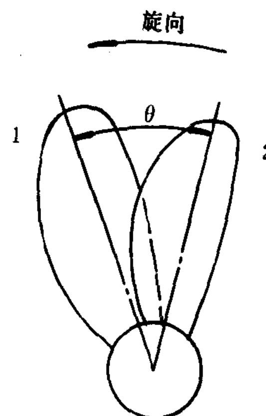


图6.1.4—9 叶错角

1—前桨；2—后桨

当使用普通螺旋桨的船改装为串列螺旋桨时，由于螺旋桨尾轴较短，使所安装的串列桨的桨距过小，这种场合可以适当地增加后桨的后倾角，使桨距比加大。但后倾角过大会对倒车不利。

2)叶错角

叶错角θ是指后桨叶滞后于相应的前桨叶之间的角度(见图6.1.4—9)。它和桨距比有关。一般认为，后桨处在前桨下滑的自由涡片之间时的叶错角最好。在设计时，最佳的叶错角可用下式计算：

$$\theta=\frac{\frac{L}{D}}{\frac{P_1}{D}}\times 360°\pm\frac{180°}{Z}$$

式中：$\frac{P_1}{D}$——前桨螺距比；

Z ——桨叶数。

3)前、后桨的直径比

由于串列桨的前、后桨始终以固定的叶错角同方向旋转，在较短的距离内，它们的梢涡一般不会相交，因此前、后桨的直径比通常为1。

4)前、后桨的螺距分布和配合

串列桨前后桨的径向螺距分布通常都取等螺距。

前后桨的螺距匹配为：

轻负荷时，前、后桨螺距比相差小一些好；重负荷下，前、后桨螺距比相差大一些好。前、后桨螺距比的差值减小可提高倒车性能。

5)后倾角

串列桨的后倾角通常和普通桨的后倾角相同。

如果改装使用普通螺旋桨的船舶的尾轴较短时，可增加后桨的后倾角来加大前、后桨之间的平均距离。此时，在半径0.7R处两个桨盘面轴向距离的增加量ΔL可按下式计算：

$$\Delta L=0.7R(\mathrm{tg}\gamma_2-\mathrm{tg}\gamma_1)$$

$$\frac{\Delta L}{D}=0.35(\mathrm{tg}\gamma_2-\mathrm{tg}\gamma_1)$$

式中：γ_1、γ_2 ——分别为串列桨前、后桨的后倾角；

D ——串列桨的直径，m

2.6.2 串列螺旋桨的敞水性能

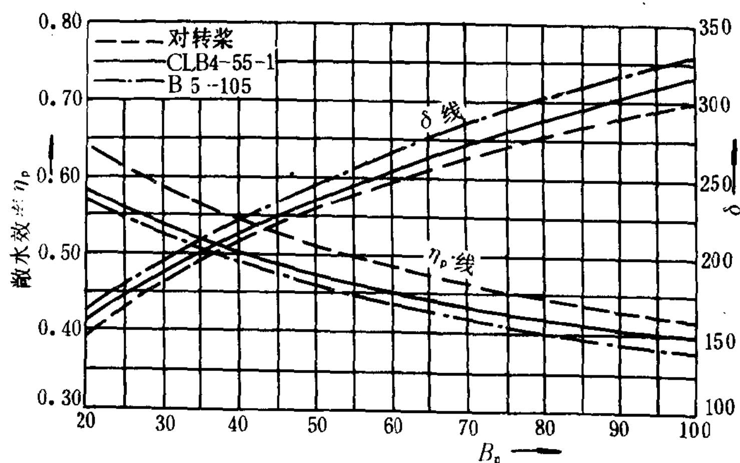


图6.1.4—10 三种螺旋桨敞水性能比较

图6.1.4—10示出了普通螺旋桨B5—105、串列螺旋桨CLB4—55—1和对转螺旋桨三种推进器的敞水效率η_0与功率系数B_p和直径系数δ的关系。这三种螺旋桨所取的盘面比，分别为1.05、1.1和0.96。从图中可以看出，在B_p=20～100的范围内，对转桨比普通桨的效率提高了8.5%～13.0%，串列桨比普通桨的效率提高了1.3%～3.7%。

如果以普通桨的最佳直径为基准，把直径分别减小10%和15%，三种螺旋桨的敞水性能如图6.1.4—11所示。由图可见，直径减小15%时，在B_p=25～100的范围内，与普通桨相比，

对转桨的效率可提高 15.9%～18.0%，串列桨的效率则提高 5.12%～7.12%。且随着直径受限制程度的增加，其效率的提高将更为明显，这对于吃水受限制的内河船舶是很有利的。

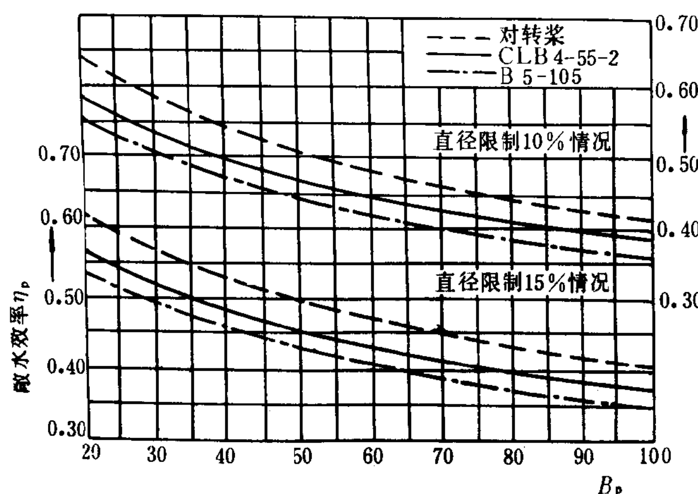


图 6.1.4—11　限制直径的情况下三种螺旋桨敞水情况的比较

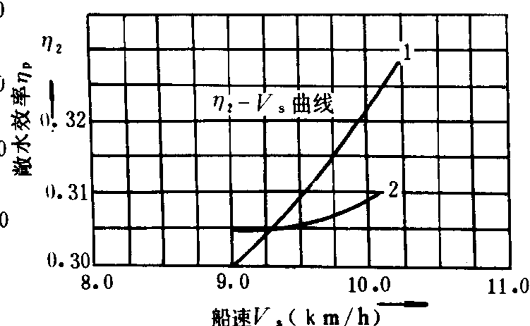


图 6.1.4—12　襄拖 139 号轮拖带工况下 η_z—V_s 的关系
1—串列螺旋桨；2—普通螺旋桨

虽然，在一定条件下对转螺旋桨的效率在三者中是最高的，但是它的结构相当复杂，造价也高。而串列螺旋桨的结构则比较简单。现有的船舶改装后能使敞水效率提高 3%～4%。

2.6.3　串列螺旋桨的实用情况

图 6.1.4—12 为襄拖139号轮的拖带效率 η_z 与航速 V_s 之间的关系，从中可见，在拖带航速为 10km/h 时，串列桨可节省功率 13.55%。

在一双桨客船使用串列桨时，在主机额定转速(750r/min)下，最高航速可达 18km/h，而使用普通桨时，只有在超负荷下(766r/min)才能达到这一航速，即串列桨的推进效率比普通桨提高了 6%左右。

大型海船上使用串列桨也有一定的效益，例如在一艘 5 万 t 油船上，其敞水效率可提高 2.8%。

3　舵及操舵系统的节能[1]

舵的型式、尺寸是否合理和它与螺旋桨配合的水动力性能是否良好，也是影响船舶节能的重要因素之一。

3.1　K—7 型舵

K—7 型舵由主舵和襟翼舵两部分组成，襟翼舵通过与主舵的动作相适应的连杆机构而组成一体(见图 6.1.4—13)。对应于主舵的最大舵角 35°，襟翼舵的转舵角为 90°。当舵角较小时，其主舵与襟翼舵的角度比增大，因此 K—7 型舵所受到的正压力与常规舵相比有所增加，这样就提高了小舵角时的回转性能，如图 6.1.4—14 所示。

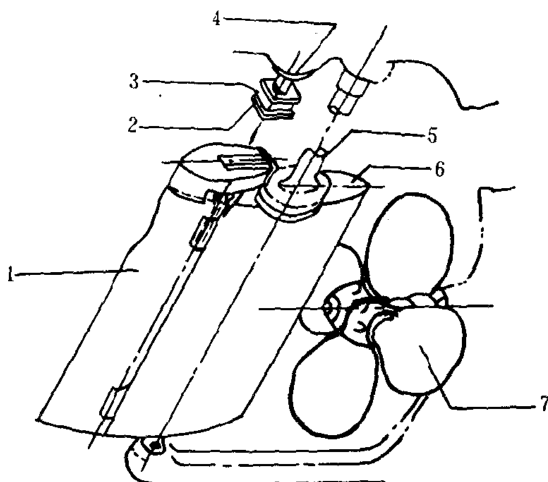


图 6.1.4—13　K—7 型舵的结构略图

1—襟翼舵；2—导向片；3—轨道；4—导向销；

5—舵杆；6—主舵；7—螺旋桨

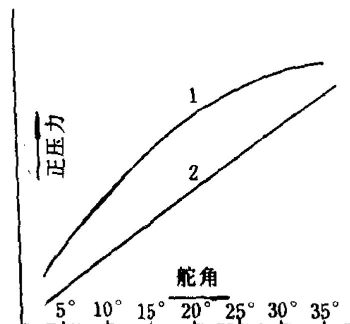


图 6.1.4—14　K—7 型舵与常规型舵的正压力比较

1—K—7 型舵；2—常规舵

K—7 型舵的剖面形状与普通舵相同，为左右对称的流线型，所以在转舵时，主舵与襟翼舵的流线形成机翼那样有翘度的形状。

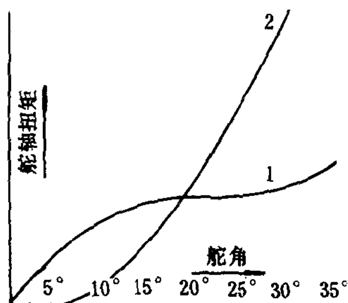


图 6.1.4—15　K—7 型舵与常规型舵的舵轴扭矩比较

1—K—7 型舵；2—常规舵

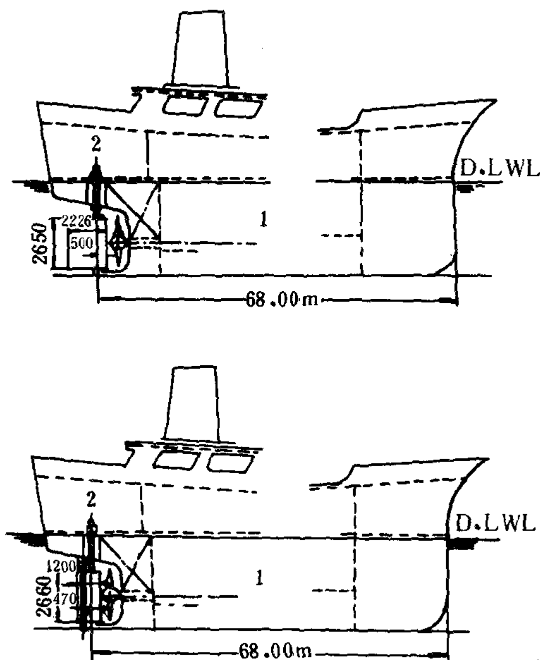


图 6.1.4—16　常规型舵与 K—7 型舵的装设情况比较

1—机舱；2—辅机舱

这种新型舵的性能特点如下：

1)其回转性能及航向稳定性能比常规舵有大幅度的改善，尤其在低速回转性能方面效果更好，它能适用于一般船舶及特种船舶。

2)与常规型舵相比，这种舵可以以较小的舵面积来获得较大的转船力矩，因此能减小船体

阻力，从而是一种节能型舵。同时，它又可以选取操舵力量比常规舵为小的操舵机械，所以又是一种省力型舵(见图 6.1.4—15)。

图 6.1.4—16 所示为 K—7 型舵在船尾的装设情况。

3.2 自动操舵系统

3.2.1 基本原理

航行中的船舶受到风、水流、浪等外力的作用，或者由于螺旋桨的各种横向力及双螺旋桨的不对称推力的作用，经常会产生偏航。在人工操舵时，舵工就需根据该船的回转性能，迅速确定压舵方向、舵角的大小和转舵速度，以随时纠正偏航。但是，实际航向与预定航向之间的偏差能否迅速减小，在很大程度上取决于舵工的经验和技术熟练程度。然而，海上航行的工况十分复杂，经常性的偏航以及为了纠偏而频繁地大幅度摆舵往往是难免的，这就必然会增加船舶前进的阻力和延长航程与航时，增加燃料消耗。

自动操舵，就是模拟人工操舵的规律，建立相应的数学模型，然后用微型计算机控制一个伺服系统，以实现自动调节。其数学模型为：

$$-\delta=C_1\varphi+C_2\frac{d\varphi}{dt}+C_3\int\varphi dt$$

其中 δ ——偏舵角，负号表示对偏舵方向与偏航方向的规定是相反的；

φ ——偏航角；

$\frac{d\varphi}{dt}$ ——偏航角速度；

C_1 ——比例系数；

C_2 ——微分系数；

C_3 ——积分系数。

C_1、C_2、C_3 三个系数反映了自动操舵系统的灵敏程度，可以根据天气、海况、水深、航速、装载等的变化而进行调节，以保证自动舵始终处于最佳工作状态。

$C_1\varphi$ 为操舵信号，用于消除偏航；$C_2\frac{d\varphi}{dt}$用于消除因船舶惯性而引起的偏航摆动角速度，以改善系统的动态品质；$C_3\int\varphi dt$ 用于修正由于风、水流、螺旋桨等恒值干扰力矩引起的固定偏航。

伺服系统根据仪器测得的偏航角 φ 和偏航角速度$\frac{d\varphi}{dt}$的大小、方向，以及船舶的转动惯量、负载情况、浮态、航速和风力、海况等参数，通过计算机来确定合适的压舵角 δ，并根据风、水流等恒值干扰引起的不对称偏航累积值，自动地压一个适当的固定舵角，使船舶保持在预定航向上作左右对称的微摆前进。

由于计算机在进行判断与计算时，速度和精度均远远超过人工操舵。自动操舵系统能迅速稳住船舶航向的瞬间偏摆，消除固定偏航，使实际航向与预定航向几乎可达到重合。这样，航向精度高，航行阻力小，可以缩短航程和航时，从而达到节能的目的。

3.2.2 自动操舵的节能效果

各类船舶在人工操舵时，都同样存在由于操舵而引起的推进能量损失，从而增加燃油消耗的问题。从理论上讲，各类船舶均可采用自动操舵系统来达到节能的目的。实际动用中，需考虑这项新技术的附加投资的回收期。

船舶自动操舵系统的平均节油率大约为2%左右[1](统计值)。

3.2.3 自动操舵系统的功能

下面简略介绍瑞典AERO——TELAW ATEW公司研制的ASAP Ⅱ型自动操舵仪。

1)自动保持设定的航向

(1)ASAP Ⅱ型仪配备了一个ATEW自由转子陀螺,其测量角速度的灵敏度达5×10^{-6} rad/s,一旦船舶发生偏航,它很快就能测出偏航角φ和偏航角速度$\frac{d\varphi}{dt}$,经计算机装置计算以后,立即将压舵指令传达给舵机。完成这个过程仅需零点几秒的时间,所以只需一个很小的舵角就可以把船舶控制在预定的航向上。当天气良好时,航向偏差可控制在±0.1度以内。

(2)应用自适应控制理论能够测量海况,并根据测量数据自动修正自动操舵系统的有关参数,以保证自动舵在各种天气状况和海况下都有良好的操纵性能。

(3)能与测量船速的计程仪联结,从而可以根据船速的增速自动调节系统的比例常数(舵角/偏航角)来保证自动舵在各种航速下都具有良好的操纵性能。

(4)能与回声探测仪联结,根据海域水深自动调节比例系数(舵角/偏航角),对于同样大小的偏航,在浅水区能给出更大的舵角,以补偿堤岸效应。

(5)能在30秒钟以内测定由于风、水流、船舶倾斜或双桨不对称推进而产生的作用于船体的外力,并能随时计算出舵板的新中位。

(6)如果船上装有双轴多普勒计程仪,则与ASAP Ⅱ相联结后,可自动跟踪海底航迹,以自动补偿船舶的漂移。

2)精确控制船舶回转角速度

船舶在改变航向时,航速明显下降。为恢复到满速,必然要多耗燃料。在航向改变比较频繁时,这项燃料消耗也是相当可观的。ASAP Ⅱ可以在改变航向之前就精确地选定并保持某一个合适的回转角速度,从而把船舶因转向而带来的航速降低限定在最小值。根据船舶的吨位和回转性能的好坏,ASAP Ⅱ可在1～100°/min之间选定五种不同的回转角速度,并使转向完成时的航向超调小于0.5～1°。因此,不但可以精确地控制船舶航向的改变,还可以用于内河船舶在狭窄航道的导航。

4 风帆助航、节省主机能耗[6][7][8]

从70年代起,英、美、日、苏、德国和荷兰等国相继开始了对现代风帆船舶的研究。其中英、美和德国等倾向于“帆主机从”的推进方式,其节油率最高可达90%,但是难度较大,至今尚停留在试验阶段。而日本等国则倾向于“机主帆从”的推进方式,这种风帆装置的单项节油率虽然只有10%～15%,但是难度较小,1980年8月投入实用的1600t的“新爱德丸”号油船即是机主帆从推进方式的装帆商船。该船装有2个矩形层流型硬帆,帆宽8m、高12.15m,合计帆面积194.4m^2,其操帆装置完全是自动化的,使用结果证实其性能良好。在此基础上,几年来,日本又陆续建造了不少的装帆商船,如表6.1.4—2所示,其中26000t的散装货船已于1984年11月竣工并航行于北美航线。此外,还建造有60000t的散装货船和80000t的油船等。

表 6.1.4—2　　日本已完成的装帆商船

竣工年月	船名	船种类	吨位(DWt)	船尺度 L×P×d(m)	帆数	帆面积(m^2 合计)	建造单位
1980.8	新爱德丸号	油船	1600	66×10.6×4.76	2	194.4	船舶技术开发公司
1982.4	爱德号	油船	1680	66×10.6×4.76	1	85	今村造船
1983.4	扇蓉号	散装船	2081	72×12.6×4.72	2	233	楢崎造船
1983.5	日产号	散装船	2098	72×12.6×4.72	2	233	佐佐木造船
1984.5	第一协荣号	油船	4894	95.8×15×7.8	1	216	桧恒造船
1984.10	KARUBIPO—TETO MARU	散装船	1480	71×13×3.6	1	96	三浦造船
1984.11	USUKI PIONEER	散装船	26000	152×25.2×10.57	2	640	臼杵铁工
1985.1	HAN YOU ·MARU	油船	1250	60×10.2×4.1	1	96	三荣造船
1985.8		化学品运输船	3150	77×14×5.6	1	150	船舶技术开发公司
1985.11		散货船	6500	99.95×17.5×7.1	1	220.5	船舶技术开发公司

4.1 风帆装置的类型

1)矩形层流型刚性硬帆

图 6.1.4—17 为矩形层流型刚性硬帆的简单结构，图 6.1.4—18 为“新爱德丸”船舶的总体布置。用微型计算机控制帆的开合和旋转，并根据风向可随时使帆转到能够获得最大风能的位置。同时，在保持规定航速的前提下，根据帆所提供的推进功率之大小，相应地减少主机的输出功率。采用这一措施后，燃油节省率可达 10%左右。要求主机运行的功率下限为其最大持续功率的 50%，当主机功率不到此限值时，为了不使其输出功率减少，此时，船速闭锁控制即自动解除，船速就增加。

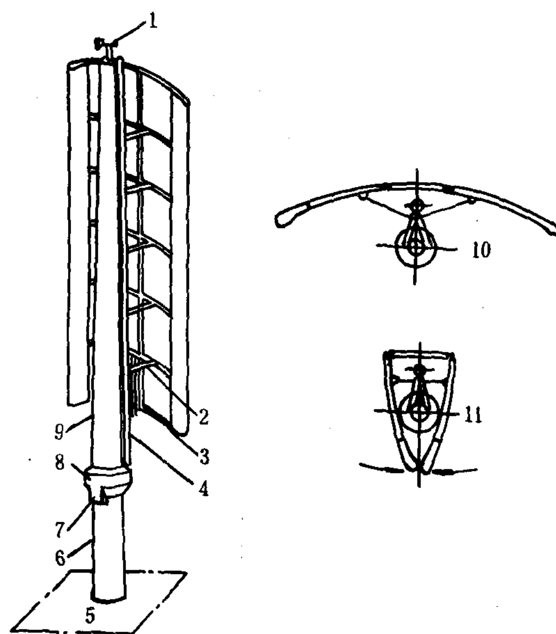


图 6.1.4—17　矩形层流硬帆结构

1—风向仪及风速计；2—杠杆；3—液压油缸；4—立柱；5—上甲板；6—固定桅；7—液压马达；8—转台；9—转动桅；10—帆展开；11—帆收拢

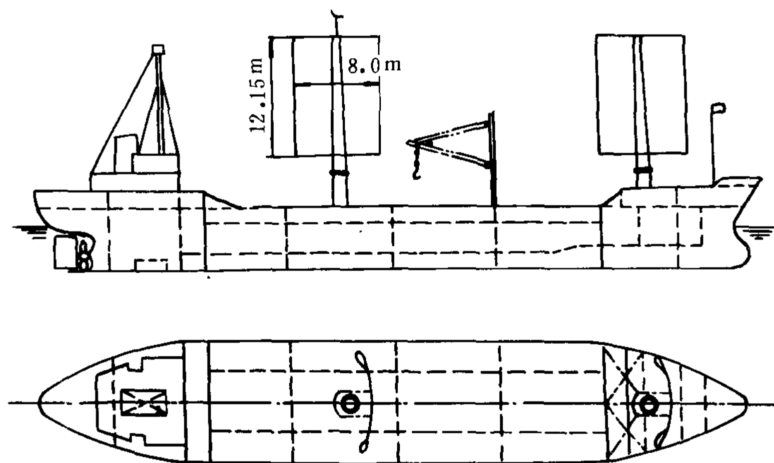


图 6.1.4—18 "新爱德丸"号船帆的总体布置

与层流型剖面的硬帆相类似的还有圆弧型、机翼型和卧背型，如图 6.1.4—19 所示。其中又分为有端板的和无端板的两类。

日本对这几种形状的帆作过系列试验，结果是：

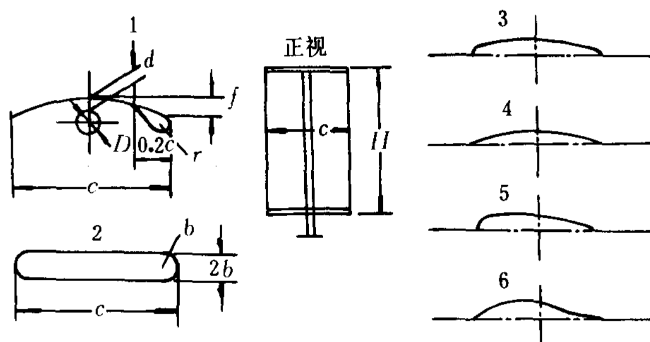


图 6.1.4—19 帆的几种剖面形状

1—帆剖面；2—端板；3—层流型；4—圆弦型；5—机翼型；6—卧背型

(1)不同剖面形状的风帆在推力性能方面的优良次序为：层流型＞圆弧型＞机翼型＞卧背型。

(2)帆剖面的拱度对推力性能影响很大，当拱度比 f/C 增加时，升力系数 C_L 增大，同时阻力系数 C_D 也增大，但影响要小得多。

(3)前缘半径 r 对硬帆的推力性能影响也很大，当没有前缘半径时，推力系数 C_X 增大。

(4)当展弦比增大时，弦阻力系数 C_D 减小，而升力系数 C_L 趋于增大。

$$升力系数\ C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2}\rho V^2 S}$$

$$阻力系数\ C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho V^2 S}$$

式中：F_L ——与相对风速方向垂直的升力；

F_D——与相对风速方向同向的阻力；

ρ ——空气密度；

V ——风洞试验段风速(即相对风速)；

S ——帆的特征面积(S＝HC，H 为帆高，C 为帆弦的弦长)。

2)WALKER 风帆

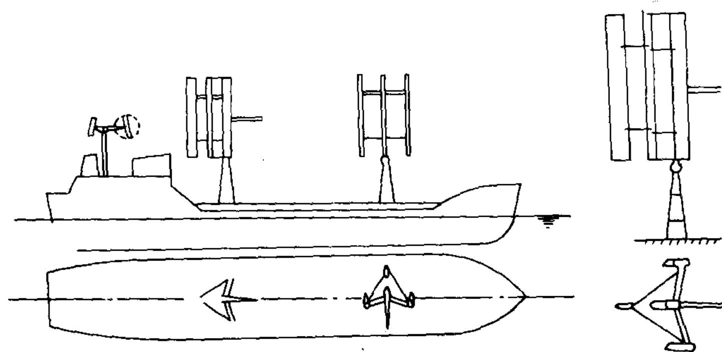


图 6.1.4—20 WALKER 风帆的结构外形

这是一种机翼型风帆，也是迄今为止最有效的一种风帆推进装置，其结构外形示于图 6.1.4—20。它安装在一艘 1560 吨的 ROBOTHAM 号油船上，帆高约 12.5m，它是由两个相互靠得很近的对称机翼组成，升力系数很高($C_L=3.0$)。帆具的操作用微型计算机控制，并与主机相配合，以达到节能的效果。

3)转柱帆

这是一种完全利用 MAGNUS 效应的帆具，1979 年瑞士对一艘拟建造的 STALLAN 号转柱帆船做了系统的风洞试验和水上船模试验。1983 年美国风力发展中心在一艘 18 吨的“追踪号”船上安装了一个转柱帆(见图 6.1.4—21)。船行试验结果，在关闭主发动机和在 27.78km/h风速的条件下，利用转柱帆可获得 11.11km/h 的航速。转柱所需的功率约为输出功率的 10%。若将转柱帆与功力推进相结合，估计可使该船节省燃料 10%～30%。

转柱帆具有很好的空气动力特性，对 FLETTNER 转柱来说，其转速与风速之比大约可达到 5，则其升力系数 C_L 为 9 左右。

实际的转柱为了获得与二维转柱相接近的空气动力特性，圆柱顶部安装了端板，其升力系数增加 50%。端板的直径约为转柱直径的 1.7 倍。

由于转柱的升力系数大，因此它比普通帆翼的帆面积要小，预计转柱帆面积大约只需普通帆面积的 1/5～1/7。另外，转柱帆还具有噪声低和振动小的优点。

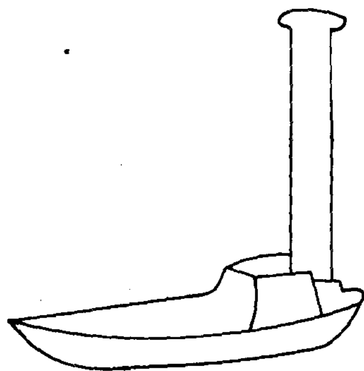


图 6.1.4—21 安装转柱帆的追踪号船

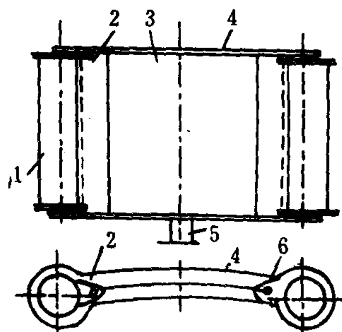


图 6.1.4—22 转柱——帆翼组合帆

1—转柱；2—导流板；3—帆；4—端板；5—支柱；6—圆筒转帆

在转柱帆的基础上派生而得的转柱——帆翼组合帆(图 6.1.4—22)和转带帆(图 6.1.4—23)等。前者是由两个转柱和刚性或半刚性的翼形帆所组成，其中帆翼可收放、两个转柱安置在帆翼的两侧边缘，由于转柱的作用，使其中的普通帆翼能获得更高的空气动力性能。

据苏联的研究表明，在一艘5000t的油船上安装两台这种装置，航速为13kn时可节省燃料26%左右。

转带帆也是利用MAGNUS效应而研制的，由于转带的作用，能获得更好的性能。

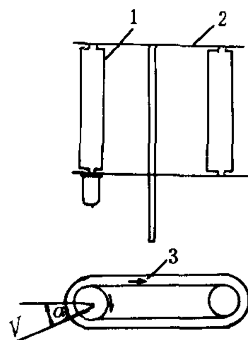


图6.1.4—23 转带帆

1—转柱；2—端板；3—转带

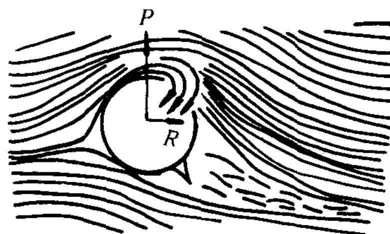


图6.1.4—24 涡轮风帆的作用原理

4）涡轮风帆

涡轮风帆是采用强力控制边界层分离的措施，利用圆柱两侧的吸气装置（图6.1.4—24）使升力系数提高到5.6～6.0。圆柱两侧的吸气孔可根据需要而推开或关闭，推开一侧吸气孔后，该气门装置在圆柱后形成一个尾翼，并能额外提供推力。由于圆柱表面吸气是由圆柱顶部处安装的一台涡轮风机所产生，故称涡轮风帆。这种依据强力吸气和喷气控制边界层的原理，是提高风帆空气动力性能的一种有效途径。

风洞试验表明，一艘800t的船，在横向风速12m/s的作用下，如果装设两个涡轮风帆，它暴露于风中的总面积为150m²时，可获得12节的航速。如果使用普通的翼帆，为了获得同样效果，则需要有4倍于圆柱的帆面积。

法国建造的一艘ALCYONE号涡轮风帆船，其半载排水量为76.8t，采用两台114.66kW的柴油机，抽吸空气的风机是由两台18.38kW液压发生器驱动，安装有两个高10.2m、表面积为21m²的涡轮风帆。船是铝合金制成，重约1600kg。实船试验表明，在大约46km/h的有利风速下，其节能效果可达55%～60%。

5）其他型式的风力推进装置

利用风力推进船舶的方式还有风车船。风车船是将风车装到船上提供动力并与螺旋桨直接连接推动船舶，它的最大优点是能完全在顶风的条件下工作，但是对大船则要求有很大直径的风车等，受到限制。

4.2 现代风帆的控制

现代风帆，采用了电子计算机的自动控制系统，例如日本的第一艘现代风帆助航船“新爱德丸号”共配备了五台计算机，即：

1）自动操帆计算机；

2）主机、可调螺距螺旋桨自动负荷控制计算机；

3）航运管理手操计算机；

4）确认稳性计算机；

5）电子劳兰。

其操作程序为：出港之前，船长把各舱的装载量输入稳性计算机内，通过计算机可详细地知道该船的有关要素。其中的排水量比，作为航运管理手操计算机计算基础的数据。当向计算机输入航行距离、所需航时、潮流、风向和风速等数据后，就能从终端打印出所需要的航速、主机功率和到港时刻。

根据这些资料，船长就可以决定航速。当船进入巡航状态时，首先调整功率，使船以选定的航速航行并按下计程仪按扭。在此基础上，风帆依照许可条件张帆，通过操帆计算机就可得知风帆的推力。

因主机自动负荷计算机可控制船速保持不变，故从风帆获得推力的信息后，便使主机输出功率自动降低，并自动操纵以减小螺旋桨叶片的螺距。

电子劳兰是在明确显示出船位的同时，还可以算出船舶的对地速度，并根据此速度调节船舶对水的相对速度。

自动操帆计算机，按风速、风向的每 5 分钟的平均值进行计算，然后将数据送入按预先的实验数据所编制的计算程序中。根据计算结果，启动油压装置，使帆转到最佳位置。

4.3 现代风帆船的实航效果

1）节能效果

采用“机主帆从”的推进方式，当航速不变时，主机的输出功率一般可减少 10％～20％。以“新爱德丸号”船为例，当平均航速为 11.04kn，风速为 15m/s、风向角为 70°时，从收帆状态到张帆状态，主机功率可减少约 12％，而航速提高了 1.4kn。

日本 USUKI PIONEER 号船在平均航速为 12 节时，燃油消耗量为 14.93t/d，而相应的无帆船舶的燃油消耗量为 19.5～20t/d，即加帆后每天可节约燃油 4.57～5.07t，约合 23％～25％。

2）对稳性的影响

现代风帆对稳性不会有太大影响。“新爱德丸号”在 1981 年 6 月 21 日前往台湾高雄、基隆港的途中遭遇了台风，当时最大风速达 30m/s，最大浪高达 8m，但其横倾角仍然小于 2.5°，纵摇也很小。其摇摆和颠簸远较一般船舶为小。这完全消除了人们关于“在强风下，风帆助航船的稳性难以保证”的疑虑。

5 轴带发电机[1][2][3][4]

所谓轴带发电机，就是由船舶主机通过功率输出装置（PTO）来驱动发电机，以满足航行时船上的电力需要。

5.1 轴带发电机的节能原理

柴油机的功率 P_e 与转速 n 大体上成线性关系，按螺旋桨推进特性工作时，螺旋桨所消耗的功率 P_B 大约与其转速的三次方成正比关系，即

$$P_e = Cp_{em} \cdot n \approx C'n$$

$$P_B = C'' \cdot n^3$$

式中： p_{em}——柴油机的平均有效压力；

C'、C''——常数。

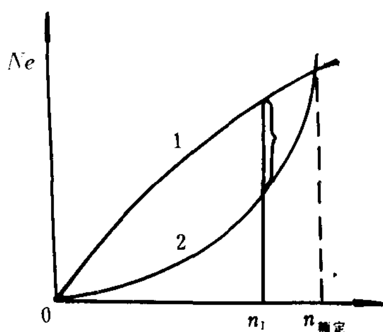


图 6.1.4—25　特性曲线的比较

1—速度特性曲线；2—推进特性

与螺旋桨直接相连的柴油机，在部分负荷工况下，柴油机必须减少循环喷油量，使其 p_{em} 降低，以便与螺旋桨所消耗的功率相适应，达到稳定运转。这时柴油机具有较大的功率储备，如图 6.1.4—25 所示。柴油机在低负荷下工作时，其经济性较差。

如果在船上利用主机轴带发电机，就可以充分利用主机的功率，这时：

$$P_B + P_E = P_e$$

式中：P_E——轴带发电机所需的功率。

5.2　轴带发电机的效益

主机轴带发电机具有以下优点：

1）油耗降低：这一方面是由于柴油机在较高负荷时，经济性高；另一方面，由于主机代替了电站柴油机，而主机的经济性一般要比电站柴油机的高。

2）主机可以使用比电站柴油机较差的燃料，从而进一步降低了燃料费用。

3）可以减少电站柴油发电机组的台数，从而减少了初置费、维修费和润滑油费。

中、大型船舶装备轴带发电机装置，动力装置效率可提高 2%～4%，发电成本比柴油发电机组的约低 50%。一般轴带发电机的价格约为柴油发电机组的 1.2～2 倍，同时还有初投资费差额的利率。因而，对轴带发电机的采用，须从耗油率和燃油差价、总的维修费用的减少、机舱噪音的降低以及增加的额外初投资和所占空间等几方面进行比较后确定。

5.3　轴带发电机的频率控制方式

主机驱动可调螺距螺旋桨（CPP），其推进系统采用轴带发电机时，因主轴转速都能保持不变，所以轴带发电机的频率与电压是稳定的。

主机驱动定螺距螺旋桨（FPP）的推进系统采用轴带发电机时，主机工况变化，将直接影响轴带发电机的转速，使频率与电压都不稳定。解决这一问题的办法有：

1）频率变动型

这种型式的轴带发电机系统，允许电流的频率有所变动。为消除频率变动的影响，可采取的措施有：

（1）把轴带发电机的使用时间限制在主机大致以匀速运行的范围内；

（2）将配电线路分成两个独立的部分，当频率变动过大时，则由其它发电机供电。

工况变动太大的船舶不宜采用这种轴带发电机系统。

2）频率变换型（稳频型）

这种系统是通过电的或机械的方法来修正由于主机转速改变而引起的频率不稳定，其方式有：

（1）可控硅逆变器方式

轴带发电机的频率变化的电流通过整流器（例如硒整流器）变成直流电流，再经过可控硅逆变器变换成频率一定的三相交流电供给船内电网。

（2）电磁滑差离合器方式

这是由输入转筒、输出转筒和励磁线圈等组成的一种电涡流连接器。它利用控制励磁线圈

的励磁电流可以调节输入转筒和输出转筒的相对速度差。如果输入转筒的转速下降就加强励磁，反之就减弱励磁，这样便能保持输出转筒的转速一定。

(3)液压泵方式

这是由油压泵和油压马达组成的能量转换装置，主机带动油压泵，由油压马达驱动轴带发电机。一旦输入轴的转速变动，轴带发电机的电流频率就会出现变动，检测出此频率变动后，控制油压泵的输出量，便能改变油压马达的转速，从而抑制了频率的变动。

(4)液压多片离合器方式

这种液压多片离合器，当输出轴的转速升高(或降低)到高于(或低于)给定值时，其升高(或降低)值用离心力检测，并经液压机构使多片离合器的滑动增多(或减小)，结果使输出轴的转速能保持给定值。

(5)恒速传动齿轮装传动方式

这种装置是用机械的办法把变动的柴油机转速转化为受控制的恒速。在42%至超负荷的柴油机功率范围内(即75%～104%的螺旋桨转速)，都可以从功率输出轴(PTO)输出动力，再通过所谓的恒速齿轮装置(CON—SPEED GEAR)传动发电机。图6.1.4—26为SULZER—SLM恒速齿轮装置的结构原理图。图中左半部分的行星齿轮系中的太阳轮1、系杆H和齿圈3的转速关系为：

$$n_1=n_H(1+\frac{Z_3}{Z_1})-n_3\frac{Z_3}{Z_1}$$

式中：Z——齿数。

图中右半部分的行星齿轮系中各构件的转速关系为：

$$n_5=\frac{n_1Z_4+n_HZ_6}{Z_4+Z_6}$$

上式表明输出轴的转速 n_5 可由 n_1 和 n_H 决定，而 n_1 又可由 n_H 和 n_3 决定。因此，在轮系输入轴的转速 n_H 发生变化时，只要相应地改变 n_3，就可以使得 n_1(即 n_4)的改变与 n_H 的变更相协调，并保持输出轴的转速 n_5 恒定不变。也即可以把变动的柴油机转速变为受控制的恒速。

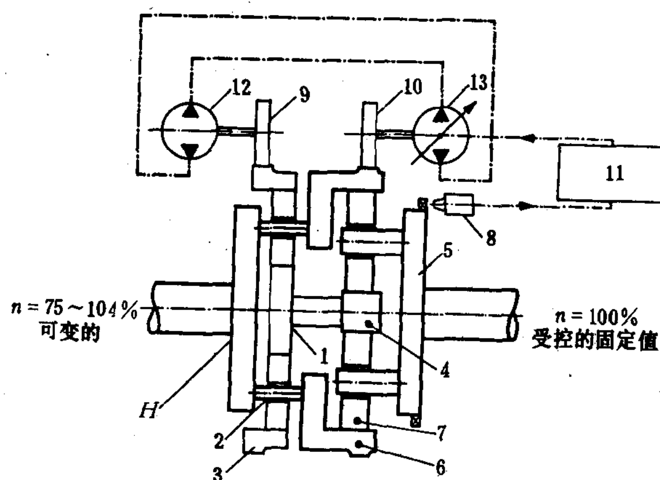


图6.1.4—26 SULZER——SLM恒速齿轮装置

H—输入轴；2—行星齿轮；3—齿圈；1、4—中心轮；5—输出轴；6—齿圈；7—行星齿轮；8—转速传感器；9、10—齿轮；11—控制器；12—受控液压马达；13—可变液压泵

在这一系统中，n_3 的改变是通过受控的液压马达12所驱动的齿轮9(与齿圈3相连)的转

速改变来实现的。此转速由可变液压泵 13 的排量来控制。而可变液压泵的液体排量则根据转速 n_6(即 n_H)和控制器 11 依照转速 n_5 变化的检测信号所发出的指令来改变。也即当 n_H 发生变化的同时,通过调整齿圈 3 的转速 n_3,而使中心轮 1 的转速 n_1(即 n_4)相应改变,最后达到转速 n_5 保持不变。

恒速齿轮装置与主机的功率输出装置(PTO)和发电机的联接方式,如图 6.1.4—27 所示。它的特点是效率高、不需要电子动力设备、维修极少、瞬变响应良好且速度控制准确,以及可以与其他发电机关联等。

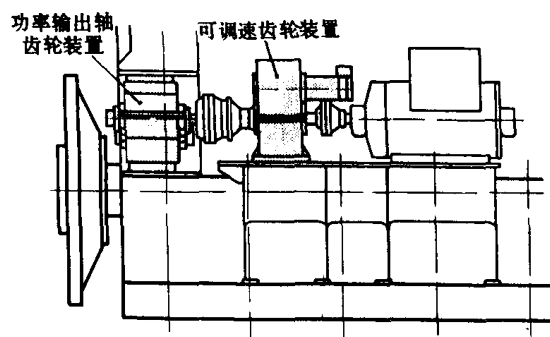


图 6.1.4—27 PTO—CON—SPEED 齿轮装置的联接

5.4 轴带发电机的类型

轴带发电机有两种类型,一种为低速发电机,一种为高速发电机。低速型发电机的安装方式分机前挂装式和轴装式。前者直接安装在主机前端,定子固定在机架上,转子固定在曲轴法兰上;后者安装在中间轴上。B&W 公司设计推荐的低速型发电机可以在转速为额定值的 100%～70%中保持表 6.1.4—3 所列的功率;而高速型发电机可以置于机旁,通过链传动及增速齿轮组和行星齿轮恒频装置传动。B&W 公司设计推荐的高速型轴带发电机,在主机转速为额定值的 100%～70%情况下,配机功率如表 6.1.4—4 所列。

表 6.1.4—3 B&W 公司低速型轴带发电机配机功率

L90 MC/MCE	L80 MC/MCE	L70 MC/MCE	L60 MC/MCE	L50 MC/MCE
kW	kW	kW	kW	kW
2600	2600	2600	2200	0
2200	2200	2200	1700	1700
1700	1700	1700	1450	1450
1300	1400	1450	1200	1200
1000	1200	1200	1050	1050
800	950	1050	850	850
600	750	850	650	650
400	500	500	525	525

表 6.1.4—4 B&W 公司高速型轴带发电机配机功率

L90 MC/MCE	L80 MC/MCE	L70 MC/MCE	L60 MC/MCE	L50 MC/MCE
kW	kW	kW	kW	kW
1400				
1100	1100	1100	1100	1100
860	860	860	860	860
660	660	660	660	660
550	550	550	550	550
480	480	480	480	480
330	330	330	330	330
200	210	210	210	210

5.5 功率分配

一般，轴带发电机的输出功率约占主机额定功率 MCR 的 6%～10%。图 6.1.4—28 所示为 B&W 公司推荐在 L—MCE 机轴带发电机的输出功率为 6%MCR 时的载荷曲线，选取在 100%的转速时，推进功率从 MCR 降低 6%的确定值，作出推进曲线①，通过 MCR 的推进曲线②是船体污底以后的推进功率曲线。曲线③和④分别为曲线①和②工况时加上 6%MCR 轴带发电机功率的主机输出功率曲线。这些曲线都在 B&W. L—MCE 机的容许范围内。

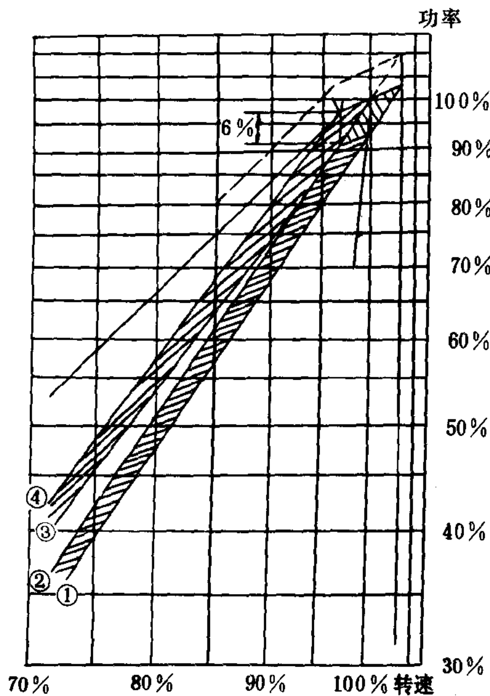


图 6.1.4—28 L—MC/MCE 机加装轴带发电机后的载荷曲线

5.6 轴带发电机运行中若干情况的处理

船舶在运行过程中，遇到移泊、紧急停车和紧急倒车等情况时，将涉及到轴带发电机与柴油发电机组带电转换和并联运行的问题。现代大、中型船舶多数采用主机直接连接推进器和交流发电机体制，它们在各种工况下的转换问题与转换方法如下：

1)移泊

进、出港口和靠离码头时，不使用轴带发电机，由柴油发电机组供电。

2)并联运行和带电转换

轴带发电机和柴油发电机组并联运行比较复杂，只有在轴带发电机系统中的频率变换器之控制电路具有与调速器相同的特性时，方能长期并联运行。因此在选用轴带发电机时，一般不考虑连续并联运转的要求，只需满足在带电转换时的短暂并联即可。

船舶在航行中，有时需要临时停车，或者进出港时，须考虑与柴油发电机组进行带电转换。此时，主机转速下降到额定值的 60%之前能够起动柴油发电机组。带电转换必须在主机额定转速的 60%～103%的范围内方可进行，不设置频率变换器的轴带发电机不能带电转换。

3)紧急停车和紧急倒车

航行中有时会碰到紧急停车和紧急倒车的情况，此时，主机的转速将急剧下降。这就要求车钟信号和遥控手柄联动，使柴油发电机组自行紧急起动，并在其转速达到额定值时，即进行带电转换。转换的办法有两种：一是主机转速降到 60%额定值以下，而向柴油发电机组的转换尚未结束，则采用失电转换；另一种是维持主机转速为额定值的 60%，直到向柴油发电机组转换结束后，再急剧降低主机的转速。

当来不及带电转换，主机又非立即停车不可时，就只能使用应急电源，以供全船的通讯、导航、操舵及必要的照明等对电能的急需。

6 船舶动力装置余热的利用[5][15][16][17][18]

目前船舶柴油机的耗油率最低的已达157.6g/kW·h,相应的有效热效率达53%。合理而有效地利用柴油机的排气和冷却水中占柴油机耗油热量的50%左右的余热,将是今后船舶动力装置节能工作的重点。

6.1 船舶余热利用的合理性

6.1.1 热能转换的烟平衡

图6.1.4—29为热量分析。根据热力学第一定律其热平衡方程为:

$$\Sigma E_1 = \Sigma W + \Sigma E_2 + Eq$$

式中: ΣE_1 ——加入体系的总热能;

ΣW、ΣE_2 ——输出体系的功和热能;

Σq ——总的热损失。

相应的热效率为:

$$\eta_t = \frac{\Sigma W + \Sigma E_2}{\Sigma E_1} = 1 - \frac{\Sigma q}{\Sigma E_1}$$

这种传统的热平衡概念只是把不同质的能量在数量上加以平衡,它只考虑系统外部的热损失,其热效率不能全面深刻地反映热能利用的效果。近代采用烟(可用能)平衡概念,以图6.1.4—30所示的体系为例,其烟平衡方程式如下:

$$\Sigma EX_1 = \Sigma W + EX_2 + \Sigma \Pi$$

式中: ΣEX_1、ΣEX_2 ——分别为输入和输出体系的总烟值;

$\Sigma \Pi$——体系内、外部不可逆性引起的总烟损失;

ΣW——输出体系的功。

相应的烟效率为:

$$\eta_{EX} = \frac{\Sigma W + \Sigma EX_2}{\Sigma EX_1} = 1 - \frac{\Sigma \Pi}{\Sigma EX_1}$$

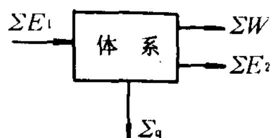


图6.1.4—29 热量分析体系

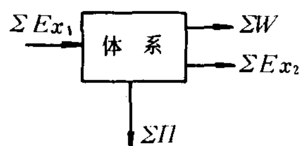


图6.1.4—30 烟分析体系

烟平衡是同质(品质)能量的数量平衡,它全面考虑系统的内、外部不可逆性引起的烟损失。烟效率比热效率低得多,它真实反映热能的利用程度。因此,热能的利用应当是安排好烟的利用。

6.1.2 按质利用热能

能量有数量和质量方面的差异。不同质的能量，其动力利用的价值不同。以起居室供暖为例，如果在室外大气温度 $t_0=-10℃$，室内供暖并保持 20℃的室温（t_H）的条件下，采用不同的供暖方式，其结果为：

1）用 $p=1.5MPa$（绝对），$t_a=200℃$的饱和蒸汽作热源。

其㶲效率为

$$\eta_{EX}=\frac{\text{收益的㶲}E_X'}{\text{消耗的㶲}E_X}=\frac{Q(1-T_0/T_H)}{Q(1-T_0/T_a)}$$

$$=\frac{1-(273-10)/(273+20)}{1-(273-10)/(273+200)}=0.234=23.4\%$$

2）用温度为 450℃的柴油机排气直接作供暖热源，则其㶲效率为：

$$\eta_{EX}=\frac{1-(273-10)/(273+20)}{1-(273-10)/(273+450)}=15.3\%$$

3）用温度为 40℃的热水作供暖的热源，则其㶲效率为：

$$\eta_{EX}=\frac{1-(273-10)/(273+20)}{1-(273-10)/(273+40)}=64.3\%$$

可以看出：以不同品质的热能作供暖之用，其㶲效率的差别很大。由于供暖需要的是低品质的热能，因此，用 40℃的热水这种相应的低品质的热能作为热源就能满足，这种利用热能是最合理的。供与求的能源品质应匹配，否则，形成“高级能作低级用”的不合理用能情况，使㶲效率降低，这是一种严重的浪费。在考虑柴油机余热的利用时，应该充分注意这种情况，详细制订逐级串联，分级使用的合理的综合用能方案。

6.2 船舶柴油机动力装置的能量分配和余热的组成

柴油机有效利用的热能，一般为其输入燃油热能的 40%～50%，其余的热能被排气、冷却水和其他项目的损失所带走。废气涡轮增压柴油机排气带走的热量约占 30%，冷却水带走的热量约占 20%（见图 6.1.4—31 和图 6.1.4—32）。设法利用废气和冷却水的余热具有很大的经济效益。冷却水的温度较低，热能的品位低，其㶲值只占动力装置中全部#的 1.2%左右。废气的温度高，热能的品位也高，其中的㶲约占动力装置全部㶲的 10%以上。因此，利用柴油机余热的重点是最大限度地利用排气的余热。

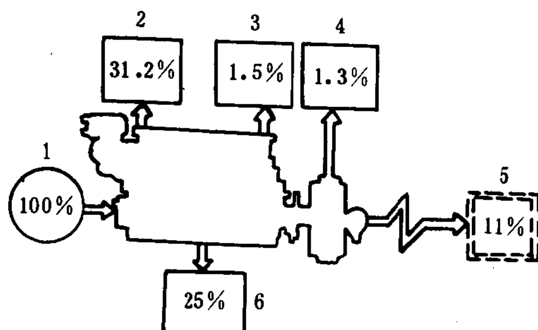


图 6.1.4—31　12PC2—5 柴油机的热平衡图

1—燃料；2—排气；3—放热；4—发电机损失；5—电力；6—冷却水（包括润滑油、空气冷却、射流冷却）

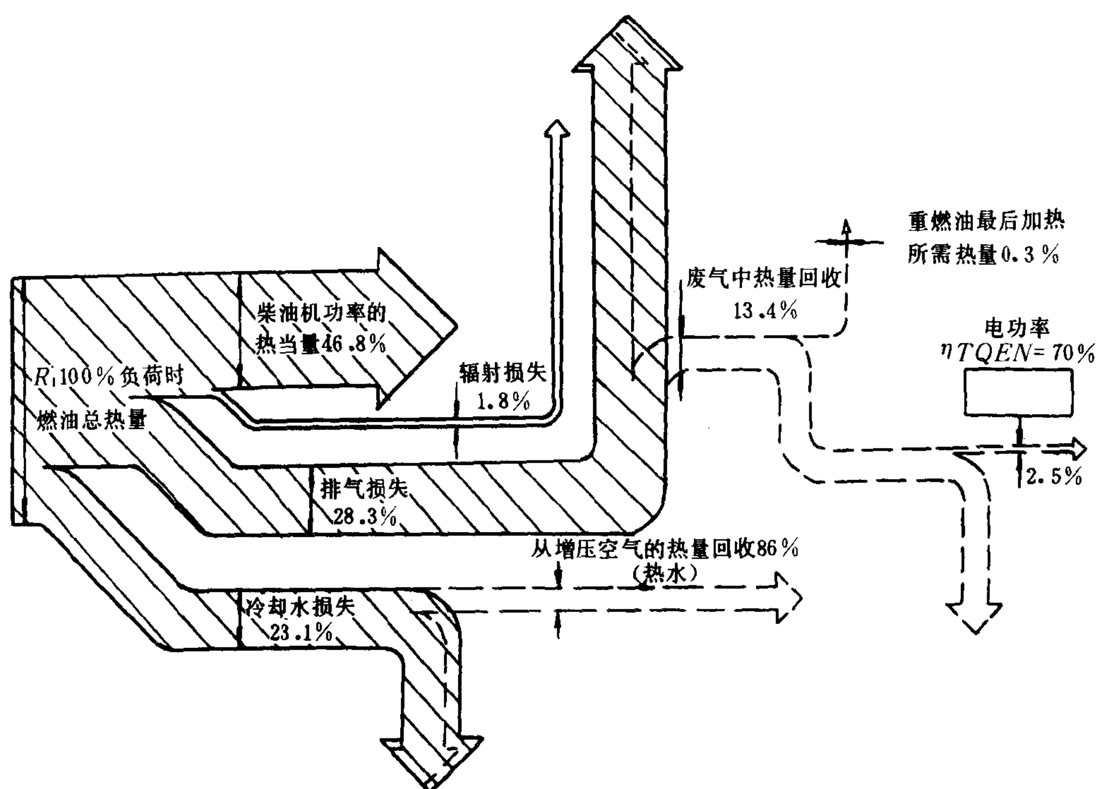


图 6.1.4—32 Sulzer RTA58 柴油机 100%负荷时的热平衡图

6.3 船舶柴油机余热的回收方法

6.3.1 余热蒸汽涡轮发电系统

船舶柴油机一般在 50%负荷以上时，排气的能量除供应涡轮增压器外，还可利用来发电，即采用余热蒸汽发电机组（T/G 装置）以解决航行中所需的电能，剩余的低质余热再回收满足供热的需要。目前使用 5800～7350kW 的船用柴油机，其余热发电已能满足全船航行中的用电需要。

图 6.1.4—33 为 12PC2—5V 型柴油机采用二级循环废气锅炉的蒸汽涡轮发电系统。柴油机排气先引入涡轮增压器作功，从此排出的废气温度为 365℃，再顺次作为蒸汽过热器、高压蒸发器、低压蒸发器和再热器的热源。废气锅炉采用二级循环，第一级低压（4～6 表压）产生供热蒸汽，第二级高压（7～16 表压）产生供汽轮机发电的蒸汽。这种二级压力式废气锅炉的过热器，高、低压蒸发部及预热部各自的受热流体分别为蒸汽、汽水混合物及高温给水。

本系统的给水系统与单级压力式不同，给水离开预热部之后，一部分经低压蒸发部回到阶式水柜。控制流入蒸发部的给水量使预热部的给水温度保持在 90℃左右。

低压汽水分离器的水位由流向阶式水柜的水量来控制。低压汽水分离器的压力由减压阀和放泄阀控制。即蒸汽压力降低时由高压蒸发部通过减压阀补给蒸汽；压力过高时，将剩余蒸汽通过放泄阀放回冷凝器。

系统中，还应用了增压空气三级冷却器回收增压空气之余热。

这种双压锅炉，较常规的一级锅炉可多发电 20%～30%，甚至多达 35%。如果发电量要求相同，则传热面积可减少 55%。

因双压锅炉装置增加设备不多，余热的回收率较高，有广泛应用的前景。

这个排气余热回收系统遵循逐级串联、分级使用的综合用能原则。

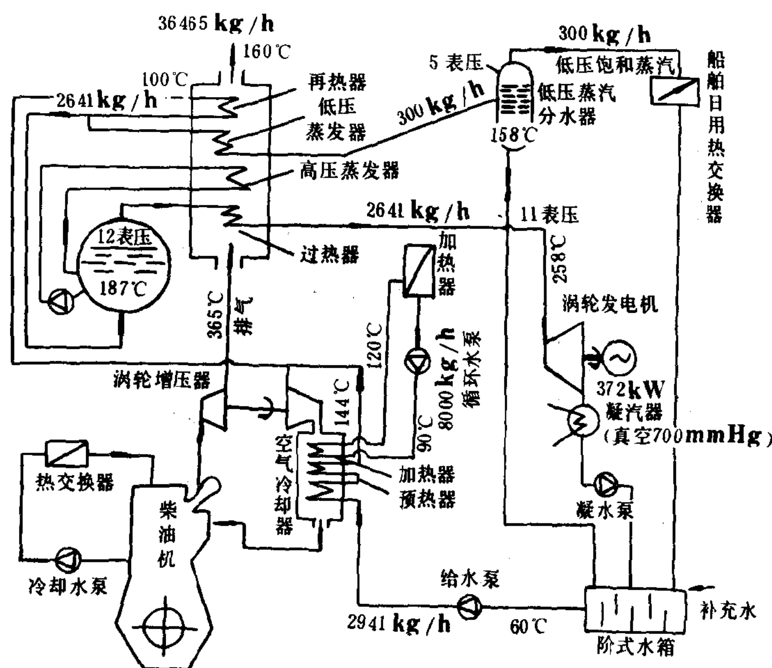


图 6.1.4—33　12PC2—5型柴油机的余热回收系统

6.3.2　动力涡轮输出功率余热回收系统

瑞士 SULZER 公司等所开发的一种称之为“效率增强器”(η——Booster)的动力涡轮装置，把排气的剩余能量转变为动力再供应于柴油机的功率输出轴，连接方式如图 6.1.4—34 所示，控制系统如图 6.1.4—35 所示。当柴油机负荷低于 50%时，无论是正车或倒车，排气通至动力涡轮的截止阀关闭。当正车负荷超过 50%时，截止阀开启而旁通阀关闭；当倒车负荷超过 50%或发生故障时，截止阀关闭而旁通阀开启，同时，效率增强器可通过一个适当的操作选择器来调至“停止位置”，这时截止阀将永久地保持关闭状态。

法国 SEMT 用于 PC30 和 PC40 柴油机的动力涡轮余热回收系统，称为 RPT 装置，基本情况与前者类似。

这类动力涡轮输出功率的余热回收系统，可以使柴油机的耗油率降低 2%～5%(四冲程机)和 1%～3%(二冲程机)。

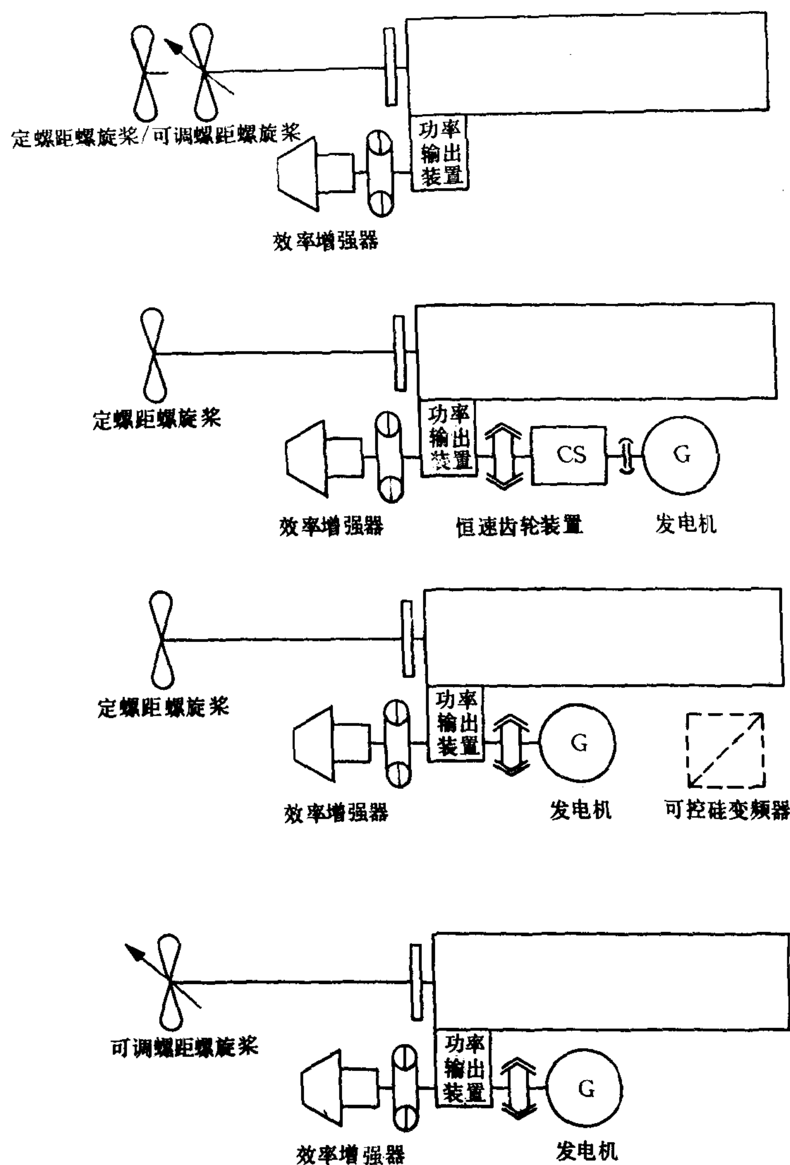


图 6.1.4—34 Sulzer 效率增强器与柴油机的连接

6.3.3 废气涡轮发电机和轴带发电机联合系统

联邦德国、日本和瑞典等国发展了一种废气涡轮发电机和轴带发电机联合系统，利用它的可逆特性，将废气涡轮发电机的多余电力作为推进轴的辅助动力，即将轴带发电机作为电动机运行，而只在其输出电力不足以供船上设备使用时，才由轴带发电机补充，从而进一步减少了燃油消耗。

显然，按照这种工作原理，也可以使用余热蒸汽涡轮发电机与轴带发电机的组合系统。

6.3.4 利用余热供应热水或低压蒸汽

对于较小型的船舶来说，由于功率小利用余热发电或输出动力是不现实的，一般多以排气用作废气锅炉或热水器的热源，产生的蒸汽或热水，供全船生活、取暖和加热重柴油之用。

较小型的船舶装设废气锅炉，可以提高经济性 6%～10%，如长江、汉——申线客班轮，充分利用废气锅炉而不烧辅助锅炉，每天可节省燃油 630kg 左右。

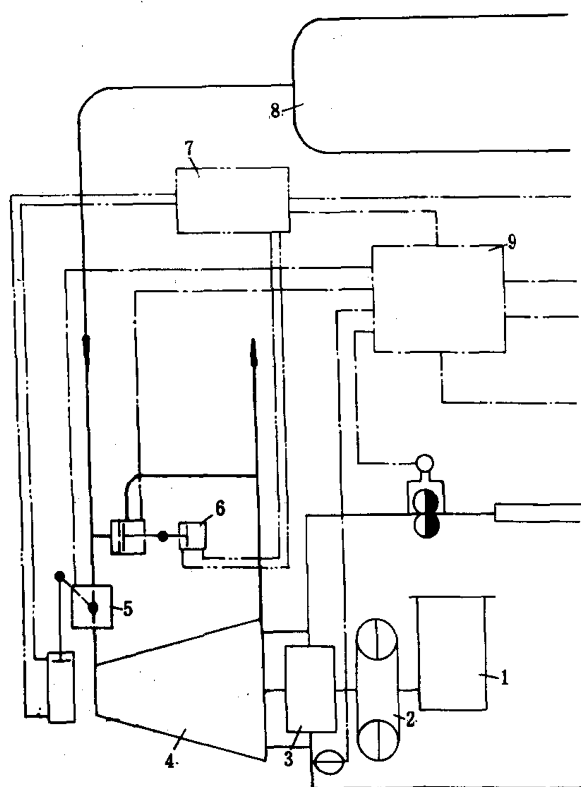


图 6.1.4—35 Sulzer 效率增强器的控制系统

1—功率输出装置；2—涡轮联轴节；3—行星齿轮装置；4—动力涡轮机；5—截止阀；6—旁通阀；7—阀装置；8—排气管；9—控制箱

在装设废气锅炉时，必须考虑船舶的用途、航区及工况等因素。长途的客、货轮，工况较稳定，可按柴油机的 90% 负荷进行计算和选取。对于港作船舶和短途运输船，因工况不太稳定，则应按 70%～80% 负荷计算与选取，以保证废气锅炉的耗能和供气的参数。

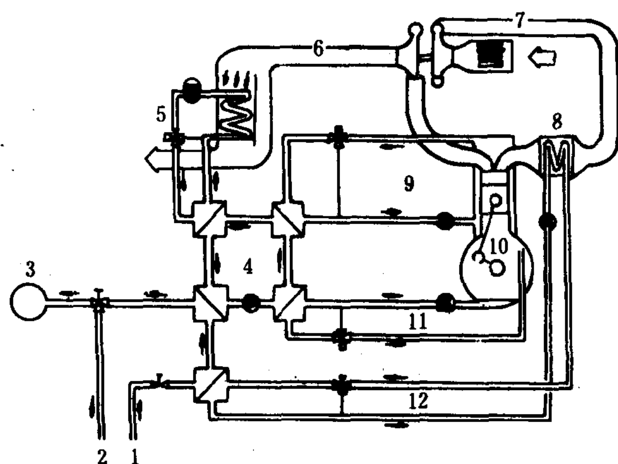


图 6.1.4—36 利用余热提供热水的动力装置

1—开水；2—供应热水；3—蓄热器；4—中间循环系统；5—高温热油转换系统；6—废气；7—进气空气；8—中冷器；9—缸套冷却系统；10—柴油机；11—滑油冷却系统；12—进气冷却系统

为了正常工作，在确定锅炉的排气温度时应考虑受热面的端点温度不应过小，以避免受热面过大；锅炉烟气出口温度不应小于 180℃[33]，以避免受热面发生低温腐蚀。此外，为了不过多地增加柴油机的排气背压，四冲程柴油机流阻值不能大于 $(3.922\sim6.864)\times10^3$Pa；二冲程柴油机，流阻值不能大于 $(2.942\sim4.903)\times10^3$Pa；对已装有废气涡轮增压器的柴油机再加装废气锅炉时，其流阻值应在 1.961×10^3Pa 以下为好。

图 6.1.4—36 是一台 12ASV25/30 型柴油机利用余热供应热水的动力装置布置

图。该柴油机功率为 2300kW，它设法从缸套冷却水、空冷器冷却水、润滑油冷却器冷却水以及废气中充分回收热量，可产生相当于 2600kW 的热能，因此，每小时可将 45m3 之 12℃的冷水加热到 60℃，可供船员及旅客生活使用。在扣除各种辅助设备的消耗之后，整个装置的总热效率达 79%。

6.3.5 利用余热制取淡水

利用柴油机余热制取淡水(简称制淡)，是回收余热的一种方法。图 6.1.4—37 为一种按多级闪蒸效应进行制淡的装置。从柴油机废气及缸套等的冷却水中吸取余热以加热海水，并进行多级闪蒸，从而取得淡水。这种制淡装置与船上常用的单级蒸馏器相比，同样的热量可以多生产 1～2 倍的淡水。由于它是采用一种专门的逐级蒸馏系统，因而所产生的淡水清洁、无菌。

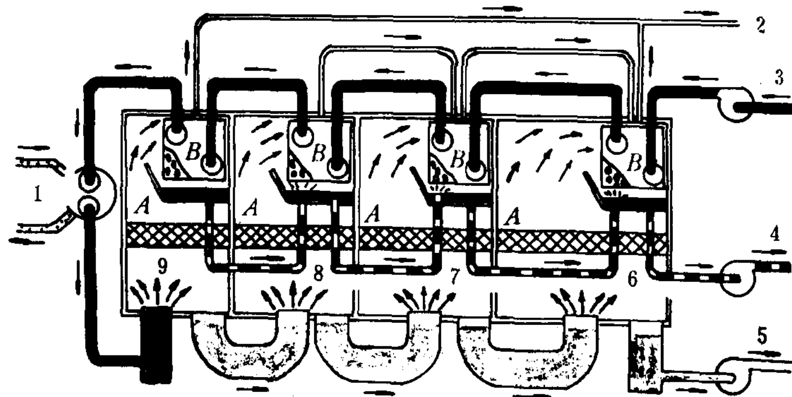


图 6.1.4—37 闪蒸制淡装置原理图

A——汽水分离器，B——蒸汽冷凝器

1—供热循环；2—空气喷射器；3—给水；4—蒸馏水；5—咸水；

6—第四级闪蒸；7—第三级闪蒸；8—第二级闪蒸；9—第一级闪蒸

此型余热制淡装置是由废气锅炉、蒸馏器、冷凝器、给水泵、喷射器、水质控制器和控制箱等组成。海水由泵打到各级冷凝器中，在那里逐级受到加热。一部分海水流到蒸馏器中，另一部分则用来在喷嘴中喷射，借以形成低压。海水通过各个蒸发阶段之间的蒸汽冷凝器，逐步升温，直到第一级蒸发器。一部分海水在第一级中闪蒸出去，其余的海水，流入后一级去继续闪蒸。以此类推，直至最后一级仍未闪蒸的则是一些浓缩的海水(碱卤)，用一个喷射器将其喷出去。中间各级的喷射器是用来提高各级冷凝器与蒸发器中的真空度。每一级所产生的蒸汽，在次一级的冷凝器中冷凝成淡水。在冷凝的过程中所放出的热量与经过这一级的海水进行热交换。最后一级通过冷凝器所取得的淡水，再通过过滤及清洁处理，最后进入储水箱。

6.3.6 用柴油机冷却水的余热作热源的吸收式制冷装置

采用溴化锂水溶液(或氨——水溶液)的吸收式制冷装置是利用低温的热源(柴油机冷却水)的一种余热回收系统。溴化锂具有强烈的吸收性，易溶于水。溴化锂溶液的浓度越大或温度越低，其吸收能力越强。

吸收式制冷装置是一种不用压缩机，而将制冷剂和吸收剂组成混合介质，利用其热力学性质的不同而构成的制冷系统。制冷剂为 H_2O，吸收剂为溴化锂(L_iB_r)生产的冷水，通常用于空调。图 6.1.4—38 为用柴油机冷却水作热源的溴化锂——水吸收式制冷装置的流程图。

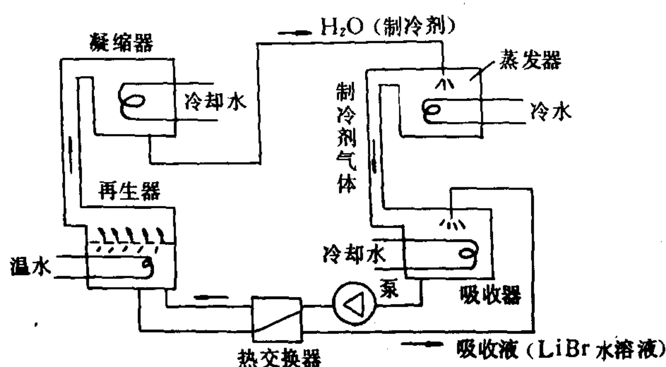


图 6.1.4—38 吸收式制冷装置的流程图

蒸发器保持在 10^3Pa 的低压状态，此时雾状制冷剂液体蒸发，并从通冷水的管道外壁获取热量，冷水被冷却。蒸发了的制冷剂气体流入吸收器，被吸收液（溴化锂的水溶液）吸收。在吸收时产生的热量用冷却水管路冷却。吸收了制冷剂的吸收液变稀，吸收能力下降，有必要使之再生。因此用泵将吸收液送入再生器。在再生器中，吸收液用温水（柴油机冷却水）作热源致热，在制冷剂气体分离的同时，吸收液浓缩。分离出来的制冷剂气体，在凝缩器中凝缩、液化。液化了的制冷剂导入蒸发器，再返回到冷冻回路中。用再生器浓缩的吸收液，通过热交换器回到吸收器，发挥其吸收作用。热交换器的作用是用由再生器流回的较高温度的浓溶液加热送到再生器的稀吸收液。

图 6.1.4—39 为氨吸收式制冷装置系统。它以氨为冷却剂，水为吸收剂，以盐水为媒介，适宜于作冷藏的制冷装置。通过计算，在以 6135 型柴油机冷却水余热作热源时，氨液的循环量为 111.25kg/h，而制冷量为 126715.94kJ/h，消耗的冷却水量为 17.02m^3/h，氨水泵轴功率为 0.58kW。方案是可行的，但是由于柴油机冷却水的温度一般为 80℃，为保证氨的浓度差 $\Delta\xi>0.06$，进入凝汽器和吸收器的冷却水温度必须小于 18℃，蒸发温度不能低于－5℃。根据这个温度条件的限制，当舷外水温高于 18℃时，可采用废气锅炉的蒸汽或废气热水器的热水供入再生器，提高其温度，以保证装置正常运行。

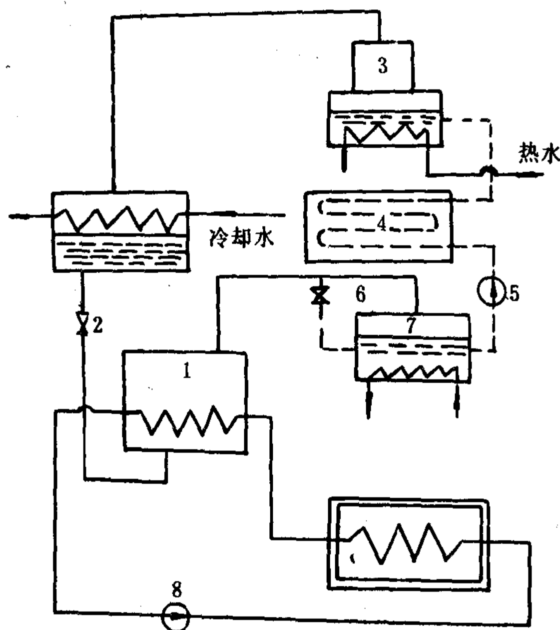


图 6.1.4—39 氨吸收式制冷系统

1—蒸发器；2—膨胀阀；3—蒸发器；4—热交换器；5—氨水泵；6—膨胀阀；7—吸收器；8—盐水泵

吸收式制冷的优点是可以利用柴油机冷却水作热源，以回收低品位的余热，而其总效率可达 60%～70%。同时，它无压缩机，耗能少、振动小、噪声低和可靠性高。

6.3.7 用柴油机冷却水的余热为热源的热泵致热供暖系统

热泵是一种使热量从低温物体转移到高温物体的能量利用装置。

回收柴油机余热作为供暖的能源，利用热泵为低品位余热的回收提供了很大的可能性和途径。

热泵有两种形式，即压缩式热泵和吸收式热泵。

1）压缩式热泵

如图 6.1.4—40 所示，压缩式热泵通过压缩式循环，消耗外功 W，让用热处得到热量 Q_1。

压缩式热泵的能量利用指标以致热系数 φ 表示：

$$\varphi=\frac{Q}{W}$$

如果按逆向卡诺循环工作，则 φ 为最大，即

$$\varphi_{max}=\frac{T_1}{T_1-T_0}=\frac{1}{1-\frac{T_0}{T_1}}$$

可见，$\frac{T_0}{T_1}$越大，或(T_1-T_0)越小，则 φ_{max}越大。这就是说，压缩式热泵最适宜于转移小温差物体之间的热量，其能量利用效果最大。

实际上，热泵循环并非逆向卡诺循环，存在各种不可逆损失，为此，用热泵系统的工作有效系数 η 来修正 φ_{max}，即

$$\varphi=\eta\cdot\varphi_{max}=\eta\cdot\frac{1}{1-\frac{T_0}{T_1}}$$

一般取 $\eta=0.6$

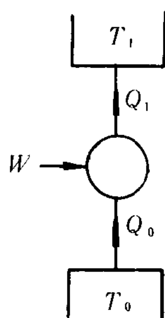


图 6.1.4 40 压缩式热泵示意图

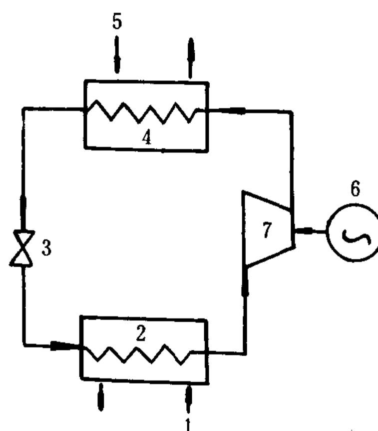


图 6.1.4 41 闭路循环压缩式热泵系统

1—冷流体；2—蒸发器；3—膨胀阀；4—凝汽器；
5—热流体；6—电动机；7—压缩机

图 6.1.4—41 为闭路循环压缩式热泵系统图，它用冷却水的余热作为蒸发器的热源，介质在蒸发器内蒸发成气体，经压缩机压缩，提高其压力与温度，再到冷凝器中冷凝。其放出的热量被热流体带走，此热流体就是供暖用的热水。冷凝后的介质经膨胀阀节流，介质的温度与压力降低，然后再送入蒸发器，构成一闭路循环系统。

2)吸收式热泵

吸收式热泵如图 6.1.4—42a 所示。通过某种吸收式热力循环装置把低温热源(T_0)的温度提高到用地需要的温度(T_1)，使用地得到热量 Q_1。吸收式热泵的能量利用指标以“致热系数”ψ表示，即

$$\psi=\frac{Q_1}{Q_H}$$

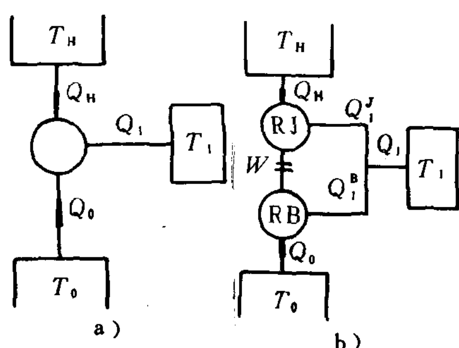


图 6.1.4—42 吸收式热泵示意图

从热力学来看，吸收式热泵，实质上可以认为是以在热源（T_H）与冷源（T_0）间工作的热机提供高质能量（W）的压缩式热泵。按图 4.1.4—42b）所示，热机 RJ 从热源（T_H）取得热量（Q_H），其中的一部分转变为功（W），带动热泵 RB，吸取低温热量（Q_0），并送热 $Q_1^B(T_1)$ 至用地，同时热机也排出热量 $Q_1^J(T_1)$ 给用地。这样，用地得到的热量为

$$Q_1 = Q_1^J + Q_1^B = Q_H + Q_0$$

在理想情况下，热机按正向卡诺循环运转，热泵（压缩机）按逆向卡诺循环工作。理论上的 ψ 可从热力学定律推得：

$$\psi_{max} = \frac{Q_1}{Q_H} = \frac{T_1}{T_1 - T_0} \times \frac{T_H - T_0}{T_H} = \varphi_{max}\left(1 - \frac{T_0}{T_H}\right)$$

式中$\left(1-\frac{T_0}{T_H}\right)$是在 T_H 与 T_0 间工作的卡诺热机的效率，恒小于 1，所以 $\varphi_{max} < \varphi_{max}$，这是因为这两类热泵的致热系数中分母的能量有质的不同。当吸收式热泵的 T_H 不高时，两种热泵的致热系数相差很大。当利用 150℃以下的热源为动力时，吸收式热泵能量的利用并不经济。

热泵优于其他供暖装置之处在于消耗同样多的能量（如功量 W）来对舱室供热，能比其他供热方法得到更多的热量。这是因为热泵利用同样数量的功将取自冷源的热量连同功量转变为热一起输送到供暖室，实现了热从低温位向高温位的输送。

6.4 柴油机冷却水㶲值的提高

柴油机冷却水的出水温度通常在 70℃左右，㶲值不高，不便有效利用其热能。为了便于回收冷却水的余热，采用所谓“高温冷却”即将柴油机冷却水的温度提高，这除了便于回收余热外，还可以降低柴油机的冷却损失和降低水泵的功率消耗，从而使柴油机效率提高。法国 SEMT 曾试验过将柴油机冷却水温度提高到 120℃；瑞士，SULZER 公司有 6ZL40/45 型中速柴油机上也进行过高温冷却的试验，柴油机在 25%到 110%负荷运转时，冷却水进入气缸体的温度是 125℃，出气缸体的温度是 130℃，结果表明，柴油机的耗油率低于通常使用冷却水温度时的耗油率，尤其是在部分负荷下，效果更明显。

为解决常压下，水温 100℃的气化问题，可对冷却水系统加压或采用沸点约为 300℃的润滑油作为冷却剂。日本以润滑油作冷却介质的高热效率的 MU623DGSC 型柴油机，用一种沸点为 300℃左右的润滑油冷却，循环后的高温润滑油被送到排气节能器，作为空调系统、制冷系统以及低质燃油的加热系统等用途的热源。这样，气缸冷却腔出口的冷却剂（润滑油）温度可提高到 100℃以上，增加了含热量的品位，余热的回收有了改善。同时，由于冷却造成的散热损失降低了。

冷却剂温度提高后，排气温度也提高，所以排气余热的回收率也可提高。

试验表明，用润滑油作冷却剂，气缸冷却腔出口油温升至 100℃以上，排气节能器出口冷却油温度升至 110℃，没有任何有害的影响，也没有发生什么特殊的问题。这种情况下，所消耗燃油能量的 20.9%可以应用普通排气节能器得到回收，使系统的总效率较原来提高了 61.48%。

意大利，麦肯尼西（MECCANICI）VM 公司的 HR－A 系列高速柴油机，也采用润滑油作

冷却介质，这种冷却系统获得了国际专利并定名为“VM 系统”。

6.5 热管的利用

热管是一种新型的高效传热元件，它能在温差很小的情况下传递大量热量，其当量导热率很高，被称为“近超导热件”，在节能方面的应用也很受重视。

6.5.1 热管废气锅炉

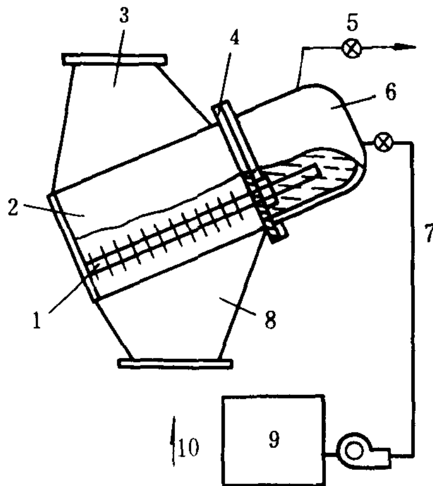


图 6.1.4—43 热管废气锅炉的总体结构

1—热管；2—方烟箱；3—上烟箱；4—管板；5—蒸汽；6—锅筒；7—热水；8—下烟箱；9—热水井；10—烟气

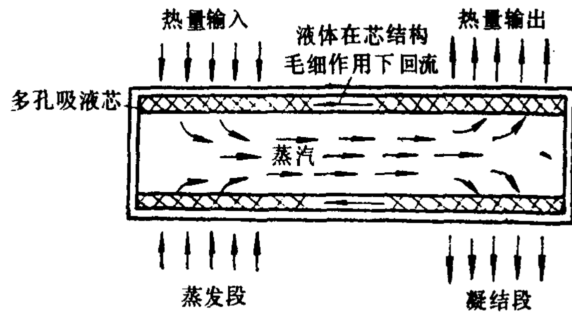


图 6.1.4—44 吸液芯式热管

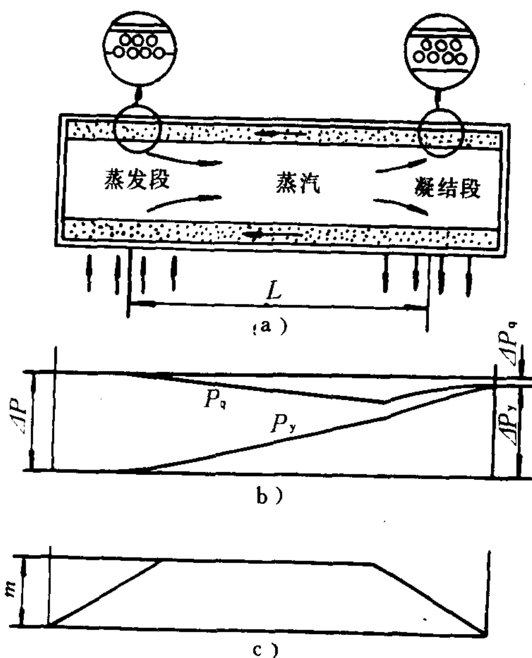


图 6.1.4—45 吸液芯式热管工作过程的示意图

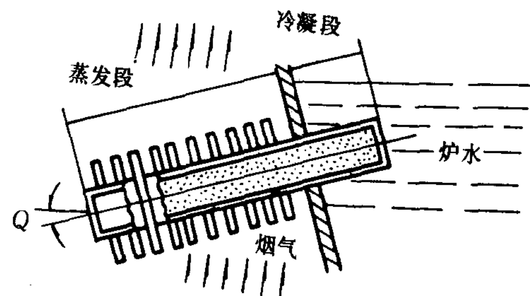


图 6.1.4—46 重力式热管

热管废气锅炉热效率高、体积小和重量轻、管理方便、结构简单。如果将一般的烟管废气锅

炉改为热管废气锅炉，则其热效率可由20%提高到40%。热管废气锅炉的总体结构如图6.1.4—43所示。用螺母将热管固紧在管板上，锅筒、管板与烟箱均以法兰连接。热管插入柴油机的排气烟箱中，当高温烟气冲刷热管蒸发段时，烟气的热量传递给带翅片的热管吸热端，管内的水吸热汽化为蒸汽。蒸汽上升到冷凝段放出汽化潜热后，冷凝成饱和水，再流回吸热段，继续重复蒸发——冷凝过程。这样，烟气的余热便通过热管连续地传给炉水。

热管的类型有吸液芯式热管、重力式热管等。

图6.1.4—44为吸液芯式热管简图。它是依靠管子中的毛细管作用和工质的表面张力使液体由冷凝段返回蒸发段的热管。图6.1.4—45为其工作过程的示意图。图中p_q、p_y分别为蒸汽和液体的压力；Δp_q为蒸汽流经热管核心区的压降；$\triangle p_y$为蒸发段高于凝结段的静压差；m为液体的质量流量。

图6.1.4—46所示者为重力式热管，它是依靠凝结液体自身的重力返回蒸发段的热管。

与烟管废气锅炉相比，船舶热管废气锅炉具有如下特点：

1)效率高，在相同的体积和重量下，可比烟管废气锅炉回收更多的余热；

2)产汽快；

3)寿命长，易维修；

4)翅片上易积灰，此问题还有待进一步解决。

表6.1.4—5所列为长江船舶上在用的若干热管废气锅炉的性能数据。

表6.1.4—5　**热管废气锅炉在长江船舶上的应用**

船名	回收热量 kW (万大卡/小时)	蒸汽产量 kg/h	烟气温度 ℃		传热面积 m²	热管数根	蒸汽压力 kPa	投运时间	投资费用[①] 万元	经济效益 万元/年
			进	出						
江申　2号	233　(20)	330	275	240	80	84	200	1983.9	2	2.2
江申　113号	126　(10.8)	170	285	245	29	59	500	1985.6	1.2	1.5
江申　1号	268　(23)	380	235	200	75	86	500	1985.9	2	3
长江81001轮	267　(22.9)	370	360	200	54	115	500	1986.6	1.4	1.5

① 投资费仅热管锅炉本体费用，不包括改装费用。

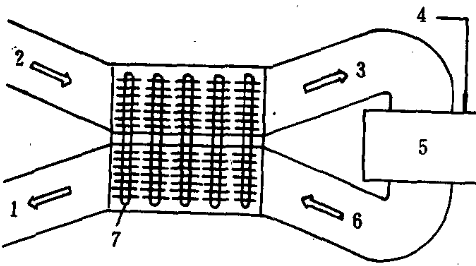


图6.1.4—47　利用热管的空气预热器

1—低温废气；2—空气；3—预热空气；4—燃料；5—加热炉；6—高温废气；7—带翅片的热管

6.5.2　利用热管的空气预热器

利用热管的空气预热器的结构，如图 6.1.4—47 所示，以两侧带有翅片的热管为媒介，把柴油机废气的热量传给空气，其中废气和空气的通道完全分开，两侧翅片装在外边，能取得较大的传热面积，制造也较容易。这种由热管构成的热交换器的应用正在逐渐增多。

6.6 余热的储存

蓄热器是一种热能储存系统，它可以把一个时期内暂时用不完的余热通过某种方式收集贮藏起来，等到需要时，再放出热量，以补充余热之不足。

热能储存的方法，一般可分为显热储存、潜热储存及化学能储存三类：

1）显热储存：这是通过使储热物料升高温度来达到储存热量的一种方法。所以蓄热物料的比热要高、重度要大，而且容易大量取得和价格便宜。常用的蓄热物料有水和溶盐等。

2）潜热储存：这是利用物料从固体转化为液体或从液体转化为气体的相变时吸收热量而加以蓄热。但提取热量时，必须进行相反的相变过程，而且正、反相变过程中的温度是不改变的。

固体——液体相变蓄热的物料应具有熔化潜热高、熔点在适用范围、冷却时结晶率高、化学稳定性好、热导率高、对容器腐蚀性小、不易燃、无毒、易于取得且价格低廉等特点。目前可供使用的物料有无机盐类，如氟化物等，也可用石蜡等有机物。

液体——气体相变蓄热的物料，最广泛采用的是水，但水在汽化时有很大的体积变化，所以要有较大的蓄热器。

3）化学能储存：这是利用某些物质在可逆化学反应中的吸热和放热过程来达到热的储存和释放，如还原过程的吸热和氧化过程的放热。这是一种高能量密度的储存方法，但当前还有不少技术上的困难。

在柴油机余热的回收系统中，可以采用蒸汽蓄热器，它能够随时将废气锅炉多余的蒸汽储存起来，又能及时地在用汽多的时间提供出来，借助这样的蒸汽热能的供求平衡作用，减少了损失、节省了能量。

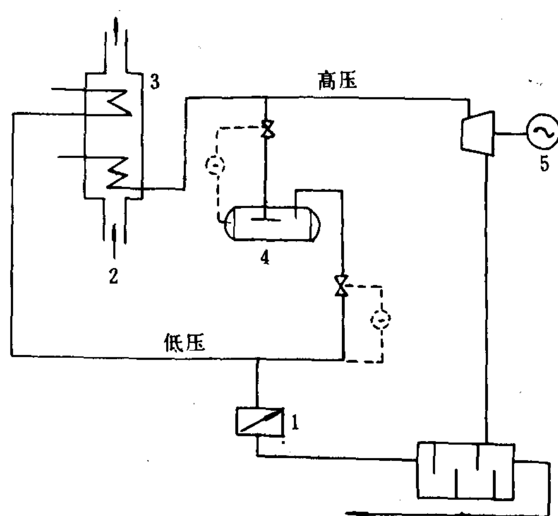


图 6.1.4—48 蒸汽蓄热器的余热回收系统的应用简图
1—日用热交换器；2—排气；3—废气锅炉；
4—蓄热器；5—涡轮发电机

图 6.1.4—48 是这种蒸汽蓄热器在余热回收系统的应用。它使用高、低压蒸汽，其中高压蒸汽的负荷是稳定的，低压蒸汽的负荷是变动的，蒸汽蓄热器连接在高低压蒸汽母管之间，它的充汽蓄热过程是：高压蒸汽通过控制阀进入蓄热器内集水空间，由于汽温高于水温，蒸汽迅速凝结、放热，使水温提高，水位也升高，同时水面上的蒸汽空间减小，相应的压力也有所增加，直至蓄热器内压力达到低压用汽要求时，充汽蓄热过程才算完成。在低压蒸汽的需求多时，蒸汽从蓄热器的蒸汽空间排出，器内的压力随之下降，同时由于水温高于对应压力的饱和温度，部分水就汽化补充到蒸汽空间，当然水位就有所降低，如果供汽压力低到最小允许值而又不继续充汽蓄热，那么供汽放热过程就终止。在用汽负荷波动低于平均值时，蓄热器在满足用汽负荷要求的同时把多余的蒸汽热量储存

起来；而当用汽负荷波动高于平均值时，蓄热器的热储备就发挥作用，满足负荷增长的要求。

7 柴油机船舶动力装置进、排气管系的节能措施[5][19]

7.1 舷外进气的采用

柴油机的耗气率，小型高速机约为6～7kg/kW・h；四冲程中速机约为8kg/kW・h；二冲程大型低速机约为9.5kg/kW・h以上，这些空气可以吸自机舱内部，也可以直接吸自机舱之外。所谓舷外进气，就是将柴油机的进气管通至机舱外，直接从机舱外吸气。

舷外进气的优越性如下：

1)可消除增压器叶片的流道壁面产生污垢而恶化增压器的性能。实际上当叶片和流道壁面粘附一层油泥时，将造成流阻的增加，从而使流量和压比降低，并使增压器的效率 η_k 降低，使柴油机的性能变坏，耗油率增加。

采用舷外进气时，由于空气无烟雾，不会造成增压器叶片的积污，也就保证了柴油机性能的稳定。

2)避免机舱高温空气对柴油机性能的不良影响。

①由机舱吸气，温度高，进气的密度较低，进气量也就减少。从而使柴油机的性能变坏，耗油率增加。

②增压器压缩空气所消耗的绝热压缩功与进气温度成正比。如果绝热压缩功不增加，温度高，则压比降低。如果要维持压比，就必须消耗较多的绝热压缩功，即耗能增加。

③进气温度增加，则循环的平均温度增加，使柴油机的热负荷增加。一般，进气温度每提高10℃，柴油机的功率将降低2.5%，耗油率将增加1.5%，循环的平均温度将增加30℃。

3) 可降低机舱内的噪声。采用舷外进气，将进气造成的噪声可扩散到舷外广阔的空间中去，能明显地降低机舱内的噪声。

基于增压柴油机采用舷外进气有着上述优点，且装置简单、初投资费用少，因而从70年代末开始采用的船舶日益增多。例如：64000吨的汽车、散装两用船“YSI”、“TRADER”号的10PC4V型柴油机和废铁、散装两用船“成英丸”的PC2—5BCT二级增压柴油机、美国的4415kW顶推船的两台GM二冲程柴油机等采用了舷外进气方式。

最近在大型低速二冲程柴油机中舷外进气也得到了应用。如日本的主机为两台三菱6UEC60/150H柴油机的矿、煤两用超级大型节能船，就采用了舷外进气。

一般，舷外进气能够降低船舶柴油机的耗油率1.34～4g/kW・h和降低排温20℃左右。同时还降低了机舱噪声，改善了轮机员的工作条件。

7.2 进、排气管内气体波动效应的应用

柴油机活塞的往复运动和进排气阀间歇地开、闭，使进排气管内发生气体压力的波动现象，利用这种波动效应，可以对换气过程起促进作用，增加进气量，从而达到改善燃烧，增加功率和降低油耗。

7.2.1 柴油机的惯性增压

四冲程非增压柴油机，在进气冲程开始进气阀急速开启时，由于活塞的吸入作用，在进气阀入口处(图6.1.4—49中的B处)产生了负的压力波，并在进气管内向开口端A传播，当它

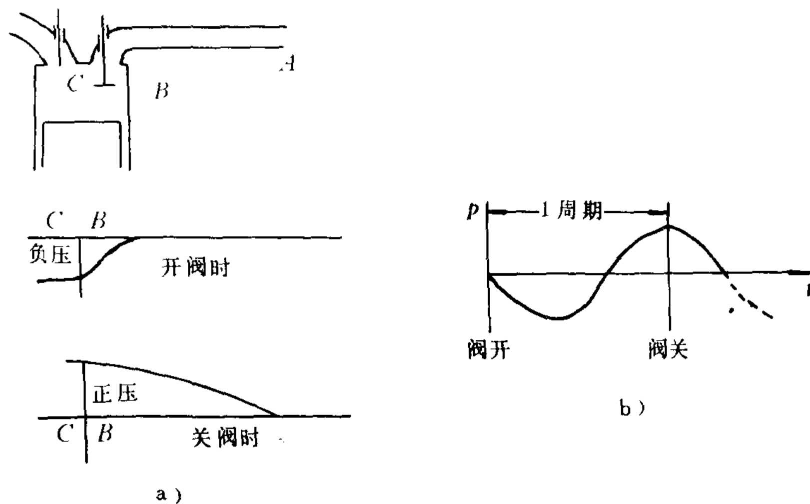


图 6.1.4—49 进气冲程，气阀处压力的变化

a)压力对位置的变化；b)B点压力对时间的变化

抵达开口端后又反射回一个正的压力波。如果在进气阀关闭的时刻，刚好有一个正的最大压力传到进气阀处，则空气以最大的密度进入气缸，使进气量增加。称此为惯性增压。

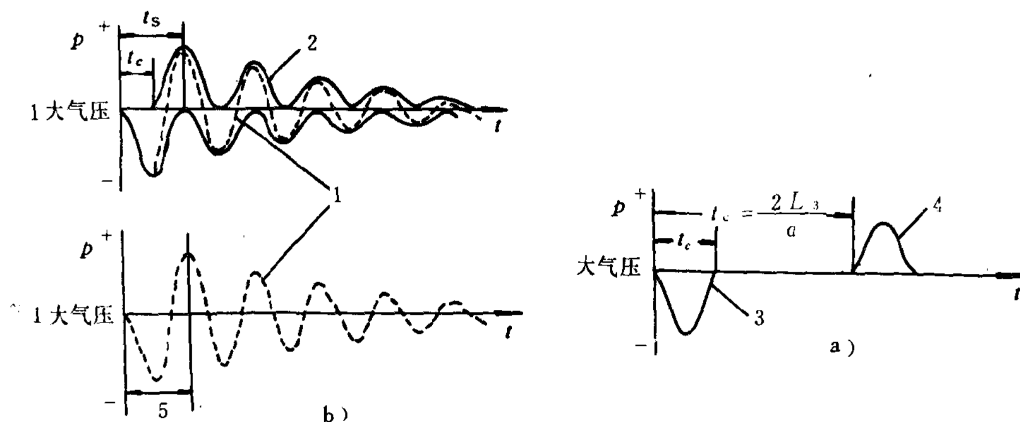


图 6.1.4—50 吸气压力波的传播与反射情况

1—合成波；2—反射波；3—吸气波；4—最初的反射波；5—进气

惯性增压时，其压力波的传播路程包括气缸容积在内，这时的进气管长度用等价管长 L_s 表示：

$$L_s=\frac{\pi}{2}\sqrt{L\frac{V}{f}}$$

式中： L ——不包含气缸容积，但包括气缸盖中气道的管长；

V ——进气过程变化着的气缸容积，近似地以气缸工作容积计算；

f——进气管的截面积。

图 6.1.4—50 所示为吸气造成的负压力波在进气管内的传播和由开口端反射回正的压力波的情况。

在进气的有效持续期 t_s 的后半部分，能有一次压力波到达气缸时，惯性增压效果最大，即：

$$t_e = \frac{1}{2} t_s$$

式中：t_e——压力波在进气管内往复传播一次所需的时间，$t_e = \frac{2L_s}{C}$，C 为声速。

最佳进气管长度的计算式为：

$$\sqrt{L} = \frac{C \cdot \theta_s}{15 \cdot \pi \cdot n} \sqrt{\frac{f}{V}} \qquad (6.1.4—5)$$

此式即为惯性增压时，柴油机的转速 n、进气管长度（包括进气道和歧管）和截面积与进气阀的有效开启角 θ_s 之间的关系。如果柴油机已定，则 n、θ_s 和 V 都已知，选定一进气管直径后就可以求出最佳进气管长度 L。

7.2.2 柴油机的脉冲增压

在进气过程的末期，进气阀迅速关闭，使进气管内流动着的空气受到滞止而产生正的压力波，此压力波以声速 C 向进气管的开口端传播。在开口端反射的负压力波也以声速向进气阀处返回，见图 6.1.4—51。如果此时进气阀仍然关闭着，则此负压力波重新又返向开口端，再从开口端反射一个正压力波向气阀处返回。如此往返传播，如果恰好在下一循环的进气阀关闭之前刚好有一正压力波峰传来，则进气的密度便增大，进气量增加，称此为脉冲增压。

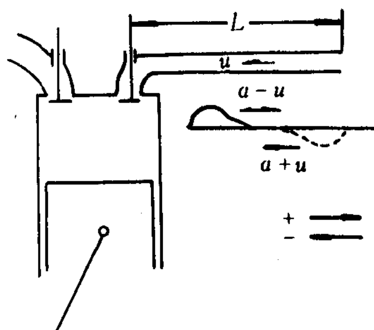


图 6.1.4—51 进气阀关闭后管内压力波的往返传播

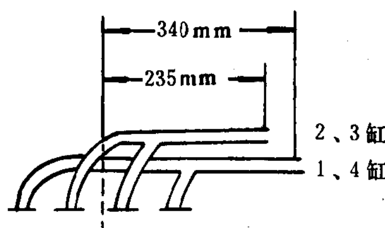


图 6.1.4—52 柴油机的分支进气管

因为多缸机一根进气管要连接几个气缸（设为 i 个），因此从某一缸发生的压力波，两个往复返回的时间，只要与下一发火气缸的进气阀关闭时刻相吻合即可。

设 t_1 为压力波两个往返所需要的时间，t_2 为柴油机一个循环所间隔的时间，则：

$$t_1 = \frac{4L_s}{C}$$

$$t_2 = \frac{120}{n \cdot i} \quad \text{（对四冲程柴油机而言）}$$

$$\frac{t_1}{t_2} = q = \frac{30C}{n \cdot i \cdot L_s} \qquad (6.1.4—6)$$

q 为"脉冲次数"，当 q＝1，2，3……正整数时，可以满足正压力波传来时刚好与进气阀的关闭时刻相一致，进气量增加。而当 $q = \frac{1}{2}, 1\frac{1}{2}, 2\frac{1}{2}$……时，使进气量减少。

在脉冲增压的计算式中，除了 L_s 和 q 外，其他全是已知的，因此在确定一个 q 值后，进气管的长度 L_s 便可求得。

实际上柴油机进气管内的压力波动情况是上述惯性效应和脉冲效应两者综合影响的结果。一般统称为“惯性增压”。而前述的计算方法是初浅的，详细计算是很复杂的。

7.2.3 惯性增压的具体措施

采用惯性增压的措施，就是把柴油机的进气管加长。对于多缸(3 个缸以上)机，为了防止各缸之间发生干扰，发生“抢气”现象，妨碍增压的效果。需要把进气管分支，使各缸进气过程不发生重叠，这就要求一根进气管连接的气缸数应限制在 3 个以下。例如，发火次序为 1—3—4—2 的四缸机，可以使 1 与 4 缸共用一根管，2 与 3 缸共用一根管，如图 6.1.4—52 所示。

进气管的断面积可以采取与进气阀(孔)的断面积相同。管的断面积太大或太小，都有不良的影响。另外，所用的进气管应该尽量使其截面积一致。

进气系统的流动阻力要小，管路应尽量减少转弯，必须转弯时，应尽量的圆顺，避免急剧折曲；管的内壁要光滑；进气管入口处应作成喇叭状，以减小入口处的流入损失。

进气管的材料可以用钢管或硬塑料管。橡皮管的摩擦系数大，而且管壁柔软，有吸波作用，不能采用。

在安装进气管时，应严格防止漏气现象，否则将破坏进气管内气体压力波的传播规律，达不到预期的惯性增压效果。

7.2.4 排气管内压力波动效应的应用

排气管内也有压力波动现象。以四冲程柴油机为例，由于排气的吹出，在排气阀的出口处发生很高的正压力波，并在管内传播，再由排气管开口端反射成负的压力波返回。由于这些压力波的合成，在排气管内便发生压力波动情况，如图 6.1.4—53 所示。

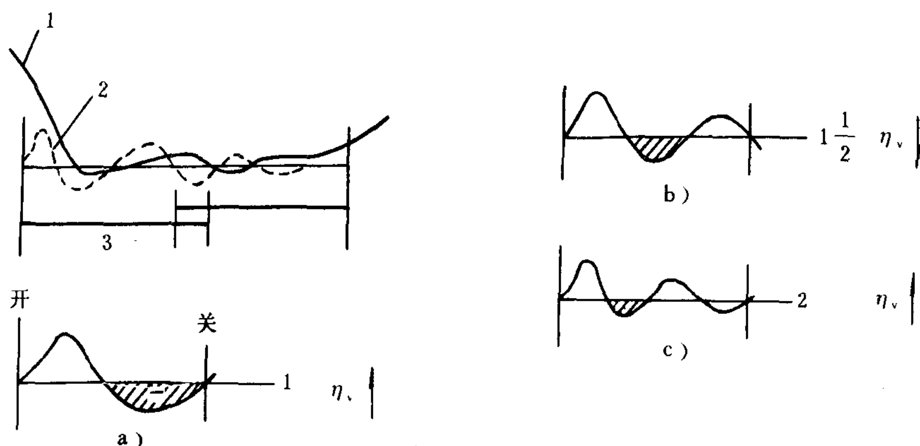


图 6.1.4—53 排气压力波

1—气缸压力；2—排气口处压力；3—排气期间

适当地选择排气管的长度，使排气吹出后的正压力波自开口端反射回来的一次(见图 6.1.4—53a)或者二次负压力波(见图 6.1.4—53c)，与排气阀的关闭时刻相吻合，则可以吸出残留在气缸里的废气。并且，在气阀重叠期间还可以促进良好的燃烧室扫气，使进入气缸的新鲜空气进一步增加。反之，若如图 6.1.4—53b)所示那样，排气阀的关闭时刻和排气压力波的$1\frac{1}{2}$周期相一致，则使充气量减少。

同样，排气管内压力波的影响，也可以分为惯性效应和脉冲效应来处理，而前者的效果较大。

若柴油机的气缸工作容积为 V，排气管的长度和截面积分别为 L_e 和 f_e，声速为 C，柴油机曲轴的角速度为 ω，则可以由下式求出惯性增压效果最优的排气管长度。

$$L_e=\left(\frac{Z_e \cdot C}{\omega}\right)^2 \frac{f_e}{V} \tag{6.1.4—7}$$

式中 Z_e 为排气惯性特性数，一般，当 Z_e 等于 0.667 左右时，可以达到较好的惯性增压效果。

7.2.5 惯性增压的实际效果

惯性增压主要适用于小型柴油机，在湖南冷水江市的以 2105 柴油机为主机的冷九号内河拖船上进行的试验表明：在重载拖带航行的情况下，装上惯性增压进气管后，上水增加航速 11.5%，下水增加航速 5.5%。在相同的转速下，上水每小时可节约燃油 1.36kg，下水每小时可节约燃油 1.17kg。此外，装惯性增压进气管后，船舶的过滩能力提高。

惯性增压措施，对中速柴油机也有一定的节油效果。在船用 6180 型柴油机上，对图 6.1.4—54所示的几种不同型式的进气管进行了试验，其结果列于表 6.1.4—6。与原进气管比较，利用了惯性增压进气管后，柴油机的性能改善，其中以图 6.1.4—54c)所示的进气管所获得的性能最佳，在高负荷时，获得了较低的燃油消耗率，并使排气温度与烟度降低。

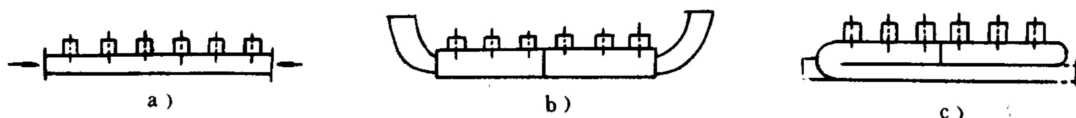


图 6.1.4—54 6180 柴油机的三种进气管

表 6.1.4—6 **不同型式进气管对柴油机性能的影响**

进气管型式 （图 6.1.4——54）	750r/min169kW 时的性能参数			
	耗油率 (g/kW·h)	最高燃烧压力 (MPa)	排气温度 (℃)	烟　度 (波许)
a)（原进气管）	220.8	7.3	450.5	1.65
b)	218.4	7.43	447.7	1.55
c)	218.1	7.7	420.9	1.53

7.3 进、排气系统的维护与管理

进、排气系统堵塞或阻力增大，柴油机的耗油率将明显增加，甚至不能正常的工作。

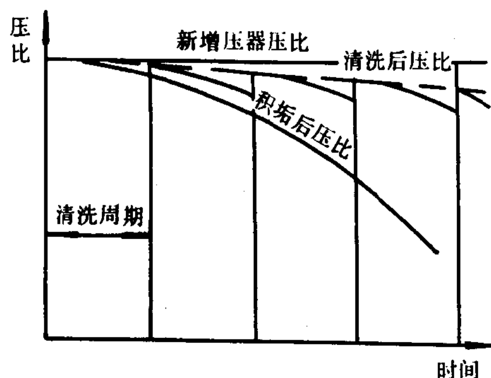


图 6.1.4—55 喷水清洗效果示意图

实际上，对于涡轮增压柴油机，在增压器扩压器或叶轮出口处相对应的蜗壳壁面上沉积有油泥，将引起气流边界层流动损失的增加，压气机效率下降，导致增压器转速降低、增压空气的压力下降，流量减少，从而使燃烧恶化、排温上升和燃油消耗率增加。因此，保持进排气系统的清洁、通畅是异常重要的。

为此，瑞士 BBC 公司提出了定期向增压器喷水清洗的方法，即每运行 100～300h 或增压压力下降 5%～8%时，便在压气机的进口处喷入定量的清水或液体

洗涤剂，依靠液滴撞击到壁面的机械作用和某些化学作用洗去污垢。喷水清洗，只能在积垢不太严重时才有效，且使柴油机的性能参数不能完全复原。图 6.1.4—55 所示为 BBC 公司的 VTR 增压器喷水效果的示意图。在经过一段时间的运行后，当压气机出口的空气压力降低到超过规定值后，仍需将增压器拆开而清洗之。

为了减小进气管系的流动阻力，有的还在其内表面涂以高分子减阻剂，这种新型的减阻涂料，有很好的减阻效果，从而使进气量增加，耗油率减少。

8 船舶动力装置中辅助系统的节能[1][17][27][28]

8.1 辅助系统的能量消耗及其降低

在船舶运行中，为了维持船舶的推进以及船员和旅客的工作与生活的需要，辅助系统必须提供足够的能量，表 6.1.4—7 为某些船舶的能源需求量。有的船舶还需要冷冻装置或备有装卸设备等。

船舶辅助系统有很大的节能潜力，减少它的能耗措施有：

1)使用高效率机械：使用的辅助机械要求小型、高速、低成本与高效率；

2)减少无效动力：如在海水温度低的区域航行时，可减少冷却水流量，此时可通过改变海水泵转速或减少泵的运行台数来减少无效动力；

3)减少散热损失：加强保温措施、减少被加热设备和热的输送过程的热损耗；

4)主机直接驱动辅助机械：

辅助机械，特别是润滑油泵、海水泵、燃油输送泵等，由主机直接驱动，可节省能耗与运行费用。一般在主机稳定情况下驱动转速变动范围在15%左右，它们不会失去动力性能的要求。

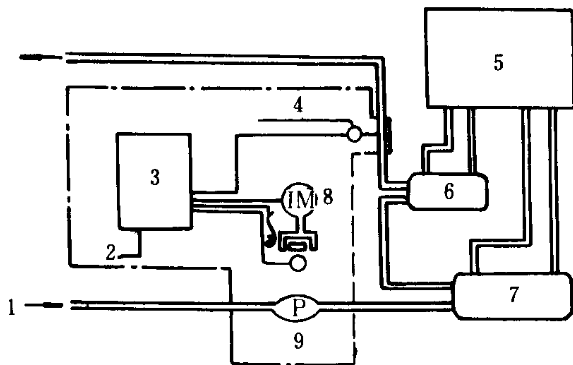


图 6.1.4—56 变量泵系统的构成图

1—海水；2—电源；3—操纵板；4—温度检测器；5—主机；6—冷却器；7—冷却器；8—电动机；9—变量泵

8.2 主机冷却变量系统及其节能效果

8.2.1 变量泵系统的应用

实航状态下主机功率和海水温度变化时，海水泵的排量应相应的改变，否则将造成能量损失。图 6.1.4—56 为变量泵系统的示意图。此系统以电动机温度控制器来控制转速，即要求海水出口温度不变的情况下通过控制电磁离合器的励磁电流来改变变量泵的转速。

表 6.1.4—8 为用于在主机为 B&W6L67GF 柴油机的船舶上的变量泵系统的静态性能测试结果。

由表可见，主机功率不变时，给定温度越高，节能效果越好；给定温度不变时，主机功率越低，节能效果越好。其中海水循环系统的给定温度值，取决于主机的要求。如果给定温度为45℃左右时，则变量泵系统的节能效果较好，系统的自动控制可相互独立进行。

航行时船舶辅助系统所需的能量

表 6.1.4—7　　（发电机、锅炉等辅机除外，平均 24h）　　单位：kW

类别	服务项目	低速柴油机 22565kW 机械能	热能	电能	低速柴油机 11613kW 机械能	热能	电能	中速柴油机 9923kW 机械能	热能	电能	备注
机舱	主机冷却海水	63			32			34			
	主机冷却淡水	46			24			24			
	主机润滑油	134			79			59			
	主机润滑油净化	5	74		4	54		5	74		
机舱	主机燃油	3	131		2	66		2	60		
	主机燃油预处理 夏季/冬季	15	257/286		8	140/160		5	107/125		包括油罐加热
	油柜加热(冬)		390			260			230		
	控制杂用压缩空气	20			20			20			
	环境、通讯	67			33			30			
	环境、照明			23			23			22	
操舵、通讯		15		8	2		7	4		7	
生活区	通　讯	27			27			20			
	冷气　(夏季)	47			47			32			
	暖气　(冬季)		130			130			120		
	照　明			22			21			21	
	食品冷冻	7			7			6			
	厨　房		1	10		1	10		1	8	
	生活用水	13	2		13	2		11	2		包括造水装置
合计	夏　季	462	465	63	301	263	61	252	243	58	
	冬　季	415	1044	63	254	673	61	220	612	58	

表 6.1.4—8　　变量泵系统的静态性能测试结果

			1	2	3	4	5	6	7
主机工况	转速	r/min	80	118	100	113	124	118	118
	功　率	%		NSO	50% MC	75% MC	MCO	NSO	NSO
海水泵出口温度		℃	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	28
海水冷系统出口温度	控制器给定值	℃	45	45	57	47	49	49	49
	调整值	℃	44.5	44.5	46.5	46.5	49	49	49
海　水　泵　转　速		r/min	800	1217	850	1142	1300	1000	850

续上表

			1	2	3	4	5	6	7
海水流量	主机冷却系统流量	m^3/h	185	275	200	260	295	235	200
	造水装置流量	m^3/h	99	140	100	135	155	120	105
电机	输入电流	A	32.5	51.7	35.0	48.3	57.5	39.3	35.0
	实用功率	kW	19.8	31.5	21.3	29.4	35.1	28.0	21.3
	额定功率	kW	45	45	45	45	45	45	45
节能量	额定功率－实用功率	kW	25.2	13.5	23.7	15.6	9.9	21	23.7
	(上项)×100 额定功率	%	56	30	52.7	34.7	22.0	46.7	52.7

8.2.2 变量泵的实际节能效果

表 6.1.4－9 为定量泵与变量泵电力消耗的比较。主机的功率在 100%MCR 时，海水泵的设计进水温度为 32℃；而当主机在 85%MCR 时，海水温度为 20℃，此时采用变量泵可节省电力 26.6kW，即节省电力达 70%。

表 6.1.4－9　**定量泵和变量泵电力消耗的比较**

运转条件		主机:100%MCR① 海水温度:32℃		主机:85%MCR 海水温度:20℃	
冷却海水泵		定速	变速	定速	变速
冷却海水量	m^3/h	450	450	450	220
泵扬程	m	24	24	24	5.7
泵的转速	r/min	1750	1750	1750	855
泵效率	%	83	83	83	80
泵轴功率	kW	37.8	37.8	37.8	4.4
离合器效率	%	—	85	—	39
电动机功率	kW	37.8	44.5	37.8	11.2

① 主机为 B&W6L67GF

8.3 鼓风机的变速驱动

辅助锅炉的鼓风机，在船舶航行与装卸工况下，所需风量和风压有很大变化，如果根据实际需要的风量和风压调节鼓风机的转速，将减少不必要的能量消耗。

某轮的鼓风机，在需要低风量和低风压时，将鼓风机空气入口的叶片开度缩小，将其驱动电动机的磁极从 6 极改变为 12 极，则其转速由 1200r/min 降为 600r/min，电动机消耗的功率约从 60kW 降至 20kW，即可节约电能 40kW 左右。

图 6·1·4—57 为该鼓风机的特性曲线，其中实线为鼓风机的风压与风量的关系曲线，虚线为不同工况下工作时电动机的耗能曲线。1 和 1′是鼓风机在输入口叶片全开，转速为 1200r/min 时的曲线；2 和 2′为输入口叶片开度为 12°，转速为 1200r/min 时的曲线；3 和 3′为输入口叶片开度约 12°，转速为 600r/min 的曲线。

辅助机械驱动电动机的变速方法，一般可用改变定子绕组接法以改变磁极对数来进行调

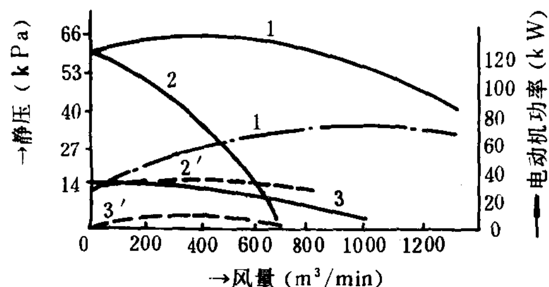


图 6.1.4－57 鼓风机的特性曲线

———鼓风机特性；………电动机特性。

1.1′－1200r/min，输入叶轮全开；2.2′－1200r/min，输入叶轮开度约 12°；3.3′－600r/min

整。用得最多的是双速，也可以用三速和四速。其次是用电磁转差离合器来进行速度控制。对于绕线式的异步电动机，可以用改变转子电阻的方法来调速。

8.4 舷外冷却器的应用

舷外冷却器，就是将淡水的装置直接设置在低于船舶水线以下的壳板外侧（或内侧），依靠高温冷却水与舷外水的温差和船舶航行时水与船体的相对速度带走装置内高温淡水的热量，以达到使淡水冷却的目的。

舷外冷却器的面积约为：柴油机冷却器 1.2～1.5m²/735kW；增压空气冷却器 1.2m²/735kW；电机循环冷却器 1.0m²/735kW。[34]

8.4.1 舷外冷却器的结构

船舶舷外冷却器的结构型式众多，主要有舷外盘管式、舷壁夹腔式、防摇鳍式、舵夹腔式、导流管夹腔式、舷外冷却水箱式和格栅式等等。其中，在内河船舶上用的最多是以下三种型式：

1）盘管式；

2）舷壁夹腔式；

3）格栅式。

盘管式舷外冷却器的结构，如图 6.1.4－58 所示，盘管设置在船壳的外侧，全部凸出于壳板。

舷壁夹腔式冷却器的结构，如图 6.1.4－59 所示，它设置在船壳的内侧，不会碰损，也不增加船体的阻力，但冷却效果较差。

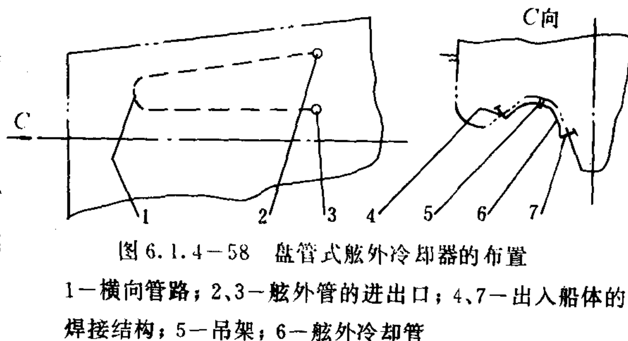


图 6.1.4－58 盘管式舷外冷却器的布置

1－横向管路；2、3－舷外管的进出口；4、7－出入船体的焊接结构；5－吊架；6－舷外冷却管

格栅式船外冷却器是组装在船体舷壁外的凹穴内，采用多根平行的导形直管、高、低温水腔和进、出水连接管等组成，如图 6.1.4－60所示。其优点有：

1）冷却器使船体航行阻力增加不大，且不易擦伤和碰损；

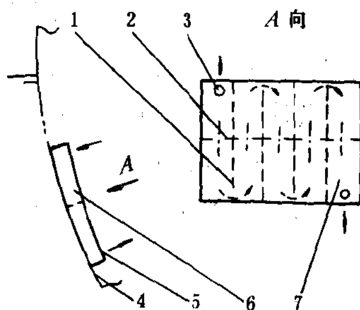


图 6.1.4－59 舷壁夹腔式舷外冷却器布置图

1－内横隔板；2－内纵隔板；3－高温水进口；4－壳板；5－冷却后淡水出口；6－本体；7－面板

2）导热系数大、冷却效果好，因而其外形尺寸小，结构紧凑；

3）采用平行直管，又取消了管路弯头，因而管内阻力小，可节省水泵功率；

4)冷却器加工方便，可以批量生产，并可根据需要组装成串联和并联。

因此，这种格栅式舷外冷却器成为内河船舶柴油机淡水冷却器的较理想的型式。

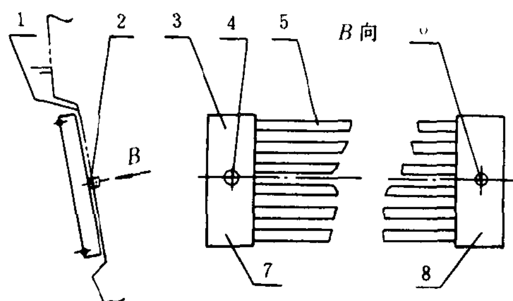


图 6.1.4－60 格栅式舷外冷却器布置图

1－凹穴；2－可折接头；3－本体；4、6－进出口接头；5－冷却管；7、8－高、低温夹腔

8.4.2 舷外冷却器的节能原因

舷外冷却器的节能，主要是直接利用舷外水冷却，省去了舷外水泵（或海水泵），从而节省了驱动水泵的动力消耗，尤其是格栅式舷外冷却器。其管路平直且没有弯头和横向管道，管内阻力小，其节能效果更好。

舷外冷却器，省去了船底进水阀及有关的滤清器等，从而简化了冷却系统，降低了造价。

9 船舶电力系统的节能[1][20]

船舶电力系统的节能技术措施有：发电机、电动机、照明器具和电缆等电气设备的高效能化；根据船舶辅机所需机械能的变化，力图减少运转所需要的电力。

9.1 减少照明用电

照明方面的节能，是指在保证一定的照明度的前提下，减少电的用量，其措施有：

1)根据不同处所、不同时间的照明需要，采用合理的照明度。

2)采用高效率的光源，当前常使用的光源，其效率相差很大，其中，一般白炽灯的效率约为8～20Lm/W；日光灯的效率约为75～85Lm/W；而高压纳灯的效率可达130Lm/W。

3)提高照明器具的使用效率，如采用适应灯的配光曲线的反射罩和定期清洁发光体等。

4)减少稳压器的损失（约为灯输入的9%），采用半导体稳压器代替扼流圈和磁力变压，约减少15%～20%的损失。

5)注意由于电压降低而引起的照明效率下降的问题。

6)在离开舱室时，关闭电灯。

近年来，在95%的新造船舶上采用的EP绝缘橡胶，使电缆重量和损失的减少，也是节电技术的一个方面。

9.2 船舶电机的节能

9.2.1 使用高效率电动机

连续运转的电动机，其电力的节省取决于提高电动机的效率。采用耐热性的聚酰胺纸和酯酰亚胺线等高性能的绝缘材料，可实现电动机的小型化和减少电动机的内部损耗，以提高效率。

连续运转电动机的另一个问题，就是针对负荷选用电动机的最佳额定功率。通常电动机在额定功率的75%～100%负荷下运转时，其效率最高，而在很低的负荷下运转，效率降低。

通常在选用电动机时，为了节省电力，必须从负荷容量、起动转矩和最大转矩等方面确定装用最佳的电动机。

9.2.2 电动机的变速运转

船用电动机大多是用来驱动泵类和风机等转速比较稳定的机械；其他用于驱动甲板机械类的起锚机和系泊绞车，以及用于驱动起重机械或电力推进装置等转速必须控制的机械。

在实际运行中，泵和风机的负荷尽管发生变化，而转速几乎不变。在低负荷时，效率将显著下降。为了使电动机高效率运转，需要调节电动机的转速(或功率)。

依电动机的种类不同，电动机的变速方式有：

1)变换交流异步电动机极数的二级速度控制，如将电动机的三相绕组由Δ接法改为Y形接法。

2)直流电动机，可以由电动机发电机组成的可变电压电源和可控硅发电机电动机组控制等。

3)交流异步电动机的换流器运转。

4)同步电动机的反向换流器运转。

5)交流异步电动机的涡流耦合器控制。

9.3 可控硅电子设备在船舶节能装置中的应用

船用电机的节能技术，在于提高电机本身的效率及实际运行中的效率、研制易于管理和可靠性高的电力转换和控制系统，以适应整个装置的需要。因此，采用大功率电子元件的电力控制装置将对船舶自动化和节能有重要的意义。

9.3.1 控制变速电动机

图6.1.4－61为半导体控制电动机变速方式的实例。

图a)是IM的一次电压控制，它是通过控制交流电压正负各波形的相位来实现输出电压的控制。

图b)为变换器驱动方式，它是实现变速交流电动机驱动的主要方式。当驱动电机为同步电机时，称为无整流子电动机

图c)是半导体变流器驱动方式，它是把交流电源的频率直接转换，得到不同频率的交流。其特点是主回路简单，容量大，能承受高压，且易于在同一主回路中再生运转。缺点是支路较多，输出频率的上限只能为输入频率的二分之一。因此，它只能用在船舶电力推进电动机等方面。

图d)是谢非尔毕斯(SCHERBIUS)半导体方式，它用在感应电动机的二次电压控制方面。采用这种方式可实现高效率变速控制。

图6.1.4－62是半导体发电机电动机组控制方式的一种，它是将输入的三相交流电用并联的三相电桥进行整流，将速度的基准信号和速度的输出器信号(TG)进行比较、放大，因而根据SCR输出电压实现速度控制。于是加速、减速、正反转、满载等都易于实现。这种方式可以得

到定扭矩、定功率两个特性，负荷也可相应的进行控制。

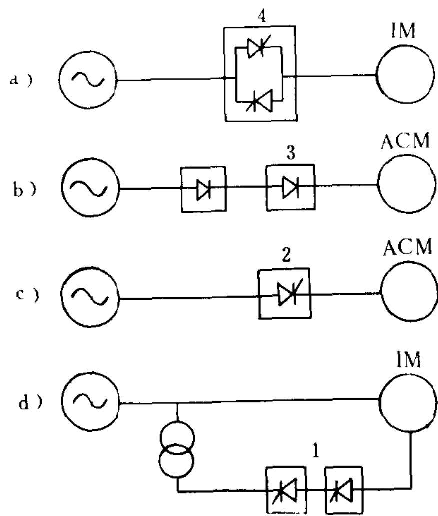


图 6.1.4－61　典型的变速电动机控制方式
ACM－同步电动机；IM－异步电动机
1－变换器；2－半导体变流器；3－变换器；
4－交流电压调节装置

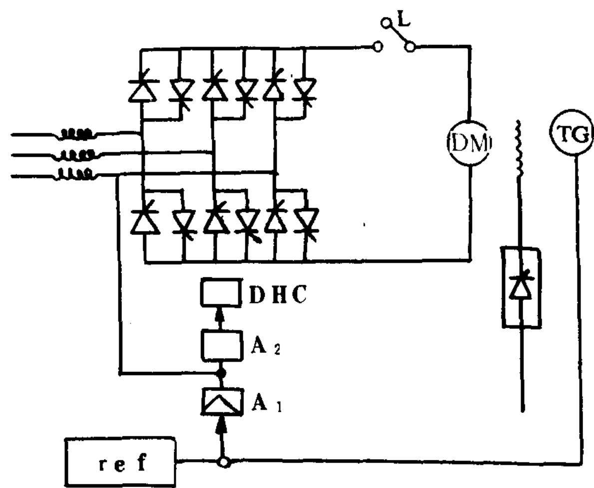


图 6.1.4－62　勒奥那多(LEONARD)半导体控制方式
DHC－相位控制回路；A_1、A_2－放大回路；ref－速度基准

9.3.2　可控硅逆变器

可控硅逆变器是修正主机轴带发电机因主机转速变化所带来的影响的装置之一。其构成如图 6.1.4－63 所示。控制的方法如下：

1)船舶运行时，轴带发电机发出的频率变化的电流，通过整流器变成直流，再经过可控硅逆变器将直流电流变换成频率一定的三相交流电供给船内电网。

2)三相逆变器是可控硅三相桥式电路，在某一确定的相位控制角触发控制。它把对应于直流电流太小的振幅每隔 120°相位角延滞的电流供给船内电网。

3)根据逆变器的相位控制，一直向电网供给三相交流电，即逆变器产生电能的有功分量，吸收电网的无功分量。而轴带发电机运转中所必须的励磁电流是通过从柴油发电机组上脱开辅助发电机提供的。此时，辅助发电机作为同步调相机(旋转电容器)运转。此旋转电容器也有吸收逆变器的高次谐波电流、稳定系统电压的作用。

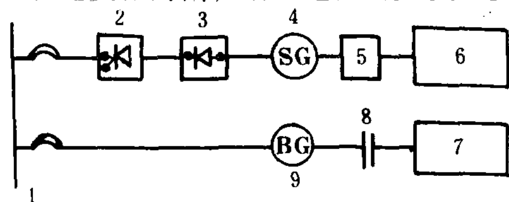


图 6.1.4－63　可控硅逆变器方式的轴带发电机
1－母线；2－逆变器；3－整流器；4－轴发电机；
5－推进装置(直接连接的不用)；6－主轴或主机；
7－柴油机；8－离合器；9－辅助发电机(兼调相机)

4)频率是由调整电能的有功分量来控制。如果系统的频率下降，即旋转电容器的转速下降，中间直流电路的电流自动增加，由电网供给其必要的电能。结果，旋转电容器的励磁电流由励磁装置调整，使系统的频率保持一定。

5)电网上的电能有功分量一旦增加，用于控制逆变器的电能无功分量也增加。若保持旋转电容器的励磁一定，则为了增加必要的电能无功分量、其电压不得不下降。为此，旋转电容器的励磁便供给电能无功分量，使电网的电压达到额定值。

6)即使主机转速下降到最低转速以下(如突然停机),从柴油机发电机开始启动直至进入运转状态,轴带发电机都能向船内三相交流电网供电。在这种情况下,不仅轴带发电机的励磁增强,而且逆变器的相位控制也同时进行。此时连接到电网上的负荷要与转速成比例地减少,因此应提前从电网上切断次要的负荷群。

9.4 快速无功补偿装置

船舶装卸货时,变极式交流起货机频繁地启、制动,将引起电路的负荷急剧变化。在这种工况下为大幅度提高功率因数,达到少开一台交流发电机而节约能源的目的,可采用可控硅无功补偿装置。它可以解决馈电线路容量随无功功率增加而变大、稳定系统电压及减少电力损失。

船舶电站的电网容量较小,在功率因数过低对电站安全运行有威胁时(例如发电机励磁电流过载);或者使功率因数提高、大幅度减少冲击电流,以少开一台发电机达到节约燃油消耗的目的,则可装设无功补偿装置。

快速无功补偿装置可使船舶电站的功率因数从 0.1～0.3 提高到 0.8,使电站运行的可靠性大幅度提高,改善了电能质量。例如,25000t 的货轮,在装卸货工况下,采用此装置可由原来所需的二台发电机组并联供电改为单机运行,仅此一项,油耗可降低 25%～30%。

10 船舶动力装置的节能管理[21][22][23]

技术管理方面的节能措施有很重要的意义,它往往决定全船最终的节能效果。

10.1 节油运行点的选择

柴油机在 80%～90%负荷下运行时,燃油消耗率最低。此时,如果再通过提高最高燃烧压力,使之保持在标定负荷下的水平,则在这种情况下运行的燃油消耗率将进一步降低。如果这时使转速也稍为降低,则有利于螺旋桨效率的提高。这是近来出现的一项广泛采用的节能措施。

如图 6.1.4－64 所示,在保持最高燃烧压力 p_{max}不变的条件下,转速 n 不变,平均有效压力 p_{max}降低,则称为负荷特性节油运行点“ERG”;如果同时降低 p_{em}与 n,则称为推进特性节油运行点“ERP”。

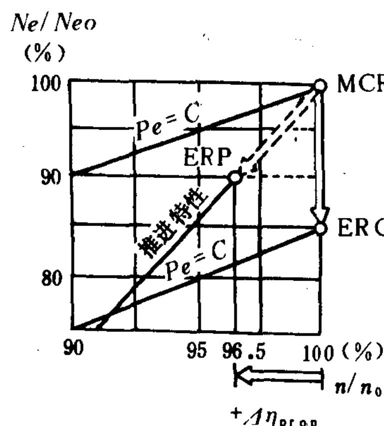


图 6.1.4－64 节油运行点

一般,转速 n 每降低 10%,推进效率 η_p 可提高 2.5%～3%。

而在一定范围内,p_{em}降低,在保持 p_{max}不变的再调整条件下,由于压力升高比提高,改善了柴油机的热效率,使 p_{em}每降低 10%,燃油消耗率可降低 2%～2.5%。

B&W 公司恰当地选择节油运行点后,燃油消耗率下降 4.3%,其中 n 的降低,使 η_p 提高 2.3%,p_{em}的降低又使燃油消耗率降低 2%。

SULZER 和 SEMT 等公司,都采用同样的措施,它们生产的柴油机,皆规定有减额输出区,可供配船时选用。

但是在减额输出时,如果将柴油机的 MCR 下降到原来的 6/7(85.7%),则意味着要用 7 缸机代替 6 缸机,这时主机功率和轴系强度的储备增大,初投资

增加，机舱尺寸也增大。所以，当考虑主机采用减额输出运行点是否有利时，就必须根据船舶的类型、总燃油耗量对营运成本的节减和投资增加差额的回收年限等各种影响因素，进行经济分析。选择一种成本－利润比最佳的使用功率。

10.2 减速航行

船舶在航行时的燃料消耗量大体上与航速的三次方成正比，减速航行的措施，就是利用船舶的这种推进特性，稍为降低航速来换取大幅度的节省推进所消耗的功率，从而节约燃料。表6.1.4－10表示在一定的距离内航行时，柴油机船的减速率与燃料耗量节减率之间的关系。减速率和燃料消耗量节减率的定义如下：

$$减速率=1-\frac{减速时的船速}{常用功率时的船速}$$

$$燃料消耗量节减率=1-\frac{减速时的燃料费}{常用功率时的燃料费}$$

表6.1.4－10 **一定距离内航行时柴油机船的减速率与燃料消耗量节减率的关系**

减速率（%）	燃料消耗量节减率（%）
1.0	2.0
2.0	4.0
3.0	5.9
4.0	7.8
5.0	9.7
6.0	11.6
7.0	13.5
8.0	15.4
9.0	17.2
10.0	19.0
11.0	20.8
12.0	22.6
13.0	24.3
14.0	26.0
15.0	27.7

表6.1.4－11 **减速航行**(107、114r/min)**与原转速**(124r/min)**的油耗对比**

性能参数 \ 转速(r/min)	124	107	114
船载重 (t)	4900	6200	6200
航速 (kn)	16	13.2	15
整机有效功率 (kW)	4005	3099	3661
日耗油量(t)	26.65	17.604	20.25

10.2.1 减速航行的实际效益

表 6.1.4－11 所列为育才轮(载重量为 7500t，主机功率为 5298kW)减速航行试验的油耗量对比；表 6.1.4－12 所列为其 14～17 航次的节油盈利率核算结果。

表 6.1.4－12　**各航次节油盈利核算结果**

航　次	不减速预计航行天数	减速后航行天数	减速后处长天数	实际节油(t)	盈利(元)	备　注
14	3.39	4.13	0.74	9.90	2035	1983 年 8 月
15	3.72	4.50	0.78	21.10	6091	
16	3.12	3.79	0.67	14.10	3743	
17	4.20	5.33	1.13	16.90	3767	
总　计	14.43	17.75	3.32	62	15636	
每吨重柴油为 370 元，每天生产成本以 2200 元计算盈利						

风茂轮在重载情况下(载货量为 11436t)；当柴油机(6ESDZ76/160 型)的转速由 100r/min 降低到 91r/min 时，其功率由 3809kW 减少到 2825kW，减少了 1084kW，约占 26%。而航速由 14.3kn 降低到 13.2kn，下降了 1.1kn，仅占 7.7%，相应的日耗油量由 19.65t 下降到 14.8t，每天节油 4.8t。

日本东京油船"日精丸"(48 万 4 千吨、主机额定功率为 33113kW)，航速原来为 14.3kn，减速到 11kn 航行，结果日耗油量从 203t 降到 120t，效果显著。

澳大利亚国家航运公司的几艘远洋船舶，采用减速航行，也收到类似的结果，其中 VENTURE号轮，航速由 22kn 减到 20.5kn，获得节省燃油 22%的效果。

表 6.1.4－13 所列为长江 1940kW 推轮在不同队形时的航速对比试验结果。可见，航行每千吨千米的耗油量随着驳船数(或推载量)的增加而降低和随着主机(两台 8NVD48A－2U 型柴油机)转速(或功率)的降低而降低。

江船在上、下水航行时，主机采用不同的转速运行，也可收到一定的节能效果和经济效益。航行于长江中下游的 1940kW 的推轮，在满足运行周期要求的前提下，上、下水时主机在不同转速的运行情况对比结果，列于表 6.1.4－14。

数据表明，在航行时间和周期基本相当的条件下，上、下水使用不同的转速比使用相同的转速时，油耗减少(见表中序号 3、6)。

表 6.1.4－13　**长江 1940kW 推轮不同队形航速对比**

队　形	转速(r/min)	有效功率(kW)	耗油量(kg/h)	航速(km/h)	耗油率(g/kW·h)	千米油耗(kg/km)	千吨千米油耗(kg/kt·km)
3×2×1000 吨	300	771.75	166	11.4	215.10	14.56	2.427
4×2×1000 吨	300	808.5	172	10.0	212.79	17.20	2.150
3×4×1000 吨	300	808.5	172	8.8	212.79	19.45	1.621
3×2×1000 吨	340	1073.1	230	12.9	214.15	17.83	2.972
4×2×1000 吨	340	1139.25	238	11.6	208.84	20.52	2.565
3×4×1000 吨	340	1139.25	238	10.3	208.84	23.11	1.926
3×2×1000 吨	375	1403.85	301	14.1	214.42	21.35	3.558

续上表

队　　形	转速 (r/min)	有效功率 (kW)	耗油量 (kg/h)	航速 (km/h)	耗油率 (g/kW·h)	千米油耗 (kg/km)	千吨千米油耗 (kg/kt·km)
4×2×1000 吨	375	1470.0	312	12.8	212.24	24.38	3.048
3×4×1000 吨	375	1470.0	312	11.4	212.24	27.37	2.281
3×2×1000 吨	400	1661.1	367	14.9	220.95	24.63	4.105
4×2×1000 吨	400	1719.9	377	13.7	219.18	27.52	3.440
3×4×1000 吨	400	1719.9	377	12.3	219.18	30.65	2.554

表 6.1.4－14　　**上、下水时使用不同转速的对比**

序号	主机使用转速　(r/min)	汉－申线航行小时 (小时/往返航次)	周　　期 (天/往返航次)	耗油量 (吨/往返航次)
1	上、下水航行均开 340	245.64	10.2	60.07
2	上、下水航行均开 370	221.10	9.2	69.79
3	上、下水航行均开 390	208.68	8.7	78.50
4	上、下水航行均开 400	204.36	8.5	83.11
5	上水开 370，下水开 340	225.54	9.4	65.80
6	上水开 390，下不开 370	211.10	8.796	75.68
7	上水开 400，下水开 390	205.26	8.55	81.36
8	上水开 390，下水开 340	215.54	8.98	71.09

表中序号 8 与 6 的航行周期相近，但序号 8 的情况(下水时主机转速较低)比序号 6 的情况节油 6.07%，这样，每年的节油量达 206t。

船舶减速航行，虽然可以减少燃料消耗，但是，整个船舶的运输费用，不只是燃料费用，还包括折旧费、检修费、船员工资、经营管理费、杂支费和附加费等。此外，一定航程，由于航速减低，航行周期变长，又会增加一些费用。因此，不能单纯以燃料费作为减速的依据，要对航速进行综合性的经济分析，全面考虑经济航速和盈利航速，以便为节能和增加企业的收益服务。同时，还应解决随着减速而来的一些技术问题。

10.2.2　减速航行存在的技术问题

技术上应注意的问题是：1)主机低负荷运转时，由于燃烧恶化会产生各种不良后果；2)发动机和船体产生振动或共振；3)主机管理方法和劳动组织的更新等。

日本邮船公司，在实行减速航行时，为了避免发生故障，根据发动机制造厂的建议和实际运转情况，其柴油机船的减速下限规定为主机的最大功率的 50%。并根据减速时的实际情况进行调速和管理。

从目前中国的远洋船舶的运输成本构成、营运条件和船舶技术状况分析，对于大多数不担负定期班轮任务的大功率船舶，其经济上的合理航速已下降到低于允许的低限功率(约为 40%～50%的最大持续功率)的航速。表 6.1.4－15 所列为若干海船的不同航速情况，可见，减速的程度实际上受主机允许减少功率的最大程度的限制。因此，改善船舶柴油机低负荷的性能，就成了当前的一项特殊课题。

表 6.1.4－15　　　　　　　　　　几艘海船的不同航速情况

项目＼船名	风　阳	风　光	清河城	玉　亭	大　兴	龙　门	大　冶
原用平均航速 V_s (kn)	15.68	15.86	17.58	15.8	15.2	15.2	15.2
最低营运费用航速 V_e (kn)	10.29	10.94	10.86	9.51	10.68	10.37	11.05
最大盈利航速 V_r (kn)	14.98	12.76	12.87	12.13	12.65	12.64	12.17
主机低限功率航速 V_m(kn) 以 N_{em}＝45％MCR 计	13.55	13.47	14.94 41.4％ MCR	13.1	14.2	13.3	14.2
在 N_{em}＝45％MCR 时相应的转速 n(r/min)	93.8	88.1	82	95	93.5	107.3	93.5

10.2.3　船舶减速情况下主机经济性的改善

柴油机在低负荷(转速也低)运转时，由于喷油压力降低与喷油器孔径的不匹配而使喷油的雾化质量变坏和由于废气能量的减少而使废气涡轮增压器的供气量与供气压力降低，从而配气定时不能适应。这些因素造成了燃烧不良、排气倒冲和燃烧室周围的积炭等。这不但大大降低了柴油机低负荷运转的经济性，抵消了减速航行带来的效益，而且影响了柴油机的运转可靠性。

目前解决这些问题的措施有：

1)改装喷油器，如改用小孔径的喷油器或采用喷孔流通截面积可变的喷油嘴；

2)采用可变喷油定时机构(VIT)，此机构使喷油始点能在一定负荷范围内随着负荷的减小而自动提前。使 80％～100％的负荷(按螺旋桨推进特性)下的最高燃烧压力，一直保持额定值，从而在低负荷下的压力升高比增大，热效率提高，燃油消耗率相对减少；

3)适当提高压缩比；

4)采用能在不同负荷下都能在高效区工作的增压器，例如 MAN 公司在其 N_A 型增压器上采用了可变截面的喷嘴环；

5)在排气管道中设置助燃装置或旁通装置；

6)采用相继增压系统。这种增压系统是在一台柴油机上采用几个增压器，而根据事先的安排，按照柴油机负荷的变化，相应地把一个或几个增压器脱离(或接入)增压系统，使供给余下的涡轮之废气压力升高而获得更多的能量。从而使柴油机在任何转速下均能达到良好的燃烧室扫气、获得足够的燃烧空气。在低速运转时，可以获得更好的排烟指标和油耗指标(见图 6.1.4－65)；

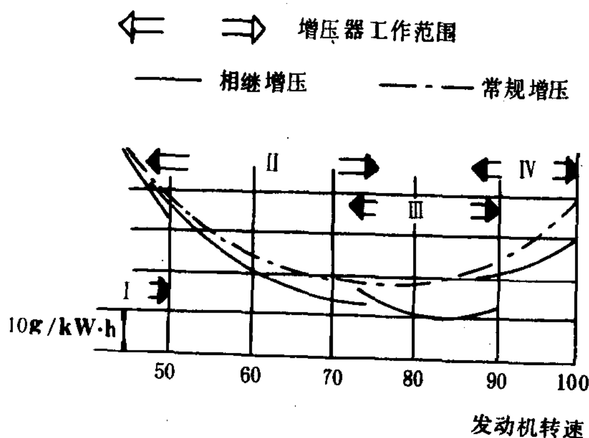


图6.1.4－65　相继增压与常规增压时的耗油率曲线
I～IV－投入工作的增压器数

7)采用双凸轮制，即采用两套凸轮，高负荷时用一套凸轮(进、排气的重叠角大)，低负荷时用另一套凸轮(进、排气的重叠角小)，避免了在低负荷下废气的倒冲；

8)减缸运转，即在低负荷时停止部分气缸的工作，使余下的气缸在较高的负荷下工作，以便维持其较高的经济性；

9)加装轴带发电机装置,吸收减速航行下主机的剩余功率。

11　采用金属清洗剂清洗机件以节油[24][27][28]

金属清洗剂分为固态(粉末)和液态两种。把金属清洗剂与水配制成所需浓度后代替汽油或柴油清洗金属零件,称为“以水剂代油”或水剂清洗。金属清洗剂代替汽油或柴油清洗零件是国家经委重点推广的新技术之一。

11.1　金属清洗剂的去污原理

金属清洗剂对金属零件的污垢和油渍能产生润湿、渗透、乳化、分散、增溶和发泡等一系列复杂的物理化学作用。清洗剂的主要成份是表面活性剂,它能够松弛和降低液体的表面张力;它的分子结构是由极性基团和非极性基团二部分组成,分子的一端由一个很长的碳氢链构成,只能溶于油,而不能溶于水,这种基团叫疏水性亲油基团;分子的另一端由较短的极性基团构成,它只能溶于水,而不能溶于油,这种基团称亲水性疏油基团。当这两种基团达到相对平衡时,就会有很强的去污能力。

在使用金属清洗剂清洗金属零件时,清洗剂的亲油基团首先吸附在金属零件上,与污垢和油渍相互溶解;亲水基团把金属上污垢逐步浸湿、松弛,并慢慢地渗透到零件与污垢之间,这时污垢表面开始松动,污垢的表面张力下降,清洗剂乳化、增溶而使污垢与金属零件分离,而且两者不能再结合在一起,达到了去污的目的。

在使用金属清洗剂时,要根据金属零件上的污垢或油渍的具体情况,选用刷洗或搅拌的清洗方法。

11.2　金属清洗剂的类别及其节油效果

清洗剂的种类繁多,各种金属清洗剂的价格、碱性(pH)、使用温度和使用效果不尽相同。较好的清洗剂,应该具备如下特点:

1)溶液无毒、无臭、不污染、不燃烧、安全可靠;

2)可以反复使用,根据清洗情况,适当补充金属清洗剂,保持浓度,在使用到洗涤效果变差时,再更换;

3)使用浓度小、去污力强、洗涤快;

4)pH 值较小,不“烧手”,无腐蚀;

5)容易保存,携带方便,适用于船舶。

表 6.1.4－16 为若干金属清洗剂的特点和节油效果。

使用金属清洗剂洗涤柴油机零件时,应首先清洗喷油器、油泵,然后清洗气缸套、活塞、气缸盖等。去除积碳后,再清洗柴油过滤器和机油过滤器。

在船上使用金属清洗剂代替柴油或煤油清洗发动机零件,不仅节约了能源、节省了清洗所需的费用,而且还使船员的劳动强度降低和工作效率提高。

表 6.1.4－16　　若干金属清洗剂的特点和节油效果

牌号、名称	特 点 与 效 果	生 产 厂 家
JL－1 高效金属清洗剂	1 吨清洗剂可以代替 30 吨汽油，清洗费用降低 70％以上	天津市力生化工厂
8138 金属清洗剂	低泡高效，1 吨清洗剂可代替 10 吨柴油，清洗费用降低	沈阳油脂化工厂
JF—5 金属水剂清洗剂	每 50kg 洗涤剂原液可代替 1 吨柴油或煤油，洗涤费用大大降低	中国航空精密机械研究所
清洗剂 1 号	国家经委要求推广的节能好产品	本溪市溪湖区彩七化工厂
J－31 清洗剂	与使用汽油、柴油清洗相比，洗涤费用可降低 60％～70％	河北省交河县第二化工厂
桂花牌金属清洗剂	每 kg 清洗剂，可代替 10～20kg 汽油，可节省费用 2 倍以上	桂林合成洗涤剂厂
LC 型金属清洗剂	成本低于汽油、柴油，节油量大	长春防锈材料厂和吉林柴油机厂
813 机械洗净剂	价格低、去污力强、泡沫适度、无毒、无臭	山东省淄博市张店工农化工厂
32－1 型金属清洗剂	高效低泡、造价低，使用寿命长、清洗费用大大低于用汽油	北京南苑工业洗涤剂厂

12　润滑油的节约[5][26][27]

采用低速柴油机的海船，润滑油费用约为燃油费的 7％～10％；采用中速柴油机的海船，润滑油费用约为燃油费的 10％～15％；长江船舶的润滑油费用约为燃油费的 15％～18％。因此，节约润滑油不仅是节能，也降低了运输成本。

12.1　节约润滑油的措施

1)减少润滑油的“跑、冒、滴、漏、烧”。润滑油的跑、冒、滴、漏、烧，不但浪费能源，增加开支，而且污染环境(水质)和影响柴油机的工作(积碳严重)。防止的措施，有：

(1)采用良好的活塞环结构与合理的气、油环匹配；

(2)加强气阀与导承间的封油作用；

(3)保持曲柄箱呼吸孔的通畅，使曲柄箱内保持零压；

(4)采用封油性能好的曲轴和其他传动轴的油封，如以非编织纤维作密封唇的新式油封；

(5)防止柴油和冷却水流入曲柄箱，以防润滑油过早失效；

(6)采用密封胶粘剂，以起紧固与密封作用并能防松和堵塞缝隙等。常用的有 Y－150 厌氧性密封胶和 702、703、704 和 705 等密封胶，它们的耐温程度不同。

2)抗磨添加剂的使用

润滑油添加剂可以大大改善润滑油的质量和性能。抗磨剂就是添加剂的一种，抗磨剂中的极性化合物与金属发生化学作用，能促进生成热稳定的边界油膜，以改善润滑状态，减少磨损，

防止产生卡住、擦伤、烧结，从而保证良好的润滑。

使用耐磨添加剂的直接作用是减少零件的磨损(这本身就是一种节能)，同时也延长了润滑油的使用寿命和降低柴油机的耗油率，以及延长柴油机的保养间隔，提高了船舶出勤率。

常用的减磨添加剂有：

(1)NASA 添加剂，这种船用抗磨添加剂经上海港驳船公司在港拖 5 号轮(主机为 6300C 柴油机)上的试验结果表明，加入 NASA 添加剂后，机舱噪音平均下降 3dB、油耗平均减少 5%、活塞环的磨损量平均减少 60%、活塞的磨损量平均减少 92%、缸套的磨损量平均减少 62%，烟度也有所降低，并使润滑油的使用周期延长，节约了润滑油约 1/3。其费用的节约与投入之比约为 4.88，经济效益显著。

(2)FP 减磨添加剂，这是上海原子核研究所研制的一种润滑油复合添加剂，它是利用辐射降解聚四氟乙烯(PTFE)超细粉和其他多种润滑油添加剂的组合，并经过专用设备加工而成的。它能对润滑油起保护作用，阻止润滑油分子由于受各种能量作用而产生的降解、氧化和交链反应等作用；也能改善润滑油的润滑性能，使润滑油不仅在低温、低负荷下有优良的润滑性，而且在高温高负荷的条件下也能有理想的润滑作用，即使在边界润滑条件下也能防止金属之间的烧结。实用结果证明，加入 FP 添加剂后，缸套的磨损量降，燃油消耗也减少。

3)使用锯末滤清器

锯末滤清器，结构简单，造价低廉和管理方便。其特点是①能使机油清洁、无杂质；②因其滤芯呈碱性。能降低润滑油中的酸值，使其使用期限延长；③大大减少机器内的结碳，延长清洗油底壳的时间及减少洗刷过滤器的次数；④减少机件磨损，延长使用寿命。

锯末滤芯的材料为红、白松锯末，经元目筛网选筛后的锯末，再添加纯碱、纸浆压制而成。它能及时地将润滑油循环过程中带回的机械杂质、残碳及润滑油受高温所形成的胶化物吸附起来，从而达到清洁润滑油的目的。

实际使用的效果表明，它不但可节省润滑油、减轻机件的磨损，而且管理人员清洗过滤器及油底壳的次数减少，从而减轻了劳动强度。

大连海运公司的试验表明，凡使用锯末滤清器的船舶，润滑油的更换周期较说明书上规定的时间延长 1 倍以上。

4)掌握润滑油运行中的质量，合理换油。

润滑油的各项指标都有一定的要求，其质量合格与否，将直接影响机组的运转与寿命。对于使用一定时间的润滑油，由于性能降低必须更换。从使用的角度要求润滑油经常维持良好的性能指标是必要的，但是过于苛求而频繁地换油会造成经济上的损失和能源上的浪费。因此，一般对润滑油的质量都有一定的控制标准。为此轮机人员必须经常检查润滑油的性能状况，并要求定期进行分析化验。但是正规的化验工作只能在有条件的化验室中进行，因而，对润滑油的更换，往往带有盲目性，而造成浪费或超期使用。

为了便于随时掌握润滑油的运行质量，上海船研所研制成一种便携式润滑油简易分析仪，它能够快速而方便地对润滑油的主要指标进行现场化验。其主要的分析项目有粘度、含水量、不溶物含量、酸碱度和海水含量等。利用这一仪器可掌握润滑油运行中的质量，合理换油。

12.2 废润滑油的回收与再生

用过的润滑油，经过再生处理后重新使用是节约润滑油的一个办法。

回收的废润滑油，除了含有大量水分外，还混有大量燃油、不溶解成分、尘土、积炭、变质的

添加剂、磨损的金属以及其它杂质。因此要用一整套的物理——化学方法来处理,以除去各种非润滑油类物质,使之变成一种其质量与炼油厂提供的新润滑油相当的再生润滑油。

12.2.1 船舶自理再生法

船上润滑油的再生法主要有:离心分离机的机械方法、油槽作沉淀槽的沉淀方法、利用温水或蒸汽的洗净法和添加碱溶液以中和酸分的方法等。具体办法有:

1)将油加热到约60℃用离心分离机分离。它可除去劣化油中的水分、淤渣、磨耗粉尘、锈以及其它与油的比重差别大的物质,但不会有本质上的再生。

2)将油加热到约60℃,加注同样温度的水再用离心分离机处理。此法对劣化而增加粘度的柴油等形成的乳化淤渣进行分离,颇有效果。

3)直接吹入低压蒸气后,用离心分离机分离。此法与方法2)具有同样的效果,劣化油中的干淤渣越多时,形成乳化淤渣。而分离的作用越大,也可有效地除去强化酸成分。

4)苏打洗净后,用离心分离机分离。它可中和油中的酸性,脱酸效果大,通常是将浓度约1%的稀碱液适量加于约80℃的油中,或将油送入碱溶液中处理(如用第三磷酸钠液),再用离心分离机脱水,可获得良好的再生油。

5)将油加热到80℃,沉淀一昼夜以上的方法。此法只能沉淀而分离油中的水分、淤渣、磨耗粉尘和锈等大粒子。再生效果低于方法1)。

6)并用清净分散剂和碱洗净的方法。将块状淤渣破粹分散,用碱中和酸性物质,效果大于方法4),其特点是再生油的性状改善,即残碳、灰分、酸值 和夹杂物等减少。

7)用旁路滤器再生的方法。在LO泵的出口侧用旁路的纤维素滤器,在发动机运转的同时过滤油中的夹杂物,可延长油的使用寿命。

12.2.2 化学再生法

用化学方法来裂解添加剂,可将添加剂和杂质一并除掉。一般使用的再生工艺为:①酸——白土工艺;②真空蒸馏——白土工艺;③蒸馏——加氢精炼工艺;④溶剂预处理——蒸馏——白土工艺;⑤丙烷——酸——白土工艺等。

从表6.1.4—17可见,经化学法再生的润滑油,其性质与新润滑油相当,因此,它完全可以满足使用上的要求。

表6.1.4—17 **再生油与新润滑油的典型物理性质比较**

项　目	SAB 20号		SAE 40号		RR 40号	
	再生油	新油	再生油	新油	再生油	新油
运动粘度 (a)37.8℃(mm^2/s)	55	55	155	160	185	195
(b)100°F SUS	250	250	720	740	855	900
运动粘度 (a)98.9℃(mm^2/s)	7.3	7.3	14.0	13.7	13.7	14.0
(b)210°FSUS	50	50	74	73	73	74
粘度指数	96	98	95	95	71	64
比　重	0.8783	0.8778	0.3355	0.8789	0.9047	0.9042
闪　点　℃	215	215	245	245	260	240
灰　分%(质量)	无	无	无	无	无	无

13 船舶节能的潜力[29]

船舶节能总的含意是以最少的燃料消耗取得最大的运输量。影响船舶能耗的因素大体上

包括三个方面，即船舶动力装置方面、船体方面和管理方面。

构成运输船舶燃料经济性的诸因素为：完成的运输量、燃料的消耗量和燃料的价格。

增大船运输量的途径主要有：①根据船舶性能，合理地确定装载量、装卸方法和航速等；②合理配置动力装置的形式（主、辅机及推进方式等）；③提高货运经营效果，这涉及到货源的组织、船舶调度和减少空载航行等；④减少非生产性停航，这与维修管理制度和船员的技术水平等有关。

降低燃料消耗量的途径有：①提高热能的转换效率，即提高发动机效率和辅助锅炉效率等；②提高耗能设备的效率，包括提高辅助机械、甲板机械和螺旋桨等的效率及减少能量传递损失，如轴系传动、输、配电、管道及换热器的损失等；③提高系统的综合效率，包括余热的利用和采用复合装置等；④降低动力的需要量，例如减少船的阻力、走经济航道和减速航行等；⑤提高轮机员和驾驶人员等的技术素质和操作管理水平。

使用廉价燃料，由于燃料单价降低，从而减少燃料费用。但使廉价的劣质燃料要设法改善燃料使用前的质量控制（如控制粘度、除去杂质和防腐蚀等）和使用后设备的维修保养以保证使用效果。

最近，国外在对各项船舶节能措施进行单项试验的基础上，对船舶节能的潜力进行了测算，其结果列于表 6.1.4—18，测算的方法是通过试验测出目前几项主要节能措施的实际效果，然后将各项节能措施的单项节油率累计加在一起，从而算出总的节油效果。

表 6.1.4—18　　**十项船舶节能措施节油率估算表**

序　号	节　能　项　目	单项节油百分比	用百分比表示的船舶耗油率	节能措施的类别
	1975 年间建造的船舶		100	
1	减低船舶航速 15%	24.4	75.6	提高操作技术
2	减轻船舶自重	2	74.1	改进设计
3	设计合理的船体线型	8	68.2	改进设计
4	改进船体水下部分的涂料	6	64.1	技术改进
5	螺旋桨转速从 100r/min 降至 60r/min	12	56.4	技术改进 提高操作运行技术
6	合理设计舵和导流管	5	53.6	改进设计
7	选用低油耗发电机，耗油率从 210g/kW·h 降至 175g/kW·h	16	45.6	船舶动力装置技术改进
8	主机轴带发电机	2	44.1	船舶动力装置技术改进
9	减少日用电能和热能的消耗	1	43.7	提高操作技术
10	废热的合理利用	2	42.8	船舶动力装置技术改进

除了表中所列的项目外，还有一些具有明显节油效果的措施没有计入，例如风帆助航（约可节能 10%～15%），船舶纵倾航行（约可节能 2%～10%）等。然而，仅仅根据表 6.1.4—18 所列的十项主要节能 措施，其总的节油率已达到 57.2%，在偿还了节能投资以后，可以使船舶营运成本下降（25%～35%）。可见船舶节能的潜力是相当大的。

当然，并不是各种类型和各种吨位的船舶都可以同时采用所有的节能措施。表 6.1.4—18 所列的数字也只能作为一种定性的分析，但是其测算的方法是可靠的，因为测算涉及到的每一

项节油率的数据都是通过实际试验而获得的，它应该是实践中可以达到的指标。

中国目前仍在使用和仍在生产的若干船用柴油机的燃料消耗率，与国外先进水平比较尚有很大的差距，一般约高8%～10%。表6.1.4—19所列为中、外船用柴油机耗油率的比较情况。可见，从船舶节能的角度衡量，船舶动力的更新换代是完全必要的。

表6.1.4—19　**中、外船用柴油机的耗油率比较**

项　目		高速机	中速机		低速机
			高中速机	大缸径中速机	
燃油消耗率(g/kW·g)	中国	230～250	218～238	211～230	197～220
	外国	204～220	195～211	175～205	165～190
燃油粘度(100°F雷氏1号)	中国	轻柴油	20号、30号重柴油		1000～2500s
	外国	有的用1000s	1000～1500s或更高		3500s
滑油消耗率(g/kW·h)	中国	6.8～13	2.7～6.8		
	外国	2.7～4	1.4以下		0.68～0.95

现有船舶动力的使用状况，或机、船的配套，也存在缺陷。例如，长江汉——申线客货船主机常用工况的耗油率比其最低耗油率要高6.8～17.7g/kW·h；汉——渝线客货船主机常用工况的耗油率比其最低耗油率高0～9.5g/kW·h；汉——宜线客货船主机常用工况的耗油率比其最低耗油率高6.8～9.5g/kW·h。

船舶的节能工作，除了改进船用发动机外，还必须考虑包括主、辅机在内的整个动力装置的效能，而且应探求有效地利用余热和改进推进装置，同时也要考虑船、机、桨的合理配合。

目前所使用的各类船舶，除了主机外，其它方面也有相当大的节能潜力，以长江船舶为例，所使用的大都是烟管废气锅炉。这种锅炉的烟气流向和纵掠管式的对流换热决定了它的传热效率很低。如果将烟管废气锅炉改为强制循环的水管锅炉或热管锅炉，便可大大提高废气余热的回收率。

提高管理水平，在船舶节能工作中也是极其重要的环节。就当前的实际情况看，空载航行、压港现象和停航现象并不罕见。这是航运业中最大的浪费，对船舶能耗和提高船舶运输的综合经济性极为有害。

从船舶运输的燃料消耗指标而论，与国外相比，也有很大的差距。"六·五"期间，中国的船舶柴油燃料消耗指标是9.5kg/kt·km，而美国是6.5kg/kt·km，要低将近三分之一。

与铁路运输比较，船舶运输的能耗应该比铁路运输的低，但"六·五"期间铁路运输的柴油燃料消耗指标是4.5kg/kt·km，反而比船舶运输的燃料消耗指标要低，这表明当前船舶运输的能耗还太高。

可以看出，中国的船舶节能工作是有很大潜力。

14　船舶节能措施的经济标准[30][31]

为了避免由于盲目性而造成人力、物力和财力的浪费，必须对节能项目进行技术经济分析。

14.1 船舶燃油消耗量考核标准

14.1.1 内河运输船舶燃油消耗量的计算

航行时燃油总消耗量 Q 见本篇第二章。

14.1.2 长江运输船舶燃油消耗量计算

航次燃油总消耗量 Q 见本篇第二章。

14.1.3 海洋运输船舶燃油消耗量计算

考核期内的燃油总消耗量 Q 见本篇第二章。

14.2 年节油量的计算

采用的方法是在航行相同海里数的基础上比较两年间的耗油量。

对于单船的节油量为：

$$\Delta FOC_j = (FOCM_{oi} - FOCM_i)(\sum_j OG_i) \quad (6.1.4-8)$$

式中 i 表示各航次；j 表示各船舶；OG 是航程(海里)。

$$FOCM_{oi} = \frac{上一年的总耗油量(\sum_i FOC_{oi})}{上一年的总航行里数(\sum_i OG_{oi})}$$

是作为计算基准的上一年的平均里油耗量。

$$FOCM_i = \frac{今年的总耗油量(\sum_i FOC_i)}{今年的总航行里数(\sum_i OG_i)}$$

对于船队的年总节油量，则为单船节油量的总和：

$$\Delta FOC = \sum_j (\Delta FOC_i) \quad (6.1.4-9)$$

14.3 节能措施的经济标准

进行某项节能投资，其经济效益如何？这是一个企业必须慎重考虑的问题。

衡量某项节能措施是否可行，主要视其节能效果和经济效益两方面。节能效果的主要指标是用单位投资取得的年度节能数量来表示，或用它的倒数，即每年节约一吨标准煤所需的投资额来表示。目前，节能项目的平均控制指标为 1 吨标准煤/300 元，而国家规定的节能效果标准为 1 吨标准煤/400 元。经济效果的主要指标，是投资的回收期，对于利用银行贷款进行的项目，是贷款的偿还年限(或称偿还期)，偿还年限越短，经济效果越好。实际上，这两个指标是相互关联的。一个效果好的节能项目，一般，其经济效益也是好的。

评定节能投资的经济效果，除了用贷款偿还期外，还应用“收益的净现值”来衡量。还有的用“通用年度费用法”来进行节能措施的经济分析。

14.3.1 节能投资的偿还期

节能措施的追加投资，要靠节省下来的燃油费来偿还。如果节能措施的投资是通过银行贷款来取得，则常用的贷款方式是：一次贷款 P，以后在一定的时间间隔(如一年一次或一季度一次等)，分期等额还款。偿还期的计算见本篇第二章。

14.3.2 节能收益的净现值

所谓净现值(NPV——Net Present Value)，其实质是在节能装置的寿命期内，各年度收益 A 的现值总和与投资 P 之差。计算中应计及金钱的时间价值，即应考虑资金的利息率。

NPV 为正值，则表明可获得计算中规定的收益利率；NPV 为负值，则说明达不到计算中收益利率。

净现值的计算如下：

$$NPV=A\frac{(1+i_R)^{N_P}-1}{i(1+i_R)^{N_P}}-P>0 \qquad (6.1.4-10)$$

式中：i_R——企业内部利润率，是金钱的时间价值在企业利润上的反映。在没有基准的情况下，可取 $i_R=i$，即以内部利润率等于银行的利息率，这样计算的净现值具有现实意义和可比性；

N_P——为附加节能设备的寿命期限，年。

对于几个节能投资方案进行比较时，NPV 值最大者是最优的方案。

14.3.3 通用年度费用法

通用年度费用，可由下式计算：

$$AC=(P-L)CR+iL+M \qquad (6.1.4-11)$$

式中：AC——通用年度费用，元/年；

P——节能总投资，元；

L——节能设备在其使用寿命结束时所能收回的净金额，也称为残值，元；

CR——资金回收系数；

i——纳税前可能接受的最小利润率；

M——年度运行费，它包括能源费用和维护费用，元/年。

使用通用年度费用的计算式，对选用不同方案的节能措施进行计算、比较，就可找出年度费用最小的最佳方案。

14.4 船舶动力装置节能措施可行性的讨论

一般，节能投资的可行性，依据的准则分别为

①节能投资的偿还期必须短于或等于贷款期；

②节能收益的净现值必须大于零；

③年度费用越少，经济效益越好。

下面利用这些准则对一些具体的节能项目的可行与否进行讨论。显然，油价和附加设备的价格不同，其结果将是不同的，因此，这里的讨论，仅是一种示例，以求明确某些因素的相互关系。

例 1）川江客货船甲和长江客货船乙，采用减速齿轮箱提高推进效率的节能措施，是否可行？

对于川江客货船甲，如果螺旋桨的最大直径不超过 2m，则在与原来同样的航速下，用齿轮箱减速传动和推进装置与直接传动的推进装置比较，每年可节约燃油费 7464.5 元，减去维修费 210 元，则每年多收益 7254.5 元。加装减速齿轮箱的追加投资 P 为 139520 元，银行贷款年利息率为 6.68%，贷款期为 10 年，则：

$$N=\frac{\lg\frac{1}{1-i(P/A)}}{\lg(1+i)}$$

$$=\frac{\lg\frac{1}{1-0.0668(139520/7255)}}{\lg(1+0.0668)}=\infty$$

对于长江客货船乙，用齿轮箱减速传动与直接传动比较，追加投资为 25 万元，每年节约的燃油费与附加设备的维修费之差约为 2.6 万元，则：

$$N=\frac{\lg\frac{1}{1-0.0668(25/2.6)}}{\lg(1+0.0668)}=15.9\text{ 年}>[N]$$

由以上两船的情况计算结果可知，川江客货船甲加装减速齿轮箱的节能措施，其追加投资的贷款偿还期为无穷大，即永远偿还不了，因此，它是不可取的。

长江客货船乙，加装减速齿轮箱的节能措施，其追加投资的偿还期也超过了贷款期，单就这一标准而言，也是不可取的。再考核其净现值的情况，设该附加设备的寿命与船舶相同，为 20 年，则 20 年间可得净现值：

$$\begin{aligned}NPV&=A\frac{(1+i_R)^{N_P}-1}{i(1+i_R)^{N_P}}-P\\&=26000\frac{(1+0.0668)^{20}-1}{0.0668(1+0.0668)^{20}}-25000\\&=32430\text{ 元}\end{aligned}$$

即除了能达到 6.68%的利息率之外，还能净赚 32430 元，因此从经济上看还是有利的。而且，从节能的角度看，每年可节约 117.64t 重柴油和轻 35.38t 轻柴油。就这一点来说，在长江客货船乙上采取该项节能措施又是可取的。

由以上分析可知，由于附加节能设备的寿命大于贷款期，因此，不能满足偿还期标准的附加节能措施，有可能满足净现值标准的要求。因此，这两个评价标准，应同时考虑。

例 2)为了节省能源，某船对全船供水主管路进行技术改造，初步选择的管子尺寸、建造成本及每小时耗能折合的抽水费用统计如下：

管子尺寸	预计建造成本	每小时抽水费
2in	40000 元	2 元
2.5in	50000 元	1.5 元
4in	80000 元	0.75 元

若使用寿命为 16 年，投资利润率为 10%，每年抽水 4000h，如果残值忽略不计，那么采用哪一种尺寸的管子最经济？

以通用年度费用法计算如下：

	2in	2.5in	4in	
P	40000	50000	80000	元
n	16	16	16	年
L	/	/	/	
M	8000	6000	3000	元/年
i	10%	10%	10%	
CR	0.127	0.127	0.127	
(P—L)CR	5080	6350	10160	元/年
iL	/	/	/	
AC	13080	12350	13160	元/年

根据计算、比较，三个方案中选用 2.5in 的管子最经济。

另外，对同一动力装置，采用同样的节能措施，其经济收益还与动力装置每年运行的时间有关。例如，瑞士 BBC 公司，用提高涡轮增压器的综合效率 η_{TK} 来改善柴油机动力装置的经济性时，因提高了 η_{TK} 的涡轮增压器，其费用（造价）较高，增加这一附加投资后，其经济效益如何？以四冲程柴油机和二冲程柴油机分别考查之：

1）四冲程中速柴油机：

其条件为：作船用主机，带定距螺旋桨；柴油机价格为 300 瑞士法朗/kW；80％负荷的运行时间以每年 2000、5000、8000h 计；偿还期为五年。燃油价格为 340 瑞士法朗/t，其涨价率假定与资金的利息率（取 10％）相同。涡轮增压器型号由 VTR—1 改为 VTR—4，假定在 100％负荷下的增压比 π_k 为 3.0，综合效率由 62％提高到 67％。

为了比较两种型式的涡轮增压器的经济效益，用现金法计算增加的费用和获得的收益，并绘成图 6.1.4—66。

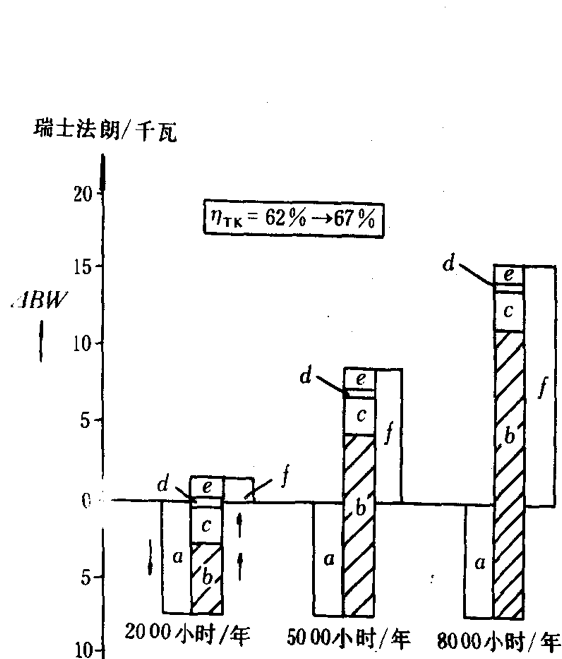


图 6.1.4—66 η_{TK} 提高后四冲程柴油机在每年运行时间不同的情况下之现金差值ΔBW

a—改善涡轮增压器所增加的费用；b—燃油费用降低值；c—提高 P_{em} 并降低换气损失的费用降低值；d—减轻柴油机比重量的费用降低值；e—较少燃油贮存量增加了船舶装载量的费用降低值；f—柴油机用户的纯收益

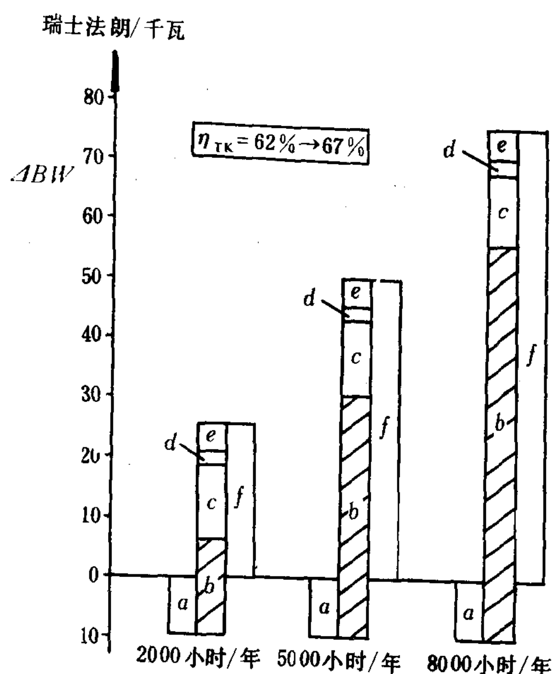


图 6.1.4—67 η_{TK} 提高后，二冲程柴油机的现金差值ΔBW

（图注与图 6.1.4—66 同）

从图中清楚可见：

（1）改善涡轮增压器所造成的费用增加是合算的；

（2）每年运行 8000h 时，纯收益相当于现金约 15 瑞士法朗/kW（相当于 5％的基础柴油机价格）；

（3）每年运行约 1400h 时，费用的增加和收益相抵销，若运行的时数低于此值，则投资不能偿还；

(4)若只考虑燃油节约的效果，不计其它费用的降低，则增加费用和收益相抵销的平衡点为每年运行3200h。

2)二冲程低速柴油机：

二冲程低速柴油机的收益计算与四冲程柴油机有所不同。对二冲程柴油机假设其价格为400瑞士法朗/kW和柴油机单位重量为38kg/kW。其余条件仍保持不变。计算结果示于图6.1.4—67。

从图中可以得知：

(1)改善涡轮增压器所增加的投资远小于由此所得纯收益的值；

(2)每年运行8000h时，所得纯收益相当于现金为75瑞士法朗/kW，即占基础柴油机价格的19%；

(3)理论上涡轮增压器增加的投资在运行零小时时即已得到补偿，因为由提高平均有效压力P_{em}所得每千瓦功率的费用降低已等于改善涡轮增压器而增加的费用。

参 考 文 献

[1] 宋建生等：国外船舶节能技术，武汉航海学会编缉委员会，1985年2月

[2] 孙南馨：效率更高，通用性更好的日立HZ导管，内河航运，1983年第3期

[3] 孙勤等：串列螺旋桨及其设计方法，人民交通出版社，1985年2月

[4] 王德恂等：串列螺旋桨在内河船上的初步应用，武汉水运工程学院学报，1980年第3期

[5] 刘元诚等：柴油机及其动力装置节能技术措施，人民交通出版社，1985年1月

[6] 王献孚：现代风帆船帆具研究与展望，武汉造船，1986年第2期

[7] 滨田：船舶の自动化の现状と将来——自动化帆船の出现じ关连して，日本船用机关学会志，第20卷第2号

[8] 森　雅人：少人数船と技术开发の动向，日本船用机关学会志，第20卷第9号

[9] 1984年じおける船用机关技术の进步，日本船用机关学会志，第20卷第7号

[10] SULZER公司：SULZER SLM　Con—Speed Gear 资料，1985年

[11] SULZER公司：RTA二冲程低速柴油机资料，1985年

[12] Y・Le・Disez等：SEMT. Pieistick节油型柴油机，柴油机，1986年第1期

[13] 王汉苍：配合B&W5L80MCE柴油机的一个轴带发电机系统，中国造船学会第三届轮机学术年会论文集，1986年12月

[14] 张福茂等：轴带发电机技术及其应用，内河运输，1982年第2期

[15] 董树屏等：热能转换及利用，机械工业出版社，1985年3月

[16] SULZER公司：效率增强器的技术数据，1985年3月

[17] 一色尚次(王富译)：节能101例，烃加工出版社，1985年12月

[18] 刘和声等：热管锅炉在长江船舶上的应用，船舶节能，1986年第4期

[19] 李景培：6180柴油机整机性能提高与节能，船舶节能，1986年第1期

[20] 陈绍歆：船舶电站节能用快速无功补偿装置，船舶节能，1986年第1期

[21] 陈成德：船舶节油技术，人民交通出版社，1984年4月

[22] 吴士中：育才轮减速运行节约燃油的试验，船舶节能，1987年第2期

[23] 朱正新:船舶柴油机减速运行中的问题与对策,船舶节能,1986 年第 1 期
[24] 崔秀库:推广金属清洗剂节能效果显著,船舶节能,1986 年第 2 期
[25] 汤仁勋等:耐磨添加剂在船舶柴油机上的应用试验,船舶节能,1986 年第 4 期
[26] 曲世新等:FP 减磨节能添加剂的研究,船舶节能,1987 年第 1 期
[27] 刘宝家等:节约能源 1000 例[5],科学技术文献出版社,1985 年
[28] 刘宝家等:节约能源 1000 例[6],科学技术文献出版社,1986 年
[29] 刘元诚:能源形势与船舶节能潜力,船舶节能,1986 年第 1 期
[30] 任德功:国标《运输船舶燃油消耗量》审查会简介,船舶节能,1986 年第 2 期
[31] 吴祉明:船舶节能技术经济分析,船舶节能,1986 年第 1 期
[32] 杨传祖:中、小型船舶柴油机排气余热的利用,武汉造船,1986 年第 1 期
[33] Fischereischutzboot"Frithjof":"Schiff und Hafen",1969. NO. 2. S. 1187.
[34] O. Geisler, M. Gietzelt, W. Tischler, "Wirkungsgrad Von Abgaskesselanlagen auf Motorschiffen", HANSA, Sondernummer, April, 1976, S593——600.

第 5 章　主、辅机的安装和检验

1　船舶主柴油机的安装和检验

1.1　概　　述

船舶主柴油机(以下简称主机)在船上的安装质量决定了动力装置的安全性和可靠性。主机的安装与轴系安装流程和机舱内的船体结构有关。在安装工艺的流程上,主机的安装与轴系的安装是相互平行、相互交叉进行的。主机的安装是以轴系的理论中心线为基准的,而轴系的理论中心线是通过某种工艺方法(拉线法或光学仪法)来测得的。

应按具体情况选择主机的安装原则。根据主机自身的重量、尺度和吊装时的起重能力等情况来决定主机的安装是采用整机吊装或部件吊装;根据船舶建造的总工艺流程和船舶在船台上和下水后的变形程度等情况来决定主机的安装是在船台上进行或在船舶下水后进行。

在进行主机的定位安装以前,必须完成下列各项工作:

1)船舶的主甲板以下,自机舱至船尾的船体结构的焊装、火工校正等工作已结束;

2)船舶的主甲板以下,自机舱至船尾的所有舱室的试水工作已经结束;

3)船体基线的测量工作已结束,并符合有关的技术要求;

4)机舱至船尾范围内的较大的设备均已吊装完毕。

1.2　主机基座的准备

主机基座的结构形式很多。在双层底结构的船舶上;基座可以焊装于双层底的结构上,无双层底结构的船舶上,基座可以直接焊装于船底部结构上(图 6.1.5—1);有些基座本身就是双层底结构中的一部分(图 6.1.5—2)。

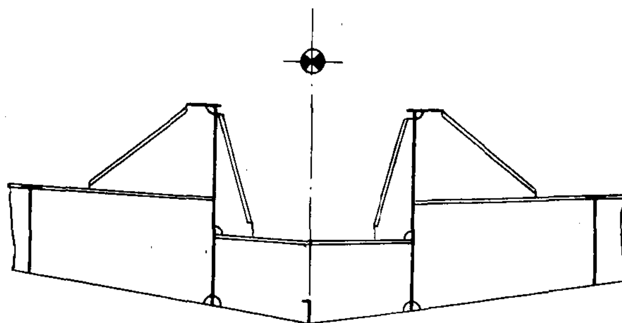


图 6.1.5—1　船底部结构上的基座

主机基座通常是按轴系理论中心线焊装的。焊装后,需对基座进行测量和检验。根据轴系理论中心线,通过机仓首尾基准点拉一根钢丝线,再将此钢丝线垂直投影到基座平面上,并划

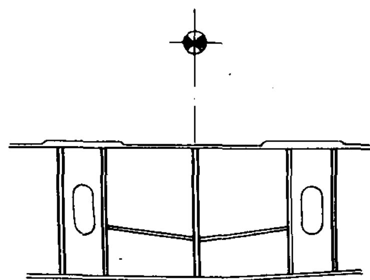


图 6.1.5—2 双层底结构中的基座

出其投影线，以此投影线为基准即可检验基座的位置偏差。同时根据有关技术要求，检验基座的形状和尺寸偏差。

基座的位置和形状偏差受许多因素的影响。在规定这些偏差的允许值时，必须考虑船舶的具体情况，如：轴系的长度、尾管镗孔的余量和船体结构的建造公差等。表 6.1.5—1 为基座位置和形状尺寸允许偏差的数值，可供参考。

表 6.1.5—1 **基座形状和位置偏差**

	检　验　项　目	允许偏差 mm
位置	基座支承面端部至隔舱壁距离	±10
	基座中心线与理论中心投影线距离	±5
	基座支承面至轴系理论中心线距离	±3
形状	基座支承面长度	+10 —5
	基座支承面宽度	+10 —5

基座的支承面必须平整，以能较好地承受主机的作用力。为此，需对基座的支承面，特别是不装有焊接固定垫片的支承面，进行加工。加工方法可采用机械加工或采用手工操作。

采用手工操作时，一般用风动圆砂轮机和平面盘形砂轮机对支承面上焊装固定垫片的部位进行磨削，并用平板、蓝油检查。加工部位的着色要求一般为：在 $25\times25mm^2$ 内 2～3 点。采用机械加工时，需配备专用的基座铣削设备。铣削的粗糙度可达 25～6.3。

主机基座上焊接固定垫片的定位一般是与轴系拉线确定其理论中心线时同时进行的。固定垫片的定位实际上也是主机基座上安装孔的初定位。固定垫片位置确定后，基座安装孔的位置只能在此垫片范围内作适量的调整。

用不同的工艺方法可将代表轴系和主机的理论中心线投影至基座平面上。如：在代表理论中心线的钢丝线上的若干处悬吊垂线（短钢丝），其垂足在基座平面上的连线即为主机中心线在基座上的投影线（见图 6.1.5—3）。以此投影中心为基准，根据主机安装图纸的要求，由船首向船尾划出主机两侧基座安装孔中心的连线；以机舱后隔壁或某号肋骨为基准，在投影中心线上划出主机某缸中心线的位置。由此便可划出各安装孔的中心位置以及焊接固定垫片的位置。

同时，还可确定主机安装时所采用的活动垫片的厚度。考虑一定的加工余量后，便可进行活动垫片的预加工。

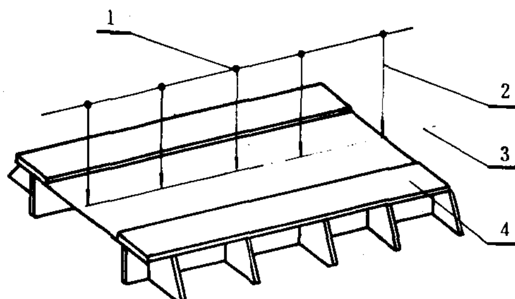


图 6.1.5—3 主机中心线在基座上的投影
1—理论中心线（钢丝线）；2—垂线（短钢丝）；
3—投影线；4—基座面板

固定垫片的位置确定后，按上述划线所得的安装孔中心为基准，将加工成具有 1∶100 斜度的固定垫片焊装于基座上，且使垫片由主机中心向外侧倾斜。为了消除焊接固定垫片时可能产生的变形，用风动砂轮机磨削或手工铲平其表面，并用平板，蓝油检查。固定垫片支承表面的着色要求一般为：在 $25\times25mm^2$ 内 2～3 点。

在需要对固定垫片上的非铰配孔进行预钻时，必须提高安装孔的定位精度。此时，宜采用光学仪法以代替拉线来确定主机的理论中心线；宜采用按实际机座上的安装孔尺寸制作样棒或样板的方法来代替精度不高的划线。

1.3 主机定位

所谓主机定位，就是根据所采用的轴系校中方法，使主机曲轴轴心线确定在某种位置。主机定位是主机安装中最重要的工作之一。

主机吊入机舱后，根据基座上所划的理论中心线的投影线，两侧安装孔中心的连线和轴系理论中心线的高度，将主机安放在临时支座上。使用安装于主机四周的调位专用工具，调整主机，使其前后左右移动。并使主机左右两侧调平，相差在 2mm 范围以内。初步校中后，便可进行主机的定位。

调位专用工具，对小型主机可采用定位调节螺钉（图 6.1.5—4）。对大、中型主机可采用楔形调位工具（6.1.5—5）。

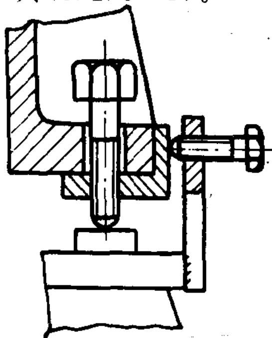


图 6.1.5—4　定位调节螺钉

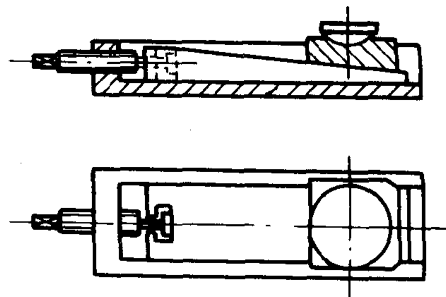


图 6.1.5—5　楔形调位工具

轴系的校中方法决定了主机的定位方法。轴系采用合理校中安装时，以主机和轴系连接法兰上的偏移和开口（也称曲折）进行主机定位。轴系采用直线校中安装时，主机的定位有两种方法：在先安装轴系，后安装主机时，以主机和轴系连接法兰上的偏移和开口进行主机定位；在先安装主机，后安装轴系时，以轴系的理论中心线为基准进行主机定位。

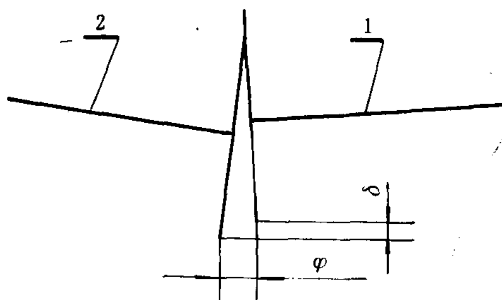


图 6.1.5—6　合理校中轴系时的主机定位
1—主机曲轴；2—中间轴

轴系采用合理校中安装时，主机的定位一般在船舶下水后进行。此时，可按合理校中轴系的安装技术要求从尾向首安装轴系。并以主机输出端法兰和与其相连的中间轴法兰连接处的偏移和开口进行主机的最终定位。其偏移值 δ 和开口值 φ 应符合合理校中轴系的技术文件中的有关规定，如图 6.1.5—6 所示。其检验要求为：连接法兰处的偏移值允差为 ±0.1mm；连接法兰处的开口值允差为 $10^{-4}\cdot D$（D 为法兰外径，mm）。

在测量主机输出端法兰和中间轴法兰连接处的偏

移和开口时，两连接法兰之间应留有 0.5～1mm 的间隙。测量时，可使用塞尺和直尺进行，但其精度较低。通常使用指针法测量。

采用直线校中法安装轴系并定位主机是一种不尽合理、缺乏根据的校中方法。但由于其较简便，在某些船舶上仍有使用。

在先安装轴系后安装主机时，主机的定位也采用按主机输出端法兰和与其相连的中间轴法兰连接处的偏移和开口来进行。其连接法兰处的偏移值 δ 和开口值 φ 可按表 6.1.5—2。并以此对其进行安装和检验。此外，对带有飞轮的主机定位时，主机曲轴的输出法兰宜比中间轴或推力轴的法兰高一些，一般可高出 0.08～0.10mm。

表 6.1.5—2　**直线校中时的偏移和开口值**

连 接 类 型	偏 移 δmm	开 口 φmm
刚性连接	≤0.05	≤0.10
半刚性连接	≤0.20	≤0.30
弹性连接	≤0.50	≤0.50

在先安装主机后安装轴系时，主机按轴系的理论中心线进行定位。为提高主机的定位精度，一般宜使用光学仪来定位主机。

使用光学仪进行主机定位的基本工作原理是：利用光线的直线传播的特性，使主机的曲轴轴心线与轴系的理论中心线重合。采用光学仪定位主机的方法是：

1)按轴系的理论中心线在机舱的后隔壁处设置前光靶 2，在船尾人字架后或尾柱后设置后光靶 1，通过这两个光靶中心的光线即为轴系理论中心线(见图 6.1.5—7)。

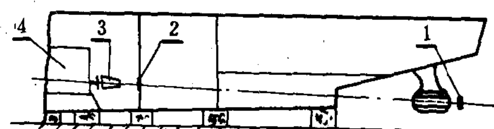


图 6.1.5—7　轴系理论中心线上的光靶设置

1—后光靶；2—前光靶；3—光学仪；4—主机

2)将光学仪安装在主机输出端的法兰上(见图 6.1.5—8)，调整光学仪的主光轴，使其与曲轴轴心线重合，此时，光学仪的主光轴就代表了主机的曲轴轴心线。

3)使用调位工具调整主机的位置，使光学仪投射的十字线与前后两基准光靶的十字线同时重合，则表明曲轴的轴心线与轴系的理论中心线已重合，主机已按轴系的理论中心线定位。

使用光学仪定位主机时，光学仪十字线与基准光靶十字线中心的偏差应予检验。

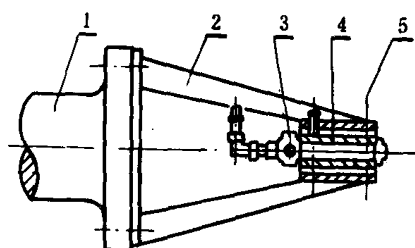


图 6.1.5—8　曲轴法兰上的光学仪的安装

1—曲轴；2—支架；3—光学仪；4—套筒；5—调节螺钉

1.4 主机固定

主机在船上定位后，需用某种方式将其牢固地支承和固定在船体基座上。根据不同的安装要求，采用不同的固定形式。船舶上常采用的有

1)钢质垫片支承，螺栓紧固；

2)环氧垫片支承，螺栓紧固；

3)弹性支承。

后两种支承固定的结构形式参见本章第 2.3 节和 2.4 节。

在第一种结构形式中，最常采用的是矩形垫片(图 6.1.5—9)。这种结构简单可靠，施工方便。

活动垫片的材料可选用钢或铸铁。对于钢质垫片，其最小厚度通常不小于 12mm。对于铸铁垫片，其最小厚度通常不小于 20mm。垫片的长度和宽度根据安装位置而定。

活动垫片的实际厚度由主机定位后的主机机座底平面与船体基座上焊接的固定垫片的支承面之间的距离来决定。测量该距离时，以内卡钳为工具，测得活动垫片安装处四角位置上的距离尺寸。附加 0.1～0.2mm 的铲配余量，便可在机床上加工活动垫片。显然，其测量精度依赖于操作者的经验和熟练程度。为此，也可制造某种专用测量工具来代替这种手工测量。图 6.1.5—10所示为一种测量垫片厚度的专用工具。工具中的弹簧弹起量柱后，将锁紧螺丝固定量柱，取出后，便可量得活动垫片的实际厚度。

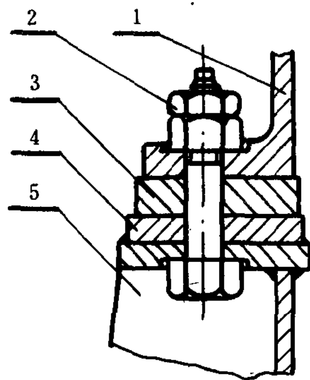


图 6.1.5—9 矩形垫片，螺栓紧固结构
1—主机机座；2—紧固螺栓和螺母；3—活动垫片；4—固定垫片；5—基座

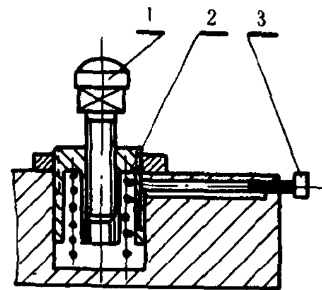


图 6.1.5—10 活动垫片厚度测量工具
1—量柱；2—弹簧；3—锁紧螺丝

留有余量的活动垫片需与主机机座底平面和固定垫片表面进行铲配。通常，在船上用风动砂轮机磨削活动垫片，并用蓝油检查。蓝油着色要求一般为：在 25×25mm² 内，不少于 2～3 点。其平面接触的紧密程度用塞尺进行检验：0.05mm 的塞尺不应插入。主机下的所有的活动垫片可分批进行铲配。铲配时，应防止已定位的主机失中。

主机上的非铰配安装孔，可用风钻通过主机机座上的安装孔直接在垫片和基座上进行钻孔。钻孔时，用点焊或其他方法将活动垫片固定。有时，为了在基座和固定垫片上预先钻孔，则须按前述方法在用样板或样棒对基座上的安装孔予以定位后，方能进行。对主机上的定位用的铰配安装孔，可用手铰刀或机铰刀对其进行加工。铰孔时，应采用松配螺栓将主机座固定。铰配孔的粗糙度要求为：1.6▽；铰配孔的圆柱度要求：不大于 0.03mm。此外，为了使螺栓和螺母的紧固面与其中心线相垂直，在铰孔时，需将基座和主机机座安装孔的两端面刮平。

根据铰孔后孔的实际尺寸，加工铰配螺栓。铰孔螺栓配合面的粗糙度要求：1.6▽；螺栓的圆柱度要求：不大于 0.02mm；铰孔和铰配螺栓的配合精度为 H7/X6。

除了上述最常用的矩形垫片，螺栓紧固的结构外，主机的固定形式尚有采用球形垫片结构(图 6.1.5—11)和圆形调节垫片结构(图 6.1.5—12)。球形垫片结构由两个带凹凸的球面圆盘组成，具有自位性能。圆形调节垫片结构由两个具有 1：20 斜度的倾斜圆盘组成。这两种垫片的结构形式均能适应主机机座和固定垫片之间形成的斜楔这一安装要求，且均可减少垫片的铲配工作量，但垫片的加工较费时，连接的稳定性差。这两种垫片的结构形式主要应用于小型船舶的主机安装中。

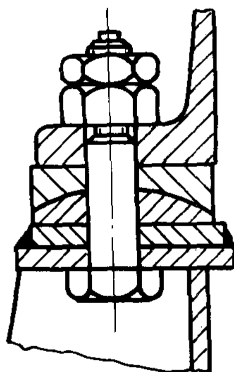


图 6.1.5—11 球形垫片结构

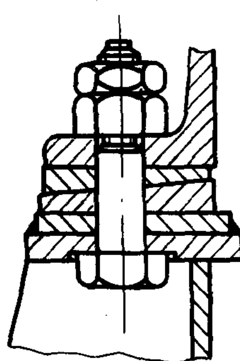


图 6.1.5—12 圆形螺节垫片结构

在某些大型主机的安装中，除了采用矩形垫片，松配螺栓紧固主机以外，采用止推板的结构形式代替定位用的铰配螺栓结构。止推板安装于主机输出端的机座处(图 6.1.5——13)和主机机座左右两侧(图 6.1.5—14)。止推垫片架 1 和止推垫片 2 之间的接合面具有 1∶100 的斜度。输出端的止推垫片由上向下安装；机侧止推垫片由尾向首安装。止推垫片由紧固螺栓、螺母或紧定螺钉 3 紧固。安装时，止推垫片架和止推垫片的接合面应进行铲配，并用蓝油进行着色检验和用塞尺进行接合面之间的间隙检验。接合面之间的蓝油着色要求一般为：在 25×25mm^2 内不少于 2 点；接合面接触的紧密程度要求为：0.05mm 的塞尺不应插入。

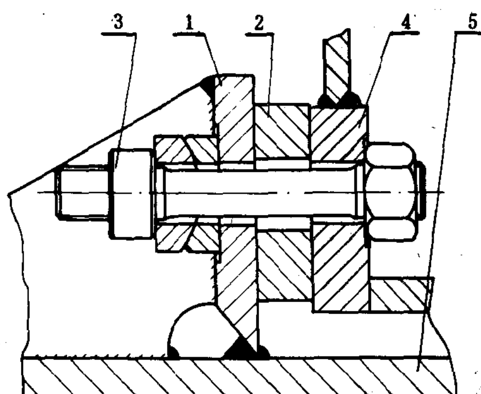


图 6.1.5—13 输出端止推板结构

1—止推垫片架；2—输出端止推垫片；3—紧固螺栓及螺母；4—机座；5—基座

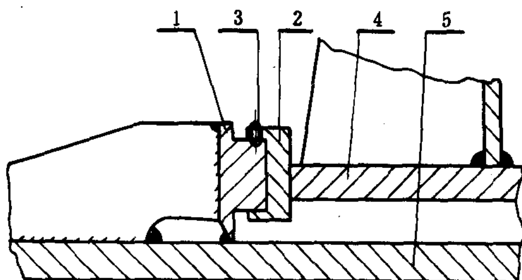


图 6.1.5—14 机侧止推板结构

1—止推垫片架；2—机侧止推垫片；3—紧定螺钉；4—机座；5—基座

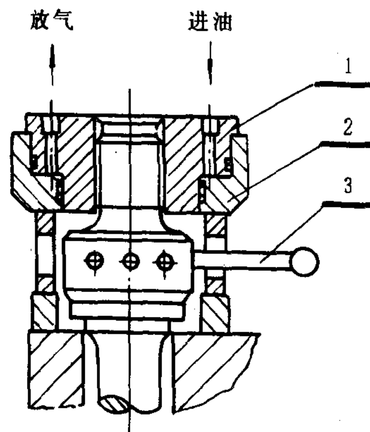


图 6.1.5—15 液压拉伸器

1—活塞；2—套筒；3—板手

在紧固主机机座安装螺栓，螺母时，可根据规定的固紧扭矩用测力板手进行。大型主机常

采用液压拉伸器固紧。液压拉伸器如图 6.1.5—15 所示。将油泵入拉伸器的活塞,和套筒 2 之间,依靠油的压力将主机机座的固紧螺栓拉长至规定值(或将油压升至规定值),然后用扳手 3 旋转螺母,将其固紧。释放油压后,螺栓螺母就紧固完毕。初次安装时,一般先将螺母紧固一次,松开后,再正式固紧。紧固主机机座安装螺栓和螺母的次序:首先应固紧主机主轴承下方的螺栓和螺母,并采取对称固紧的原则。

1.5 曲轴臂距差及其测量

曲轴的臂距差是主机安装质量好坏的一个重要标志,在主机的安装过程中都需随时测量,例如:在主机定位以后,主机机座与基座用螺栓紧固以后,曲轴输出端法兰与中间轴法兰用螺栓紧固以后和最后主机安装交验时均需测量和检验主机的曲轴臂距差。

为了保证主机的正常运转,在主机安装时,必须严格控制曲轴的臂距差值,使其处在规定的范围内。一般,应遵照主机制造厂和船级社的有关规定,并可参照主机出厂时的台架安装数据,在无上述资料时,也可按下列近似公式确定允许的臂距差值 Δ;

$$\Delta=\frac{S}{1000}$$

式中:Δ——臂距差,mm;

S——活塞冲程,cm。

曲轴臂距差的测量可参阅第 4 卷有关内容。

1.6 大型低速柴油机的安装

大型低速柴油机在船上安装时,工艺上除了考虑一般柴油机的安装方法和要求以外,还需考虑其尺寸大、重量大的特点。根据起重能力的大小,大型低速主机的船上安装可以采用部件船上组装或整机吊装。

1.6.1 大型低速主机的船上组装

大型低速主机在船上的组装是指将经过主机制造厂台架安装,试验并检验合格的主机以部件形式在船上重新组装。主机本身零、部件之间的装配和定位已在制造厂装配时确定。其船上组装的步骤大致如下:机座—曲轴—机架—连杆,十字头—气缸体—贯穿螺栓—活塞和活塞杆—气缸盖—扫气箱—废气涡轮增压器—其他附件和管系等。

主机在船上进行部件组装时,主要工作为:

1) 主机机座的定位安装;

2) 主机运动部件的安装和校中。

主机机座的定位安装十分重要,它是随后主机其它零、部件安装的基础。主机机座的定位与前述基本相同。采用直线校中安装,当曲轴未装入机座内时,可利用机座上的主轴承孔按轴系的理论中心线来定位机座;当曲轴已装入机座内时,可在曲轴的输出端法兰上安装光学仪按轴系的理论中心线进行定位。在采用合理校中安装时,按合理校中的技术文件中的有关规定,以主机曲轴输出端法兰和与其相连的中间轴法兰连接处的偏移和开口来进行定位。

机座定位安装,必须保证机座上平面平直。机座上平面的不平度可用设置在机座下面的调位工具来调整,并可采用拉线法或使用光学仪对其进行测量和检验。

用拉线法测量机座上平面不平度如图 6.1.5—16 所示。在机座四角设置 4 个拉线架,并调整拉线架的高度,使其等高。在机座左右两侧拉两条平行于曲轴轴心线的左、右钢丝线,测量各

测点处机座上平面和钢丝线之间的距离，以测知和校正机座上平面左右两测的不平度；在机座对角处拉两条相交的钢丝线，测量各测点处机座上平面和钢丝线之间的距离，以测知和校正机座上平面的扭曲。测量时，应考虑对钢丝线下垂量的修正。

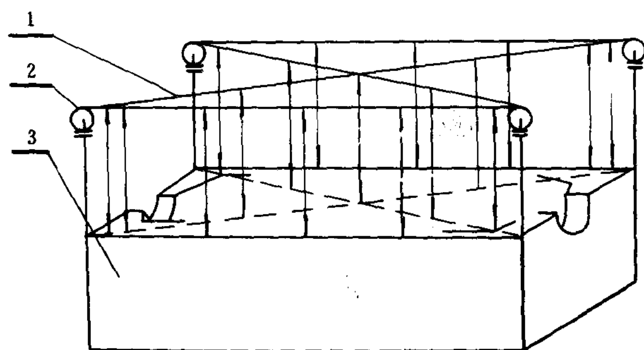


图6.1.5—16 拉线法测量机座上平面的不平度
1—钢丝线；2—拉线架；3—机座

目前，大多用扫瞄光学直角仪来测量机座上平面的不平度。扫瞄光学直角仪（图6.1.5—17）由准直望远镜和平面扫瞄仪组成。准直望远镜装于直角仪的三脚架4中，三脚架的高低由调节螺钉8调节。直角仪的下面装有扫瞄装置6，它可以在平面内作360°的任意转动。当光靶9放置于预测平面上时，通过五棱镜7的反射，在准直望远镜中便能看出光靶十字线与准直仪网板十字线中心的偏差。调节五棱镜调节器5，使准直仪网板十字线与光靶十字线中心重合，调节器上的续数便是平面偏差值，

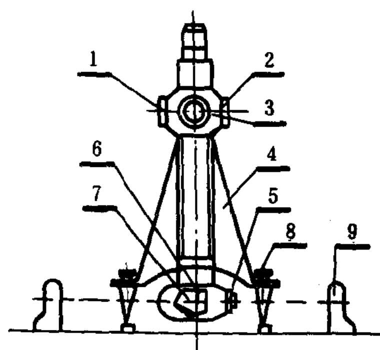


图6.1.5—17 扫瞄光学直角仪
1、2—调节器；3—调距器；4—三角架；5—五棱镜调节器；6—扫瞄装置；7—五棱镜；8—调节螺钉；9—光靶

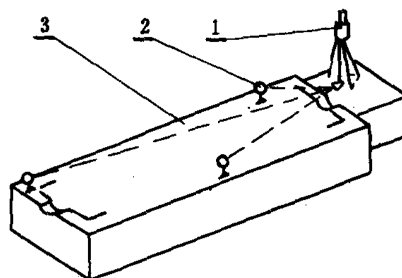


图6.1.5—18 光学仪测量机座上平面的不平度
1—光学仪；2—光靶；3—机座

用扫瞄光学直角仪测量和检验机座上平面的不平度如图6.1.5—18所示。测量时，调整三脚架的调节螺钉，使扫瞄仪的轴线与机座上设置的三个等高基准光靶中心在同一平面内。由此，便建立了一个具有相当精度的基准平面。在主机机座平面上各测点处放置光靶，测出该测点处相对于基准平面的偏差，由此，便可测得机座上平面的不平度。

机座上平面的不平度检验应在主机机座的安装螺栓均匀拧紧后进行，其要求为：

机座上平面的不平度应与机座在制造厂台架安装时的不平度基本相符，即：

1)机座长不大于8m时，其差值不大于0.05mm；

2)机座长大于8m，不大于11m时，其差值不大于0.075mm；

3)机座长大于11m时，其差值不大于0.10mm。

大型低速主机定位安装时，必须满足下列要求：

1)机座上平面的不平度符合上述规定；

2)安装曲轴后的臂距差符合有关规定；

3)安装曲轴后，其轴心线与轴系中心线的对中偏差符合有关规定。

只有上述三个要求同时满足时，机座的定位和安装工作才算结束。

运动部件，包括曲轴、连杆、十字头、活塞杆和活塞等的装配校中的主要目的是检查主要运动部件和固定部件之间相对位置的正确性。它综合反映了主机的装配质量。

运动部件按规定装妥后，就可进行运动部件的校中工作。校中工作是在活塞不带活塞环的条件下进行的。对运动部件的校中检验要求如下：

1）在活塞位于近上、下止点时，十字头滑板工作面与导板工作面应紧密贴合。用0.05mm塞尺检查时，局部插入的深度不大于30mm；用0.10mm塞尺检查时，不允许插入。

2)在活塞位于近上、下止点时，活塞裙部耐磨环处的最小间隙应为：

当气缸直径小于700mm时，应不小于其总间隙的30%；

当气缸直径大于700mm时，应不小于其总间隙的20%。

1.6.2 大型低速主机的整机吊装

整机吊运安装主机是一个重大的工艺操作过程，须进行充分的准备：

1）仔细比较机舱开口与主机的外形尺寸，以决定是否需拆除机舱开口部位的某些构件或拆除主机上的某些部件或附件；

2）正确确定主机的重心位置，以决定起重机械的吊钩与主机的相对位置，和决定钢丝绳和主机的连接点位置；

3）仔细核算起重机械的吊运能力和钢丝绳的负重，以决定合适的安全系数，确保吊运安全可靠；

4）准备适当的吊运工具，一般可制作箱式梁作为起吊横梁；

5）情况复杂时，进行主机整机吊运安装的模拟，即按比例制作模型，以寻找在整机吊装过程中可能发生的问题。

在主机的吊装工具安装后，将主机缓慢提升，升离地面100mm左右时，稳定数分钟，若无异常现象，可继续提升。主机吊入机舱后，利用机座上的安装孔，采用导向销使主机正确地就位于基座上的临时支承上。此后，即可进行主机的定位和安装工作。

1.7 主机安装的检验

主机在船上安装的过程中，验船部门需对其进行检验。检验的主要内容如下：

1)主机的安装工艺。

2)垫片的材料。

3)垫片与主机机座之间，垫片与基座之间的接触情况。在主机机座未行固紧时，用塞尺和色油检验。

4)固定主机机座的铰配螺栓数量或止推板的数量以及它们的安装质量。

5)主机的定位精度。在主机座固紧螺栓全部旋紧的状态下，对主机曲轴输出端法兰和与其相接的轴系法兰连接处的偏移和开口值进行测量和检验。

6)曲轴臂距差。在主机曲轴输出端法兰和与其相接的轴系法兰用螺栓紧固后进行测量和检验。

2 船舶辅机的安装和检验

2.1 概　　述

船舶柴油机动力装置中使用的辅机，种类繁多。按其安装要求，大致可分为如下三类：

1)安装中需进行对中的辅机。如需要在船上进行组装的柴油发电机组等。

2)原动机和从动机具有共同机座的辅机。如空气压缩机、离心式分油机和泵组等。

3)无运动件的辅机和设备。

现代船舶辅机具有机组化和单元化的特点。机组化是指将原动机和从动机安装在一个共同机座上，组成一个辅机机组。单元化是指将辅机机组及其附属的设备，附件和管系等组合在一起形成一个辅机单元。此时，只要将船舶上各系统的电缆和管子与辅机单元的接口相接，辅机单元便可投入运行，从而简化了辅机和系统的船上安装工作。由于船舶辅机的这个特点，船上的辅机几乎全部采用整机吊运安装。

船上安装时，需要进行对中的辅机机组，其原动机和从动机的中心线对中要求应符合有关规定。表 6.1.5—3 所列的数据可供参考。

表 6.1.5—3　　**辅机机组对中允许偏差**

辅机连接方式	偏移值　mm	开口值　mm
刚性连接(法兰等刚性联轴节)	≤0.05	≤0.05
活动式连接(爪式或齿形联轴节等)	≤0.10	≤0.10
弹性连接(橡胶或摩擦式联轴节等)	≤0.10	≤0.15

辅机的安装基座在船上焊装后，其允许的形状尺寸偏差可参考表 6.1.5—4。

表 6.1.5—4　　**辅机基座形状尺寸偏差**

辅机基座长度	小于　2m	大于　2m
基座支承面长度 允许偏差	±5mm	+10 −5mm
基座支承面宽度 允许偏差	+5mm	+5mm
基座支承面高度 允许偏差	$^{+2}_{-6}$mm	+2 −6mm
基座支承面对水线面 的不平行度	4mm	6mm

辅机在船上的定位比较简单，按施工图纸的安装要求，一般按船体基线，船舶的首尾中心线，隔舱壁或某一肋位作为定位基准，使辅机在基座上定位。辅机的定位精度按照有关规定。一般，其定位的允许偏差为±5～±10mm。定位时，可采用普通的量度工具来确定辅机在基座上的位置。

2.2 辅机在船上的刚性安装

辅机在船上采用刚性安装时，一般有如下的几种结构形式：

1)辅机在固定垫片和活动垫片上的安装(图 6.1.5—19)

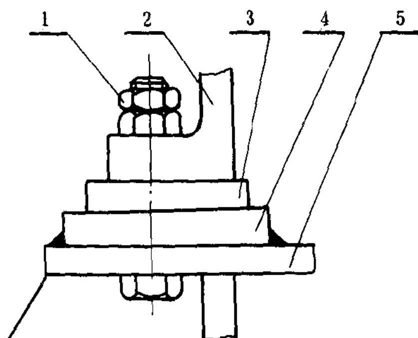


图 6.1.5—19　辅机在固定和活动垫片上的安装

1—紧固螺栓和螺母；2—辅机机座；3—活动垫片；4—固定垫片；5—基座

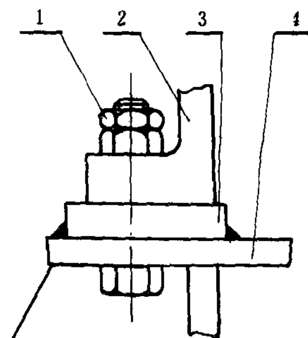


图 6.1.5—20　辅机在固定垫片上的安装

1—紧固螺栓和螺母；2—辅机机座；3—固定垫片；4—基座

采用这种安装方式时，其要求如下：

(1)固定垫片采用钢质，厚度一般不小于 10mm；

(2)活动垫片采用钢质或铸铁，对钢质垫片，厚度一般不小于 12mm；对铸铁垫片，其厚度一般不小于 20mm；

(3)固定垫片和活动垫片之间具有 1∶100 或 1∶150 的斜度；

(4)固定垫片焊装后，上平面需磨平，并用蓝油检查，其表面的着色应均匀；

(5)辅机定位后，在辅机机座和固定垫片之间铲配活动垫片。对重要的辅机，其接触情况使用塞尺检查。检查时，0.05mm 的塞尺不允许插入，个别处允许插入，但深度不允许太大。

2)辅机在固定垫片上的安装(图 6.1.5—20)

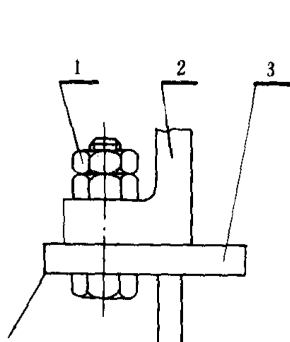


图 6.1.5—21　辅机直接在基座上安装

1—紧固螺栓和螺母；2—辅机机座；3—基座

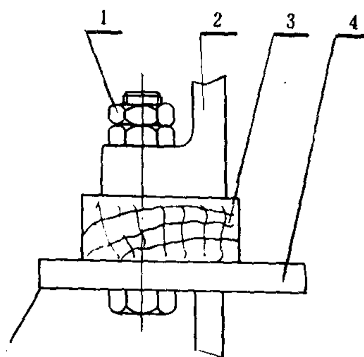


图 6.1.5—22　辅机在木质垫块上的安装

1—紧固螺栓和螺母；2—辅机机座；3—木质垫块；4—基座

采用这种安装方式时，其要求如下：

(1)固定垫片采用钢质，厚度一般不小于 12mm；

(2)固定垫片焊装后，上平面需磨平；

(3)辅机定位后，辅机机座和固定垫片之间的接触情况应用塞尺检查。

3)辅机直接安装于基座上(图 6.1.5—21)

对不重要的辅机和设备，可采用这种方式安装，在定位安装时，可在辅机机座和基座之间用薄的金属垫片进行调整。

4)辅机在木质垫块上的安装(图 6.1.5—22)

采用这种安装方式时，其要求如下：

(1)木质垫块的材料应采用硬质木料，其含水率不超过 15%；

(2)根据使用场合的情况，为了增加其耐蚀性，可将木质垫在干性油内煮 1～2 h，或涂以沥青；

(3)木质垫的厚度不小于 25mm；

(4)基座表面一般不经加工或仅仅粗略修整；

(5)辅机定位后，铲配木质垫，使其接触面的间隙不大于 1mm。

5) 辅机或设备直接焊装于船体结构上。

这种安装形式仅适用于不重要的、且不需拆卸的辅机或设备。

2.3 辅机采用环氧垫片的安装

环氧垫片的材料是一种以环氧树脂为主要成份的混合料。它由环氧树脂浇注料、固化剂和脱模剂等组成。其主要特点为：室温下，粘度低，流动性好，能填平安装面上的不平之处；浇注过程中，物料不沉淀，固化后不分层，外观均一；性能稳定，耐油，耐海水；机械性能良好；对金属无腐蚀性。

在采用环氧垫片安装辅机时，尤其是应用于有对中要求的安装场合时，应注意下列事项：

1)环氧垫片的重量载荷(主机或辅机的重量)应小于 7×10^5p_a。较适宜的重量载荷为(4～5)×10 Pa。重量载荷和紧固螺栓引起的张紧力载荷之和应小于 35×10^5Pa。

2)环氧垫片的厚度应在 15～50mm 之间，较适宜的厚度应选择为 25～35mm。

3)由辅机本身重量引起的重量载荷和螺栓安装时引起的张紧力载荷均会使环氧垫片压缩。环氧垫片的压缩量一般可考虑为垫片厚度的千分之一。

4)环氧垫片的面积一般应大于 $130cm^2$，而其边长一般应为 10～60cm 之间。

5)对承受推力的辅机，宜在承受推力的方向设置防推垫块。

6)环氧垫片经受的持续温度不超过 75℃。

7)同一台辅机上，钢质垫片与环氧垫片不允许混合使用。

在辅机的校中定位后(须考虑环氧垫片受载后引起的压缩量)，钻妥基座上的螺栓安装孔，此时，便可浇注环氧垫片。其一般的浇注工艺步骤如下；

1)清除环氧垫片浇注处的基座和机座表面上的油垢、锈斑和水分等。

2)用厚度为 2～3mm 的铁皮制成槽形挡板和前挡板，并按环氧垫片的位置点焊在基座上。在槽形挡板内可衬以泡沫塑料。前挡板与机座之间形成浇注垫片的浇口。浇注模框的四周缝隙处可用密封物堵塞，以免浇注时漏泄(参见图 6.1.5—23)。

3)模框内所有与环氧垫片接触的表面均需喷涂脱模剂。

4)搅拌环氧浇注料，以使不同比重的填料均匀，按规定比例将固化剂加入浇注料内，

并以旋转方式充分搅拌、混合、直到均匀一致。

5)使用淌板进行环氧垫片的浇注。浇下的树脂料应成细条状流在淌板上。参看图6.1.5—23。浇注应连续进行，直至浇满模框并比垫片厚度δ高15～20mm。与此同时，以相同的树脂料浇注一块适当尺寸的试样。

6)在不同的环境温度下，按规定时间对环氧垫片进行固化。固化时，若环境温度较低，可使用热风机或红外灯加热；若环境温度较高，可在室温下固化。

7)固化后，测量试样硬度。硬度值符合有关规定后，即可紧固螺栓。紧固螺栓的张紧力和紧固扭矩可按下式计算：

$$p=\frac{(350-\frac{W}{A})\times A}{n}$$

$$M=\frac{0.2pd}{1000}$$

式中：p ——紧固螺栓张紧力，N；

W ——主机或辅机的自重力，N；

A ——环氧垫片总面积，cm^2；

n ——机座紧固螺栓数目；

M ——紧固螺栓扭矩，Nm；

d ——螺栓直径，mm。

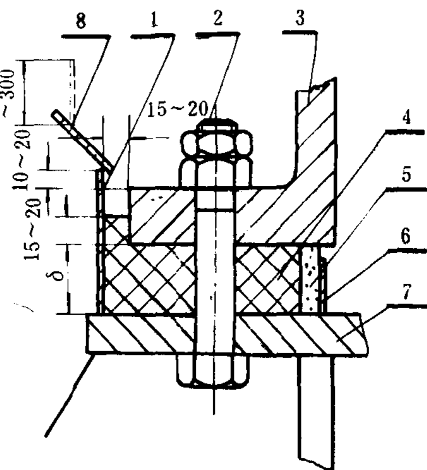


图6.1.5—23 环氧垫片的浇注

1—前挡板；2—固紧螺栓和螺母；3—机座 4—环氧垫片；5—泡沫塑料；6—槽形挡板 7—基座；8—淌板

2.4 辅机在船上的弹性安装

辅(主)机在隔振器上的安装是一种弹性安装。安装时，必须考虑隔振器受载荷后的压缩量。此压缩量可使用调整垫片来调节。当辅机的重量全部由隔振器来承受时，若基座支承面至辅机机座下表面的距离为H′，而辅机定位要求的距离为H，则差值H—H′即为所需配置的调整垫片的厚度(图6.1.5—24)

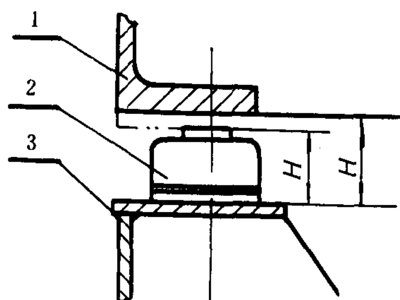


图6.1.5—24 隔振器压缩量的调整

1—辅机机座；2—隔振器；3—基座

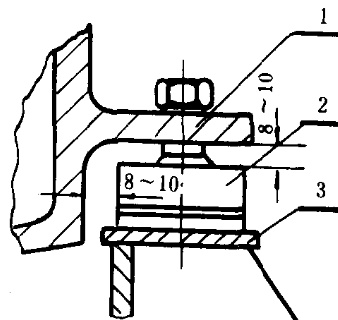


图6.1.5—25 隔振器与辅机间的距离

1—辅机机座；2—隔振器；3—基座

隔振器的定位安装方法可按辅机与隔振器的安装情况制作一个隔振器安装孔的样板，按样板在基座上预先钻孔进行定位安装；也可将辅机与隔振器安装成一体，按要求就位于基座上，按隔振器的安装孔划线定出隔振器的安装位置，再行钻孔安装。

辅机在隔振器上装妥后，应按有关要求检查隔振器底板与基座平面之间、调整垫片上平面与辅机机座下平面之间，调整垫片下平面与隔振器支承上平面之间的接触情况。一般可用塞尺进行检验。

辅机在隔振器上安装时，必须注意在隔振器与安装在其上的辅机之间，安装于隔振器上的辅机与周围固定物体之间应保持适当的距离。图 6.1.5—25，图 6.1.5—26，图 6.1.5—27 中的数值可供参考。

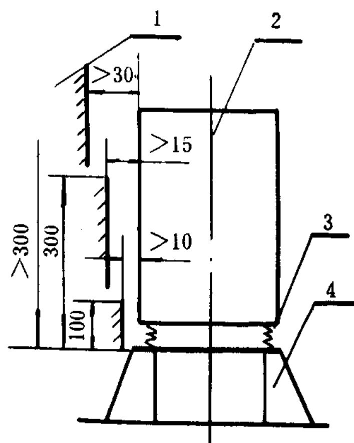


图 6.1.5—26 隔振器固定物体间的距离

1—固定物体；2—辅机；3—隔振器；4—基座

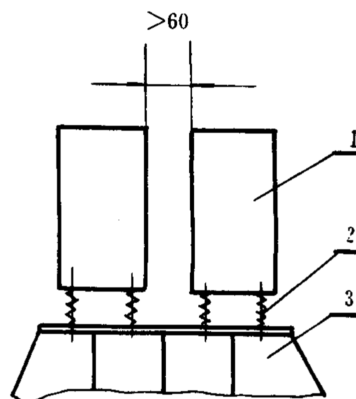


图 6.1.5—27 隔振器上的辅机之间距离

1—辅机；2—隔振器；3—基座

辅机在隔振器上安装时，尚需注意下列事项：

1)隔振器上的全部紧固螺栓及螺母，都应采用适当的防松结构以防松动，例如可装用弹簧垫圈防松。

2)与安装于隔振器上的辅机相连接的管路，电缆等须采用挠性连接。

3)采用隔振器安装辅机时，要防止油、易燃物或其他有害于橡胶的物质污染和损坏用橡胶制作的隔振器。清洗隔振器时，应使用酒精擦洗。

4)隔振器适用的温度范围一般为－30°～60℃，安装时，不准接触高温物体。

2.5 辅机安装的检验

在辅机安装的过程中，验船部门需对其进行检验，检验的主要内容如下；

1)对辅机的安装作外部检查，必要时，对某些辅机的安装质量进行抽查。

2)使用环氧垫片安装时，环氧垫片的材料、布置、垫片的应力和浇注工艺。

3)柴油发电机组的曲轴臂距差。

第6章　船舶柴油机动力装置试验

1 概　　述

船舶建成后，在投入营运之前必须进行严格而全面的交接试验工作，试验可分为工厂试验台试验，系泊试验和航行试验。

试验台试验在生产厂车间里进行，目的是检查机械设备安装的正确性和可靠性，考核其技术性能。试验台的试验方法和要求，可按国家公布的标准方法进行试验。

系泊试验和航行试验是船舶处于两种不同状态下的试验形式。系泊试验应在船舶各项试验项目的工程安装完毕后进行。其目的是根据设计技术要求和建造技术条例检查动力装置全部机械和系统安装的正确性、工作的可靠性，以便为船舶进行航行试验作好准备。

航行试验是在全船各项工程全部竣工，系泊试验合格，并且经船舶倾斜试验和稳性校核合格后方可进行。其目的是检查和考核船舶处于航行状态下的航行性能和动力装置的技术状况。

进行的各项试验，应同时满足现行船级就检验规则和国际海上人命安全公约及议定书等有关公约的规定。

试验中使用的各种测试仪器和仪表的精度应具有国家有关主管机构检定的合格证件，以保证测试数据准确性。

在试验时应作好各种测试记录。试验后船舶制造厂应将各种试验记录整理出有关技术文件和试验报告以及完工图纸，作为检验、交船的技术文件和资料，提交验船部门和船舶使用部门，首制船舶应抄送设计部门存档备查。

2 系泊试验

系泊试验受到码头，堤岸坚固性的限制，船舶主机，轴系以及直接服务于主机的各个辅助设备，尚不能显示出其全负荷运转或规定工况下的各种性能。因此，凡在系泊试验时完全能显示出其正常效能或能在规定参数下进行试验的机械设备，可全部在系泊试验中作最后的试验和验收。并且对应急施救的重要机械设备(消防、舵机、锚机及主机等)应先行试验。

系泊试验中所发现的全部缺陷应予以消除，以保证航行试验顺利进行，

2.1 船舶动力设备及系统的试验

2.1.1 主机及轴系传动装置的试验

船舶主柴油机应该是可直接反转的，或者是有专门的换向机构或有变螺距螺旋桨。柴油机均应能在机旁直接操纵，轴系传动装置可直接由柴油机通过轴系直接传动，或且通过减速装置传动，有时由数台柴油机通过换向减速离合器传动。

2.1.1.1 主机试验步骤和要求

1)试验前准备工作。

试验前应进行外部检视，检查柴油机及其所带动和服务于柴油主机的所有辅机、设备、管路、附件和仪表等的布置和安装是否正确。检查柴油机的起动、换向是否灵活和安全可靠，同时检验柴油机起动空气瓶(或蓄电池)的充气量(电池的容量)能否满足试验要求。

此外，应检查循环油柜、汽轮油柜和轴系中间轴承座中的油位。并开动滑油循环泵，将油压调整至规定值，以便将滑油送到各润滑表面。检查和注满各活动部件的润滑油杯，对润滑脂杯施压并加添油脂，对其它不采用压力循环润滑的部件都要加注润滑油。

应检查日用燃油柜的油位和主机膨胀水箱的水位，并检查各系统中各阀门是否处于正常状态。

2)起动试验

起动试验目的是检查起动性能及起动系统的可靠性。起动试验应在冷态下进行。

用压缩空气起动的主柴油机，每部主机起动的空气并充气到额定工作压力，在中途不充气的情况下，冷机起动，对于可换向的主机，连续起动次数应各不少于 12 次，试验时应正、倒车交替进行。对于不可换向的主机，应各不少于 6 次。当主机多于 2 台时，能起动的总次数应不少于设计要求。

用电起动的主柴油机，供主机起动的蓄电池组的总容量，在中途不补充充电的情况下，冷机连续起动的次数应不少于 12 次。

采用气动马达起动的不可逆转的柴油机，连续起动的次数应不少于 6 次。

3)换向试验

主机换向试验在热态下进行。试验的目的是检查换向机构的工作情况，要求安全、灵便。

可换向主机应进行 3 次换向试验，并记录主机在最低稳定工作转速下，从换向操纵开始到起动并在相反方向开始以燃油工作为止，这时所需的时间应不大于 15s。

不可换向主机的换向，通过减速倒、顺齿轮箱或气胎倒、顺离合器进行换向试验 2～3 次，并检查工作可靠性，在最低稳定转速下，测定从操纵开始到主机在相反方向工作为止的换向时间，这段时间应不超过 15s。

此外，应进行主机盘车机的效用试验，盘车机与主机起动系流的联锁效能试验，并且进行主机滑油、冷却水的声、光报警装置和超速保护器的模拟效用试验，报警动作必须可靠准确。

4)主机运转试验

船舶在系泊状态下，主机在达到额定转速的 80%～85%左右(对导管螺旋桨约为 90%)时，即已发挥其全部功率，故系泊试验时主机负荷也可按此转速估算。为便于全面地、彻底地暴露和消除主机及为主机服务的各辅机设备、系统的缺陷，应尽可能使主机在系泊试验时能完全显示其正常效能或能在规定工况下进行最大功率试验。

内河船舶的主柴油机试验工况和试验时间可参照表 6.1.6—1，海上船舶主柴油机的试验工况和试验时间参照表 6.1.6—2，或且根据各船厂的系泊码头实际情况决定试验时间和试验工况。

表 6.1.6—1　　**内河船舶的主柴油机试验工况和试验时间**

序号		功率 对额定值(%)	扭矩 对额定值(%)	试验时间 h	对于仅能测转速的主机可按此表转速对额定值(%)
1	正	25	39	1/4	50
2		50	63	1/4	64
3	车	75	83	1/2	73
4		100	100	4～6	80
5	倒车	倒车(85)	—	$\frac{1}{4}$	64

注:转速根据螺旋桨的实际特性确定。

主机在一定试验负荷下的相应转速可用下列公式表示：

$$n_1=\sqrt[m]{\frac{P_1}{P}}\cdot n \tag{6.1.6—1}$$

式中： P ——柴油机额定功率,kW；

n ——柴油机额定转速,r/min；

P_1 ——柴油机试验负荷时的功率,kW；

n_1 ——柴油机试验负荷时的转率,r/min；

m ——指数,对常规船舶取为 3。

表 6.1.6.—2　　**海上船舶主柴油机的试验工况和试验时间**

工况序号		扭矩 对额定值 %	试验时间 (h) 高速机	中速机 <4413 (6000) kW (Hp)	中速机 >4413 (6000) kW (Hp)	低速机 <1471 (2000) kW (Hp)	低速机 >1471 (2000) kW (Hp)
1		39	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
2	正	63	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$	1
3	车	83	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$	1
4		100	2	2	6	4	6
5	倒车	按设计倒车最大扭矩	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$

主机在一定试验负荷下的相应转速和扭矩的关系可按下式估算：

$$n_1=\sqrt{\frac{M_1}{M}}\cdot n \tag{6.1.6—2}$$

式中：M ——柴油机额定扭矩输出值，N·m；

$$M=9549.3\frac{P}{n}$$

M_1——柴油机试验负荷时的扭矩输出值，N·m。

在柴油机运转试验中，应检查柴油机的运动部件是否有噪声、振动和过热现象。同时检查各系统(空气;燃油、滑油、冷却水等)的自动控制和报警装置是否有效和可靠。

按各试验工况，测量并记录柴油机的试验时间、转速、排气温度、冷却水温度、滑油压力及温度、排烟颜色、机舱温度等。并且测试各缸的工作参数与各缸功率。

5)应急措施试验

(1)停增压器试验

在有条件的情况下首制船舶应进行主柴油机停增压器应急试验，任选一台涡轮增压器停止工作。对中、小型增压器，一般在涡轮轴端用专用工具固定。对大型增压器，可在排气管中设旁通管道，废气经旁通管道排出，不流经增压器。

增压器停止工作后，主机运转试验15min，检查其运转情况。这时允许输出功率的大小，应按排气温度来决定。

如果柴油机在试验台上已做过停增压器试验。系泊试验时可免试。

(2)主机停缸试验

主机在额定工况运转时，任选发火次序不相邻的两缸，轮流停止气缸供油(7缸以下停一缸，8缸以上停两缸)。进行停缸试验。一般停1个缸运转时柴油机功率相应降低。其转速为理论上允许的最高转速的95%左右。停缸后柴油机的功率可按下式估算：

$$P_{停}=P-\frac{P}{\eta z} \qquad (6.1.6—3)$$

式中：$P_{停}$——柴油机停缸后的功率，kW；

P——柴油机额定功率，kW；

η——柴油机机械效率；

z——柴油机气缸数目。

对增压柴油机停缸运转时所允许的最大转速(功率)受各缸排温和增压器的喘振影响，此时各缸排温由于增压器的影响相差悬殊，不允许进一步提高功率，避免个别缸在过热状态下工作。

6)遥控及自动化船舶主机的试验

在系泊试验中，必须根据设计要求，进行主机起动、调速、停车、换向、紧急停车等遥控操纵系统的效用试验各2～3次、操纵时主机自动工作的程序，必须准确可靠，对各项遥控操纵所需的时间，应作记录。

对装有驾驶台遥控装置系统的主机，应进行驾驶台遥控转换为机舱操纵的转换试验，同时检查各操纵站之间的联锁装置的功能。

对自动化的船舶应进行为主机运转服务的各泵、辅助装置及备用设备作自动启动，切换、运转等试验。为主机服务的检测、故障报警、安全保护(如超速停车装置、滑油压力失压保护装置、增压器滑油压力失压保护装置、凸轮轴滑油压力失压保护装置、冷却水压力失压保护装置等)、数据记录和处理装置均应作调试、校正和效用试验。

2.1.1.2　轴系传动装置试验的要求

1)轴系运输试验前的准备工作

轴系运转试验前应检查尾管循环油柜的油量，并作几次压油试验、回油系统应正常畅通检查后在油位表旁作一记号，以便试验中了解油量减少情况。如果螺旋桨轴尾管装置是采用水润

滑的，则应检查冷却系统安装情况，试放冷却水是否畅通无阻。

此外应检查中间轴承、推力轴承油位表的油位是否在规定范围内。检查中间轴承润滑系统情况，用油芯润滑的应装好油芯。

在上述检查完毕认为正常后，用人力或转车机将轴系转动几圈，若无异常情况，方可动车试验。试验是以慢速运转到中速运转再到快速运转。

2)直接传动装置的试验

在主机进行运转试验时，同时检查轴系运转工作情况，不应有异常的振动和过热现象；推力轴承温度一般低于70℃，中间轴承、尾轴承及隔舱填料函温度应低于65℃。

检查艉管的润滑和油密封装置的密封情况，除观察油温及漏油情况外，还要检查润滑油的质量。一般是将漏出的滑油用手沾点，而后展开，即可看出滑油的污染程度。对于尾管轴承采用橡胶轴承的，应检查冷却水的供水情况。

3)齿轮传动、液力传动等装置的试验

齿轮传动装置的试验，须检查减速齿轮箱及倒、顺减速离合器、轴系的工作情况、试验应无杂音和振动。各轴承应无过热现象，齿轮箱滑动轴承温度应不超过70℃，滚动轴承一般不超过80℃；其它轴承一般不超过65℃，但高速柴油机，油润滑的尾轴首填料函与压盖的温度应不大于70℃。油润滑的尾管首端密封，一般应不漏油。

对可倒、顺齿轮传动装置，应进行3次倒、顺车试验，要求灵便、可靠。同时，进行滑油低压及高温报警模拟试验。报警动作应准确可靠。

可倒顺齿轮传动装置的倒顺车试验，在正常换向转速下，操纵从顺车(或倒车)操纵开始至进行倒车(或顺车)运转为止，所需时间应不大于15秒。正常换向的转速，应不小于主机额定转速的50%。

4)液力偶合器的试验

液力偶合器的试验，首先进行主用及备用供油泵的效用试验。试验时液力偶合器的滑油温度应不高于70℃，若采用滚动轴承时，则应不高于80℃。同时进行滑油高温及低压报警模拟试验，报警动作必须准确可靠。

液力偶合器操纵机构须进行转换试验。试验液力偶合器旁的操作机构与中央操纵台操纵机构的转换灵活性，以及两操纵机构互为联锁的可靠性。

对多机单桨船舶液力偶合器的机构联锁装置试验。在某一机处于不同转向运转时，联锁装置应起作用。在主机可直接倒转的液力偶合器传动装置的多机单桨船，须进行螺旋桨反转操纵试验，通常从操纵液力偶合器至螺旋桨反转的时间总和，应不大于40s。

5)可变螺距螺旋桨传动及操纵装置的试验。

首先须进行螺旋桨叶片转动操纵及工作稳定性的试验。操纵桨叶转动，螺距角从正角到负角再从负角到正角，应灵活准确，检查桨叶在任一运转工况下工作稳定性。0°螺距角位置时，其波动值应不超过±0.5°，并检查螺距角指示器的准确性，其误差应不大于±1°。

需进行机舱和驾驶台的两套操纵螺旋桨系统转换试验，检查其相互转换的灵活性，转换的联锁装置必须可靠。同时，进行备用手动机械操纵装置的效用试验，手操纵系统应灵活、方便。并且对螺旋桨的液压传动系统的主用及备用油泵进行效用试验。

2.1.2 柴油发电机组的试验

1)起动试验

以电起动的柴油机组，在起动试验时，柴油机从冷态开始进行连续起动，在起动蓄电池充

足电后，中途不再充电的情况下，起动次数应不少于10次。

以压缩空气起动的柴油机，将副起动空气瓶充气至工作压力后，中途不充气的情况下，柴油机从冷态开始连续起动至空气压力降低到起不动为止，其起动次数应不少于6次。

2)负荷试验

柴油发电机组负荷试验的工况及试验时间可按下列表6.1.6—3中规定进行。

表6.1.6—3

序 号	发电机负荷 %	试验时间 h	备 注
1	20	1/4	
2	50	1/4	
3	100	4	机组功率小于100kW，该两项试验时间可减半
4	110	1	

机组在进行负荷试验时，应检查柴油机运转情况及各运动部件的发热情况，并且在100%负荷试验时，调试各缸的工作参数。试验过程中在各种负荷下须测量油压、油温、水温及排气温度等。

电机部分在各种负荷试验时，测量电流、电压、功率因数、励磁电流等，并且在额定负载试验后，立即测量和记录热态情况下的绝缘电阻。电阻值应符合如下规定：

功率≤100kW(kVA)的电机，应不小于1MΩ

功率>100kW(kVA)的电机，应不小于如下计算值：

$$R=\frac{3\times V_H}{P_H+100} \qquad (6.1.6—4)$$

式中： R ——绝缘电阻值，MΩ；

V_H ——额定电压，V；

P_H ——额定容量，kW(kVA)。

发电机于100%负荷试验结束后，应测量调压器及发电机各部分的温升，其许可极限值可参见表6.1.6—4。直流发电机换向器及交流发电机的滑环及电刷的工作情况应正常，换向器火花等级可参阅第七卷(船舶电气卷)的有关内容。

负荷试验时，应检查和测量发电机的电压调整率及磁场变阻器的调节范围。对交流发电机的静态调压特性检测时，其稳态电压调整率应不超过额定电压的±2.5%(应急发电机可允许不超过±3.5%)。对复激直流发电机的静态调压特性的检测，在满载时，其电压偏差应在额定电压的2.5%以内，在20%负载和满载之间，上升和下降调压曲线的平均曲线不应偏离额定电压的4%。

直流发电机的手动电压调整器的电压调节范围的试验。通常，在发电机允许工作温度范围内的任何负载下(负载自空载到额定负载之间)，电压在额定值的80%~105%范围内变化时，电压调整的精确度按表6.1.6—5中规定。

表 6.1.6—4　**电机温升极限用空气冷却的电机的温升限值**(k)(基准环境温度为 50℃)

项号	电机的部件	绝缘等级														
		A级			E级			B级			F级			H级		
		温度计法	电阻法	检温计法①	温度计法	电阻法	检温计法	温度计法	电阻法	检温计法	温度计法	电阻法	检温计法	温度计法	电阻法	检温计法
1	额定功率在 5000kW(或 kVA)及以上,或铁芯长度为 1m 及以上的电机的交流绕组	—	50	50	—	60	60	—	70	70	—	90	90	—	115	115
2 a) b) c)	额定功率或铁芯长度小于第 1 项的电机的交流绕组 除第 3 和 4 项以外的用直流励磁的交流和直流电机的磁场绕组 有换向器的电枢绕组	40	50	50	55	65	65	60	70	70	75	90	90	95	115	115
3	隐极式同步电机(同步感应电动机除外)的单层磁场绕组	—	—	—	—	—	—	—	80	—	—	100	—	—	—	—
4 a)	补偿绕组和多层低电阻磁场绕组	50	50	—	65	65	—	70	70	—	90	90	—	115	115	—
b)	表面裸露或金属表面涂漆的单层绕组	55	55	—	70	70	—	80	80	—	100	100	—	125	125	—
5	永久短路的绝缘绕组	50	—	—	65	—	—	70	—	—	90	—	—	115	—	—
6	永久短路的无绝缘绕组	这些部件的温升在任何情况下不应达到使邻近的任何绝缘或其他材料有损坏危险的数值														
7	不与绕组接触的铁芯及其他部件															
8	与绕组接触的铁芯及其他部件	50	—	—	65	—	—	70	—	—	90	—	—	115	—	—
9	换向器或集电环(开启或封闭)②	50	—	—	60	—	—	70	—	—	80		—	90	—	—

①　埋置式检温计法

埋置式检温计即将电阻温度计或热电偶在电机的制造过程中。埋置于电机制造完成后所不能达到的部位。采用这一方法测量温度时,在电机的绕组内至少埋置 6 个检温计,沿着圆周均匀分布。在保证安全的前提下,应尽量使检温计埋置于预计为最热的各个部位,并有效地避免同冷却介质接触。

应根据每槽的有效元件(线圈)边数,确定检温计的埋置部位如下:

——每槽有两个线圈边:

检温计应埋置于槽内两个绝缘线圈边之间。

——每槽有两个以上线圈边:

检温计应埋置于绝缘线圈边之间的预计最热点处。

——每槽有一个线圈边:

检温计应埋置于槽楔和绕组绝缘外层预计为最热处之间。在这种情况下,一般不以埋置检温计法作为考核温升的依据。

②　换向器或集电环的温升应符合本身所采用的绝缘等级,但如换向器或集电环与绕组靠近,则它们的温升应不超过邻近绕组所采用绝缘等级的允许限值,温升值只限于用膨胀式温度计测得。

表 6.1.6—5

发电机功率 (kW)	电压调整精度
>100	<0.5%额定电压
<100	<1%额定电压

3)柴油发电机突卸、突加额定负荷试验

柴油机在满载负荷运转时,突然卸去全部负载,检查柴油机转速的变化情况和稳定所需的时间,然后加上50%的负荷随即再加上50%,检查柴油发电机转速的变化情况和稳定所需的时间 ,或做突加100%负荷试验,柴油发电机的调速灵敏性应符合验船部门认可的要求。

此外,进行最大负载工况下,起动船上最大功率电机的试验,试验时应不使运行中的交流电机失步、停转和电器自行脱扣。

4)柴油发电机组的并联运行试验

发电机组在单机运行试验后,才能进行并联运行试验。并联运行负载试验按设计要求长期并联运行的台数分别组合,并按设计的各种并车操作方法进行并联运行试验。试验的总负荷及时间可按表 6.1.6—6 规定进行。

表 6.1.6—6

总负载 (总额定功率的%)	试验时间 min
20	5~10
50	
75	
100	
75	
50	
20	

试验时,当负载在总额定功率的 20%~100%范围内变化时,应能稳定运行。

各发电机实际承担的功率(有功率)与按发电机额定功率分配比例的计算值之差,在发电机功率相同时及不同时不应超过表 6.1.6—7 所列的值。

表 6.1.6—7

并联运行工况	发电机功率相同时	发电机功率不同时
直流发电机	<额定功率±2%	<最大发电机额定功率的±12% <最小发电机额定功率的±25%
交流发电机	<额定有功功率±15%	<最大发电机额定有功功率的±15% <最小发电机额定有功功率的±25%

对交流发电机实际承担的无功功率与按发电机额定无功功率分配比例计算值之差,在发电机功率相同时应不超过额定无功功率的±10%;当功率不同时,应不超过最大发电机的±10%或最小发电机的±25%。

5)负载转移试验。

将第二台发电机与已在额定功率状态下运行的发电机接入并联,并转移负载,检查发电机负载转移的可靠性。

6)应急柴油发电机组试验。

应急柴油发电机组的试验可参照2.1.2柴油发电机的试验规程进行。其试验工况及试验时间按表6.1.6—8进行。应注意在突增负荷试验时应以100%负荷一次加上。在起动试验时，须进行第二能源应急起动试验。

表6.1.6—8

工况	应急发电机负载 %	试验时间 h
1	100	2
2	110	$\frac{1}{2}$

2.1.3 燃油辅锅炉的试验

辅锅炉试验前应检查锅炉安装及各锅炉附件、阀件及锅炉进行正常工作必不可少的系统，安装完整性和正确性，同时进行锅炉阀件及附件的效用试验和安全阀调试。锅炉安全阀调试开启压力可按表6.1.6—9中的要求进行。

表6.1.6—9

型式	工作压力小于0.981MPa(10kgf/cm²)时调试开启压力
烟管锅炉	≤锅炉工作压力+0.049MPa(0.5kgf/cm²)
水管锅炉	≤1.05×锅炉工作压力 MPa(kgf/cm²)

安全阀的手操纵开启传动装置应作操纵效用试验。

1)锅炉的自动控制设备效用试验

燃烧自动控制包括：点火前炉膛扫气、点火未成功时自动切断燃油，因故熄火时自动切断燃油，燃油压力下降时燃油自动切断、风机故障或断电时燃油自动切断等自动控制动作。各种控制动作均需作效用试验。同时，进行各自动控制的报警装置效用试验。蒸汽压力自动控制、燃烧和燃油加热自动控制、油温及燃油加热温度自动控制均需进行效用试验。并试验燃油装置自动切断动作的可靠性。

2)锅炉给水水位自动控制效用试验

使锅炉水位在正常范围内变动，检查给水泵自动工作的情况，并作给水泵自动起动、停止及报警工作的试验，试验其动作的准确可靠性。同时检查锅炉水位降至极限水位时，自动停止供油、停止燃烧及报警的动作可靠性。

3)锅炉汽压升高试验。

锅炉汽压升高试验，在锅炉所有蒸汽阀关闭，使炉膛内充分燃烧的情况下进行。火管锅炉在15分种内；水管锅炉在7分种内，锅炉压力的升高值不得超过锅炉工作压力的10%。

2.1.4 机舱动力系统的试验

机舱动力系统试验的目的是检查系统运行的可靠性及各备用泵转换的灵活性。

1)系统管路在试验前准备工作

所有的管路在装船前必须在车间进行水压试验，以试验其强度和紧密性。管路和附件的试验压力，不得低于下式计算值：

$$p_s = 1.5p$$

式中：p_s——试验压力，MPa；

p——设计压力,MPa。

在船上安装完毕后需对全部管路系统进行外部检视,检查管路布置是否符合设计要求,安装是否正确,操纵附件的传动装置工作是否可靠、方便。对燃油管系及油舱加热管系等需进行压力试验,其试验压力要求见表6.1.2—10。

表6.1.2 10

管 系	试验压力 (MPa)
燃油管系 油舱加热管系	1.5倍设计压力,但不小于0.392MPa
通过双层底舱或深舱 的舱底水管路	不小于该舱的试验压力

注:内径小于15mm的管子液压试验,经验船部门同意,可以免验。

2)动力管路系统的试验

首先对各系统进行1h效用试验,试验时检查各种泵及电动机的运动部件应无异常发热、泄漏、敲击等现象,并且检查各系统主、备用泵的转换灵活性。同时检测各电动机及其控制设备的热态绝缘电阻,其值应不小于1MΩ。

主、辅机滑油系统的试验,除进行上述试验之外,在试验时应记录试验时的转换、滑油出口压力,电动机的启动和运转电流、电压等。

对主、辅机燃油系统的试验,除进行上述必要的试验之外,尚须对燃油泵的舱室外应急关闭装置作应急停车效用试验2~3次,对双层底以上燃油柜上的速闭阀,于机舱外部操纵进行关闭的试验。

压缩空气系统的试验,首先进行空压机(包括主机带的空压机)连续运转1h试验,空压机运转时应无敲击声和异常发热现象。

每部主机起动空气瓶应分别进行充气试验,并测定充气所需的时间,通常,气瓶内压力从686kPa开始充至最高工作压力的时间应不超过1h。空压机自动起、停装置须进行效用试验,并调整减压阀压力和空气瓶,管路及空压机的安全阀开启压力(开启压力<1.1倍工作压力)。压缩空气系统(包括空气瓶)应在额定工作压力下进行气密试验。检查从起动空气瓶至主机的管路系统,在主机不起动的情况下,24h内的压力降。

滑油和燃油分油净化系统进行效用试验2h。对分离后的油需取样检查,核查其分离效果。分油机运转时,应无振动和异常发热等现象。

分油机工作的自动控制,自动排污按产品技术条件进行调整和试验,并进行电源应急切断装置的效用试验。试验结束后,应检测电动及其控制设备的热态绝缘电阻。

2.1.5 船舶系统的试验

1)通风系统的试验

各种通风机应进行效用试验,其试验时间应不少于0.5h。

试验可按表6.1.6—11进行:

表 6.1.6 11 **通风机装置的效用试验**

风机及装置种类	试验方式	试验时	试验后
各通风机及系统的控制装置、关闭装置,通风机总遥控装置(客船、货船舱室)	进 行 效用试验	风机及电动机运转时应无异常发热、不正常振动等现象。控制及关闭动作要求迅速、方便灵活。	
机舱通风机及系统、机舱外的风机控制装置			
客、货舱、货舱通风机及风筒、货舱外的控制(操纵)装置			
油轮泵舱通风机		原动机传动轴穿过舱壁(或甲板)的填料函应无过热现象	
各种通风机及其控制设备			应测量热态绝缘电阻,其值应不小于 1MΩ

2)舱底水系统的试验

各舱底泵(包括备用泵、喷射泵等)进行效用试验 1h,并调试泵及管路上的安全阀开启压力,调整压力为工作压力加 98kPa。同时检查机舱舱底水的应急抽除效用试验。机炉舱舱底污水沟如果设置有污水水位报警装置,则应作报警效用试验。

机舱舱底系统污水分离器应进行效用试验,试验前将机舱舱底水注入含油量为 1%的试验用油水混合物,试验时间一般应不少于 1h。试验时,污水分离器应无发热及振动现象。在效用试验时,应对分离后的水进行取样分析检查。其排出的污水含油量不大于 10ppm。

污水分离器的自动控制应进行效用试验,同时检查警报器的工作效能。

3)压载系统的试验

首先进行压载泵打水至舷外的水循环 1h 效用试验。首制船舶试验时,应以压载泵将水注满每一个压载舱并将水排出,这时可记录压载舱注满及排空的时间,各压载舱在压载水排空后,舱内残水深度一般不超过 50mm。

效用试验时,泵及电动机应无敲击、异常发热等现象。压载泵或管路上的安全阀应进行调整,其调整压力应不大于工作压力加 98kPa。

4)生活系统的试验及舱室蒸汽取暖系统等。

(1)日用供水系统的试验

试验前按设计图纸要求进行调整海水压力柜、淡水压力柜、饮水柜、冷水柜及各泵的安全阀起跳压力,同时调整各压力水柜的水位及各水泵的起动、停止继电器启闭动作的压力。调试热水柜的温度调节阀。(热水温度保持在 60~70℃ 左右)各水泵进行 1h 效用试验。

(2)粪便系统的试验

粪便泵要进行打水运转 1h 的效用试验,试验时应无异常发热、敲击、泄漏等现象。并进行粪便及其控制系统的效用试验。

(3)舱室蒸汽取暖系统的试验

调整蒸汽管路上的减压阀。然后进行各舱室取暖效用试验,试验时,暖气管路应无漏气漏水现象,暖气系统的凝水回流应流畅。

5)消防系统试验

(1)水灭火系统试验

试验前，调整消防泵或管路上的安全阀开启压力，安全阀的开启压力为工作压力加 98kPa。消防泵应进行打水试验 1h。试验时选定的压头和排量及所用的水枪口径和出水量的估算见表 6.1.6—12 所示。应开的水枪数量和同时喷水的水枪数量，在任何情况下不得少于两只。

表 6.1.6—12

水枪出口压力 MPa (kgf/cm²)	射高 m		水量 m³/h	
	水枪口径 mm		水枪口径 mm	
	16	19	16	19
0.196 (2.0)	17.17	17.62	13.7	19.5
0.245 (2.5)	20.58	21.28	15.5	21.6
0.294 (3.0)	23.64	24.65	16.9	23.8
0.343 (3.5)	26.35	27.72	18.0	25.6

小于 1000 总吨船舶的消防泵及固定式应急消防泵，每台消防泵以两只水枪进行喷水试验，两股喷射水射程均不小于 12m。消防泵如兼用于油轮的甲板洒水系统、泡沫灭火系统、自动喷水系统以及船上其他用水的消防系统时，试验时应同时进行。

首制船应进行消防总管压力试验。试验时使两台消防泵同时向消防总管供水，并以任何相邻的消火栓传输该两泵的规定出水量，此时测量其它消防栓上的压力应不低于表 6.1.6—13 的规定值：

表 6.1.6—13

船舶种类	总吨	消防栓处的压力 MPa (kgf/cm²)
客船	≥4000	0.3139 (3.2)
	<4000 ≥1000	0.2747 (2.8)
货船	≥6000	0.2747 (2.8)
	(6000 ≥1000	0.2551 (2.6)

(2)蒸汽灭火系统的试验

检查管路密性试验记录，并进行各个被保护室管路畅通性试验。然后进行蒸汽灭火系统的蒸汽施放试验。灭火用的蒸汽为饱和蒸汽，压力为 0.491～1.177MPa。

(3)二氧化碳、卤化烃及油船甲板泡沫系统等灭火系统的试验。

试验前，进行外部检视，检查系统各零件的完整性及系统安装、布置是否符合图纸和说明书的要求。同时，检查管路密性试验记录、检查手动及遥控开启装置的工作可靠性，然后作压缩空气作畅通性试验，并检查施放报警装置及通讯工具的效能。报警装置试验后应测量绝缘电阻，对工作电压大于 100V 者，绝缘电阻应不小于 1MΩ；对于小于或等于 100V 者应不小于0.5 MΩ。

试验时，对于首制船舶，应根据船方代表和验船师的意见，选定一个被保护的舱室进行实效试验。二氧化碳灭火系统，应保证在 15min 内将所需的二氧化碳量放入该室。对卤化烃灭火系统，将卤化物容器内按灭火剂的体积充入淡水，用氮气或压缩空气驱动淡水喷入选定的被保

护的舱室，其喷射终了时驱动气体压力不低于0.69MPa，喷射时间不大于20秒。

进行油船甲板泡沫灭火系统实效喷射试验时，应选择总液面为最大的一组毗邻的货油舱，分别进行水和泡沫的喷射试验。

(4)失火报警和探火系统及火灾报警器试验

试验前对自动失火报警和探火系统应进行外部检视，检查其布置和安装是否符合图纸和说明书的要求。试验时应按图纸或说明书的规定进行动作试验，同时检查失火手动按钮并进行动作试验。探测器的试验数量，至少应为每个处所内探测器总数的50%(机械定温式探测器除外)。

(5)自动喷水系统

试验前进行外部检视、检查系统的完整性及管路密封性试验记录，试验时任选一个被保护舱室进行实效试验，并分别使用主电源及应急电源作效用试验，检查两种电源的转换开关操作的灵活性和可靠性。同时，检查供水泵自动投入工作的可靠性及自动喷水系统动作的指示声光信号的效用情况。

3 航行试验

3.1 简　述

航行试验是为了检查船舶处于航行状态下的航行性能，船舶操纵性和机械及动力装置的技术状况。

只有经过严格的倾斜试验和系泊试验，确知船舶具有足够的稳性并消除了系泊试验中发现的故障、缺陷，并取得验船部门发给的试验证书后，船舶才具备航行试验的基本条件。

航行试验前，船舶宜入坞清洗刷新。航行试验项目、内容、方法、程序和试验计划应会同有关方面预先商定。

试航以前，应按试验项目所要求的水深或水面幅度预先确定试验水域。通常规定测速区水深和水面幅度应为船舶吃水及宽度的10～20倍；抛锚试验区水深为45～80m；同时在试航前需了解确切的气象预告。

在航行试验之前，所有船体制造、舾装和机械设备，以及通讯导航设备均应安装结束，并经调整和试验，使之处于良好的适航状态。稳性试验和验算证明在各种装载条件下，均为合格。配备好救生、消防属具；机电备件和专用工具按规定的位置布置好。此外，还应提供在试航时全船详细载荷(固定载荷和可变载荷)分布情况报告。

3.2 机舱动力设备试验

3.2.1 主机及轴系试验

1)主机试验

(1)主机运转试验

主机航行试验是以负荷递增或速度递增--慢速、中速、全速、加速和逆转运行来进行各种工况特性试验的。海船主机试验程序、试验工况及其试验持续时间可参照表6.1.6—14。内河船舶主机各种规定工况的试验参照表6.1.6—15。

表 6.1.6 14

序号	工况特性		试验时间 h				
	对设计值的 %		高速机	中速机		低速机	
	功率	转速		<6000(4413) HP kW	>6000(4413) HP kW	<2000(1471) HP kW	>2000(1471) HP kW
1	50	相对应的设计转速	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
2	75		1	1	1	1	1
3	试验时满负荷功率及转速，按实际情况由设计部门会同有关单位确定并经验船部门同意		2	4	6	4	6
4	倒车	为正车设计功率时转速的75%～85%	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$

主机运转试验应连续进行，中间因故停止时间一般应不超过 15min。主机运转试验时为主机运转服务的各系统的备用泵、辅助设备及海底阀等应进行替代使用，使用时间可各占约二分之一的时间。

表 6.1.2—15

序号	工况特性			试验时间 h		
	功率（对额定值的%）	扭矩（对额定值的%）	转速（对额定值的%）	≤220.6kW（300 马力）	221.4～735.5kW（301～1000 马力）	>735.5kW（1000 马力）
1	75	83	91	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
2	100	100	100	4	7	8
3	110		103	$\frac{1}{2}$	1	1
4	（倒车 85）			$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$

注：①表中 kW(马力)指单机功率。

②在急流航段航行试验的船舶其倒车试验时间视航道具体情况而定。

③倒车的转速，用测功仪或测量爆炸压力，排气温度确定功率后，测量其相应的转速。

(2)主机气缸工作均匀性试验

主机在额定功率运转时，测定并调整各气缸内的主要工作参数，各缸参数与其平均值间的差异应不超过下列范围：

压缩压力　　±2.5%

爆发压力　　±4%

指示功率　　±2.5%

排气温度　　±5%(中速增压柴油机±8%)。

(3)主机最低工作稳定试验

主机转速降低至能够稳定转动的最低转速，并在此转速下运转 5min。其要求如下：

低速柴油机——不大于额定转速的 30%；

中速柴油机——不大于额定转速的 45%。

(4)主机操作试验

主机应进行换向试验，在最低稳定工作转速下，从换向操纵开始到起动，并在相反方向开始以燃油工作为止，所需的时间应不大于 15s。对紧急停车装置应进行效用试验。

主机可燃用重油时，应进行轻油和重油的转换试验。重油预热、粘度自动控制等设备应进行效用试验。

单机功率大于 1471kW 的首制船舶，应测定主机的指示功率或轴功率，并且应在 75%及100%负荷时测定主机的耗油量。

燃油的耗量可按重量测定，也可按容量测定。采用容量法时，根据专门的计量容器中燃油耗尽的时间测定耗油量。计量器(量桶)一般由三部分(即三个用玻璃管依次串联的、容量不大的金属容器)组成。量桶接在主机的给油系统中。见图 6.1.6—1 所示示意图。

测量方法：主机正常工作时，由燃油日用柜供油。如果要测量耗油量时，燃油通过三通转换阀变换燃油输送方向，由量桶供油。燃油耗量根据量桶中间部分燃油耗尽的时间测量。量捅容量的大小取决于主机的功率。通常选择容量即要求在全功率条件下燃油耗尽时间为 3～5min。在测量耗油量之前，应用量杯校验量桶的容量。

不管是哪种试验状态，量桶中燃油耗尽时间的测定最好是在每个航程中进行两次或三次。根据所测得的燃油耗尽时间求出耗油重量 Q(kg/h)：

$$Q=\frac{P \cdot V \cdot 3600}{t} \tag{4.1.6—5}$$

式中：V ——量桶容量，cm^3；

ρ ——燃油密度，kg/cm^3；

t ——量桶燃油耗尽时间，s。

燃油消耗率的计算：

$$燃油消耗率=\frac{每小时燃油消耗量}{轴功率}$$

(5)主机遥控及自动化操作试验

遥控及自动化船舶或机舱无人值班的船舶，应在驾驶台辅控制站和机舱主控制站对主机进行所有运转工况范围内的各种控制试验。试验方法和时间，对柴油机推进装置按图 6.1.6—2 所示的程序进行；对柴油机动力可调螺旋桨推进装置的单手柄控制系统可按图 6.1.6—3 所示的程序进行

试验时，至少在驾驶台辅控制站按图示顺序进行二个循环的控制，在机舱主控制站进行一个循环的控制。

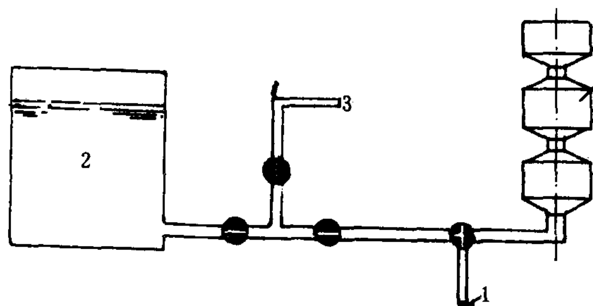


图 6.1.6—1 量桶与主机给油系统示意图

1—进柴油机；2—燃油日用柜；3—来自备用油箱；4—量桶

图中所注的数字为时间(min)，微速正车时，在标有 φ 符号处，船舶应进行满舵操作。标有→的过程，控制手柄应尽快扳到所要求的工况位置。标有⊖符号，为由驾驶室控制站进行中速前进控制时，切断遥控系统的动力(电、空气、油压)2min 检查主机不应因控制动力中断而发生任何危险或不正常情况。标有→→的过程，为主机由应急停车装置进行紧急停车。标有×符

号处轴系应该停止旋转。

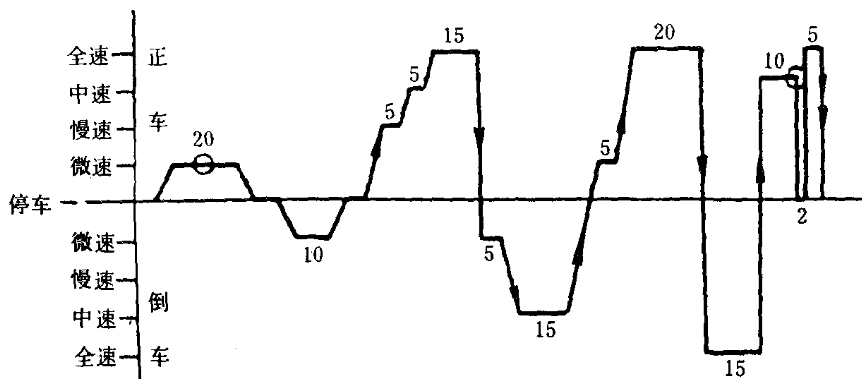


图 6.1.6—2 主柴油机控制系统试验程序

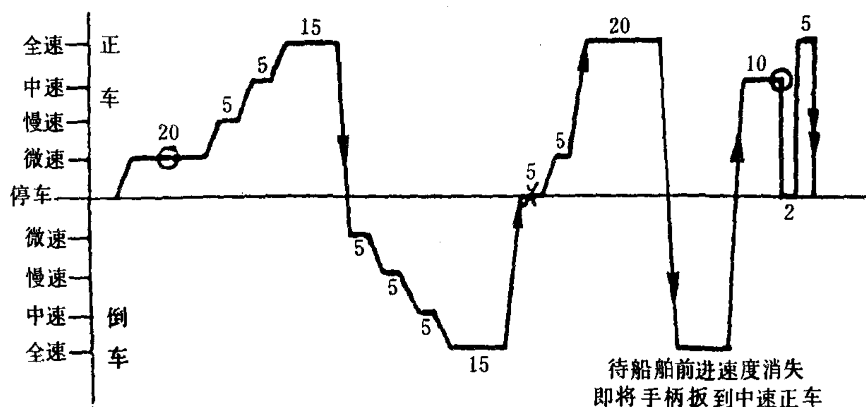


图 6.1.6—3 柴油机动力可调螺旋桨推进装置单手柄控制系统试验程序

试验时，主机的转速应为船舶在狭水道或港内操纵航行时的全速、中速、慢速和微速，一般试验时的全速转速约为海上航行时额定转速的 2/3。试验过程中当每一档控制状况改变时，其改变前的转速应达到稳定状况。多机单桨船舶的控制系统及可调螺距螺旋桨船舶的非单手柄控制系统，试验方法和时间可根据实际情况参照上图作必要的增减。

当主机在正车和倒车运行时，应进行控制站的转换试验，以及由所有控制站控制主机，使之按程序进行起动及自动再起动的效用试验，此项试验结果应可靠并无误动作。

此外，尚应在空气压缩机不补充空气的情况下，以遥控系统进行操纵，作正车和倒车相交替的起动试验 12 次。

模拟主机自动减载和(或)自动停车的故障，进行自动减载和(或)自动停车的效用试验。遥控系统设有越控按钮时，应试验越控操纵的功能。

对于无人值班的机舱，在上述试验之后尚应在主机全速运行时模拟电站失电故障；检查备用发电机自动起动并自动投入供电的功能。在电力恢复后船舶正常运行服务的辅机应由主控制站起动，且应不需要作就地调节即能投入运行。

遥控及自动化机舱的主机及其控制系统的各种检测报警、安全保护、数据记录和处理等装置，在航行试验时，其功能或动作均应正确可靠。

2)轴系试验

轴系的试验，可按系泊试验所规定的内容进行。试验结束后，主机曲轴的臂矩差应作冷态

复测和记录。

对装有可调螺旋桨的轴系，应进行可调螺旋桨叶片工作稳定性试验，在额定转速时，操纵桨叶转动，使其螺距角从正满角到负角或从负满角到正角各二次，从操纵至负角(或正角)开始所需的时间，应各不大于15s。

船舶在航行中，轴系承受着各种各样复杂的负荷—不变的和交变的，这些复杂的负荷(应力)是造成船舶轴系破坏的主要原因。其中如轴系的扭转振动、纵向振动及回旋振动等是产生轴系疲劳破坏的主要因素。为保证船舶的安全营运，在航行试验中必须对轴系的各种振动进行测试。有关轴系振动的测试方法可参阅本卷第2篇第2章

3.2.2 废气锅炉试验

废气锅炉试验主要按设计要求进行测定，在试验前须调整安全阀的起跳压力，检查安全阀手动开启装置的操纵灵活性。

在主机全负荷航行时，锅炉作效用试验，同时测量下列数据：排烟进锅炉的温度和压力；蒸汽温度和压力；给水温度和压力。

设置有烟气调节门装置，则必须检查烟气调节门开关情况，不论是开启还是关闭位置都应该稳固可靠，无振动、敲击现象。

自动调节及安全报警设备须进行调整和效用试验。

3.2.3 海水淡化装置试验

海水淡化装置应结合航行试验，在主机全速运转时进行试验。以检验造水能力和造水质量。

在主机全速运转时，海水淡化装置应进行2～4h的效用试验，并对所造的淡水取样进行检查，其水质和造水量应符合设计图纸要求。

调整自动控制淡水含盐量的盐度计，盐度计所示的盐度读数与水中实际含盐量应相符。检查回流电磁阀的动作，回流电磁阀应在水中盐度超过规定值时动作，使不合格的水回流掉。检查海水淡化装置的凝结水和盐水水位自动调节器的动作。凝结水及给水管上的自动控制水位的电磁阀的动作必需可靠。检查含盐量自动控制及水位自动控制的声、光报警装置的报警准确性。

3.2.4 柴油发电机组运行试验

船舶进行航行试验时，各柴油发电机组应互相替换配合主机工作。观察其运行的稳定性、负载转移的可靠性或分区供电及自动卸载的可靠性。电站的自动控制系统包括监测、控制及报警装置，在试航时其功能和动作应准确可靠。在任一常用工况下，作起动船上最大功率电动机时，应保证其他电气设备仍能正常工作。检查三相三线及四线系统各相(或线)间负载的不平衡度。测量并记录电站各种有关数据，柴油机在各工况时的油、水、气的温度和压力。

航行试验结束后，每台柴油机至少应任选一缸进行拆开检查，拆检完毕重新装复后应动车复试0.5h。

3.3 振动与噪声测试

振动与噪声是衡量船舶设计质量的主要指标之一，进行振动与噪声测试的目的在于评价船舶振动与噪声状态和评价船舶建造质量。

在振动测量时，通常要测的基本参数是振动的幅值大小、频率和相位。机械振动测量的方法可归纳成非电测法和电测法两大类。非电测法中通常包括机械式和光学与激光测振等。振

动测试方法和要求详细内容可参阅本卷第 3 篇第 1 章。

噪声测试用的仪器通常采用精密级的声级计、工业级的声级计。测量脉冲噪声时,应采用脉冲声级计。测试的详细内容和方法可参阅本卷第 3 篇第 2 章。

参 考 文 献

[1] 中华人民共和国船舶检验局译:国际海上人命安全公约,1974 SOLAS 公约,1978 SOLAS 议定书,1981 和 1983 SOLAS 修正案,综合文本

[2] 黄尚武编著:船舶系泊试验与航行试验,人民交通出版社,1965 年

[3] 中华人民共和国国家标准:柴油机动力海洋船舶系泊及航行试验通则,中国标准出版社出版,1984 年

[4] A·B·索科洛夫著:船舶监造与验收手册,人民交通出版社,1965 年

[5] 中华人民共和国船舶检验局:钢质海船建造规范,人民交通出版社,1989 年

[6] [苏]维·彼·曼奴依洛夫著:船舶动力装置管理,人民交通出版社,1982 年 7 月

[7] 中华人民共和国国家标准:柴油机动力内河船舶系泊和航行试验大纲,中国标准出版社出版,1983 年 8 月

[8] 盛昕、周轶尘、程冲合编:“船用柴油机实用手册”,人民交通出版社,1985 年 7 月

第2篇　轴系与传动设备

第1章　船舶轴系

1　船舶轴系的任务与组成

1.1　轴系的任务

船舶轴系的基本任务是将主机的功率传递到螺旋桨，同时将螺旋桨旋转产生的轴向推力传给船体，以推动船舶运动。

1.2　轴系的组成

船舶轴系主要由传动轴(推力轴、中间轴、螺旋桨轴等)、传动设备(联轴器、或变速齿轮箱等其它传动设备)、支承部件(推力轴承、中间轴承、尾管轴承)、尾管密封装置以及其它附件等所组成。图6.2.1—1为轴系基本组成的简图。

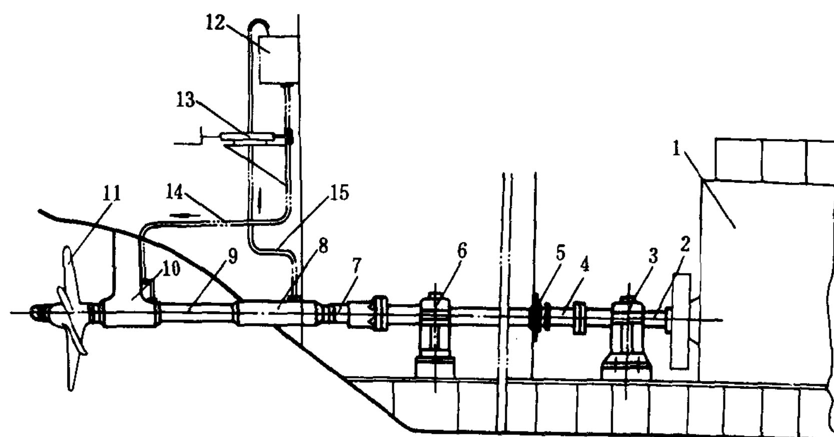


图6.2.1—1　轴系组成简图

1—主机；2—推力轴；3—推力轴承；4—中间轴；5—隔舱填料函；6—中间轴承；7—螺旋桨轴；8—尾管支承；9—尾管；10—尾轴架；11—螺旋桨；12—尾轴油柜；13—尾轴润滑油泵；14—进油管；15—回油管

2 轴系的布置

2.1 轴　线

轴线是指主机(或离合器或齿轮箱)输出法兰端面中心至螺旋桨桨毂端中心之间的联线，如图 6.2.1—2 所示。两端点的距离 L 为轴线的基本长度。

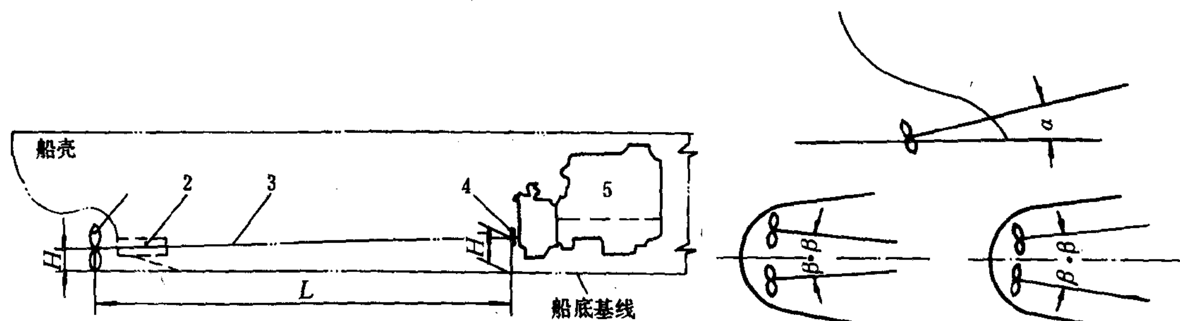


图 6.2.1—2　轴线长度及位置

1—螺旋桨；2—轴线；3—齿轮箱输出法兰；4—齿轮箱；5—主机

图 6.2.1—3　轴线的纵倾角和偏斜角

传动轴的实际长度尚应考虑螺旋桨桨毂端面中心后的轴段长度，即用来安装螺旋桨的轴段和螺纹的长度。

2.1.1　轴线的布置

轴线纵向倾角 α 和偏斜角 β 见图 6.2.1—3，其值应满足表 6.2.1—1 所列的值。

表 6.2.1—1　**纵倾角与偏斜角允许值**

轴线数目	α	β
单　轴　线	0～5°	
双　轴　线	0～5° 小艇或快艇可达 12～16°	0～3°

2.1.2　轴线布置与螺旋桨推力的关系

螺旋桨有效推力 T_e'：

$$T_e' = I_e \cdot \cos\alpha \cdot \cos\beta \tag{6.2.1—1}$$

式中：T_e——螺旋桨输出推力；

α——轴线纵倾角；

β——轴线偏斜角。

2.2　轴承的位置及间距

2.2.1　轴承的位置

中间轴承应设置在船体结构刚性较好变形较小的部位，如隔舱壁附近或强肋板处。对于小

型船舶可以直接将轴承设置在隔舱壁上。

单轴系船舶，尾管内设有尾轴承。对于多轴系船舶，一般设有尾轴架，除尾管内设尾轴承外，在尾轴架内也应设置轴承(尾轴架轴承)。

2.2.2 轴承的数目和距离

一般一根中间轴只由一道中间轴承。对于下列情况可用两道中间轴承：

$d>350\text{mm}$　　　$\frac{L}{d}>22$

$d<100\text{mm}$　　　$\frac{L}{d}>40$

式中： d——中间轴轴径，mm；

L——中间轴长度，mm。

单轴系船舶，螺旋桨轴一般采用两道尾轴承支承。对于尾管较短的大型船舶，在尾管中可只设置一道后尾轴承，而在尾管前加设一道中间轴承(相当于前尾轴承)，以支承螺旋桨轴。多轴系船舶尾轴承数目视船体尾型不同而异，对具有尾轴架的船舶，除尾管中设置尾轴承外，最末一道轴承设在尾轴架。

中间轴承间距按下式估算：

$$395.3\sqrt{d}\leqslant l\leqslant 632.4\sqrt{d} \qquad (6.2.1—2)$$

式中：l——两轴承的间距，mm；

d——中间轴轴径，mm。

中间轴承实际布置间距，应通过轴系校中计算后确定。

尾轴承间距按下式估算：

$$\left.\begin{array}{ll} d>400\text{mm} & l\geqslant 12d \\ d=300\sim400\text{mm} & l=(14\sim25)d \\ d<300\text{mm} & l=(16\sim40)d \end{array}\right\} \qquad (6.2.1—3)$$

式中：d——螺旋桨轴轴径，mm。

尾轴承实际布置间距，应经轴系回旋振动计算校核后确定。

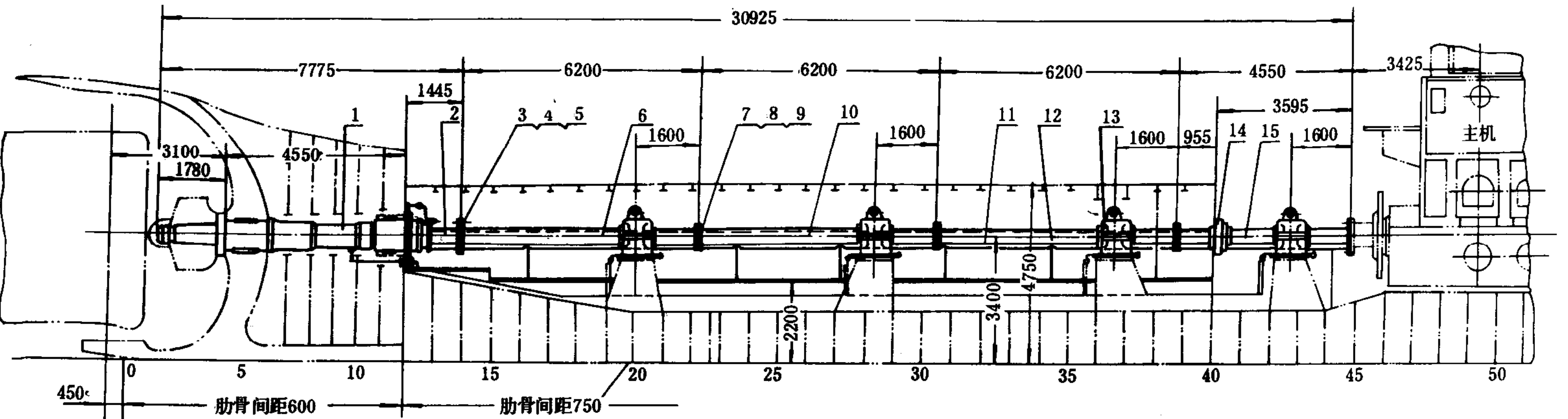
2.3 轴系布置的典型实例

图6.2.1—4为远洋万吨货船庆阳号轴系布置图。轴系总长为30.925m，由一根螺旋桨轴及四根中间轴组成，采用整锻法兰相互连接，轴线与船体基线平行。

图6.2.1—5为35000t散货船安平号轴系布置图。轴系总长为12.845m，由一根螺旋桨轴及一根中间轴组成。尾管较短，只设有一道尾管轴承，螺旋桨轴首端设置一道中间轴承式的前轴承。

图6.2.1—6为申汉线客船双轴系布置图。该船轴系由推力轴、四根中间轴及螺旋桨轴所组成，螺旋桨轴由两道尾管轴承及尾轴架轴承支承。

图6.2.1—7为长江2×980kW推船轴系布置图。该船轴系为减速齿轮传动，减速齿轮箱输出端后的传动轴由一根中间轴及螺旋桨轴所组成。



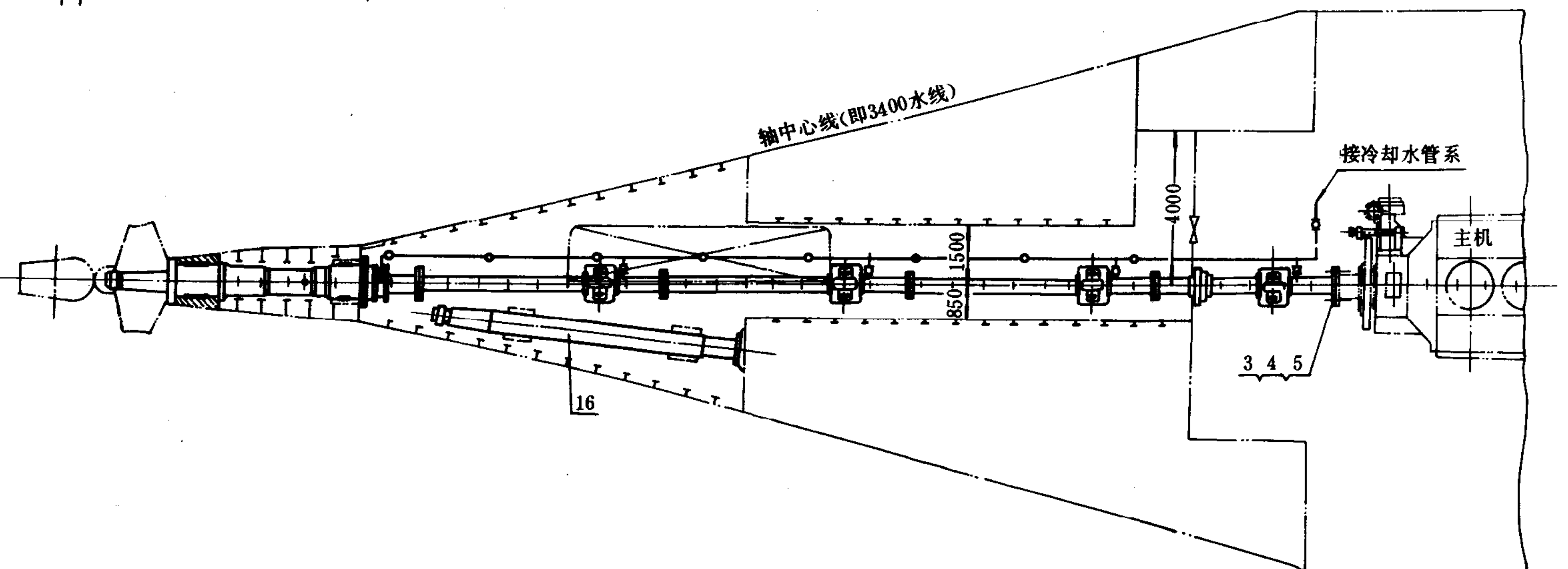


图 6.2.1—4　远洋万吨货船庆阳号轴系布置图

1—尾管装置;2—螺旋桨轴;3、4、5—螺栓、螺母、开口销;6、10、11、15—中间轴;7、8、9—螺栓、螺母、开口销;12—栏杆支柱;13—中间轴承;14—隔舱填料函;16—备用螺旋桨轴

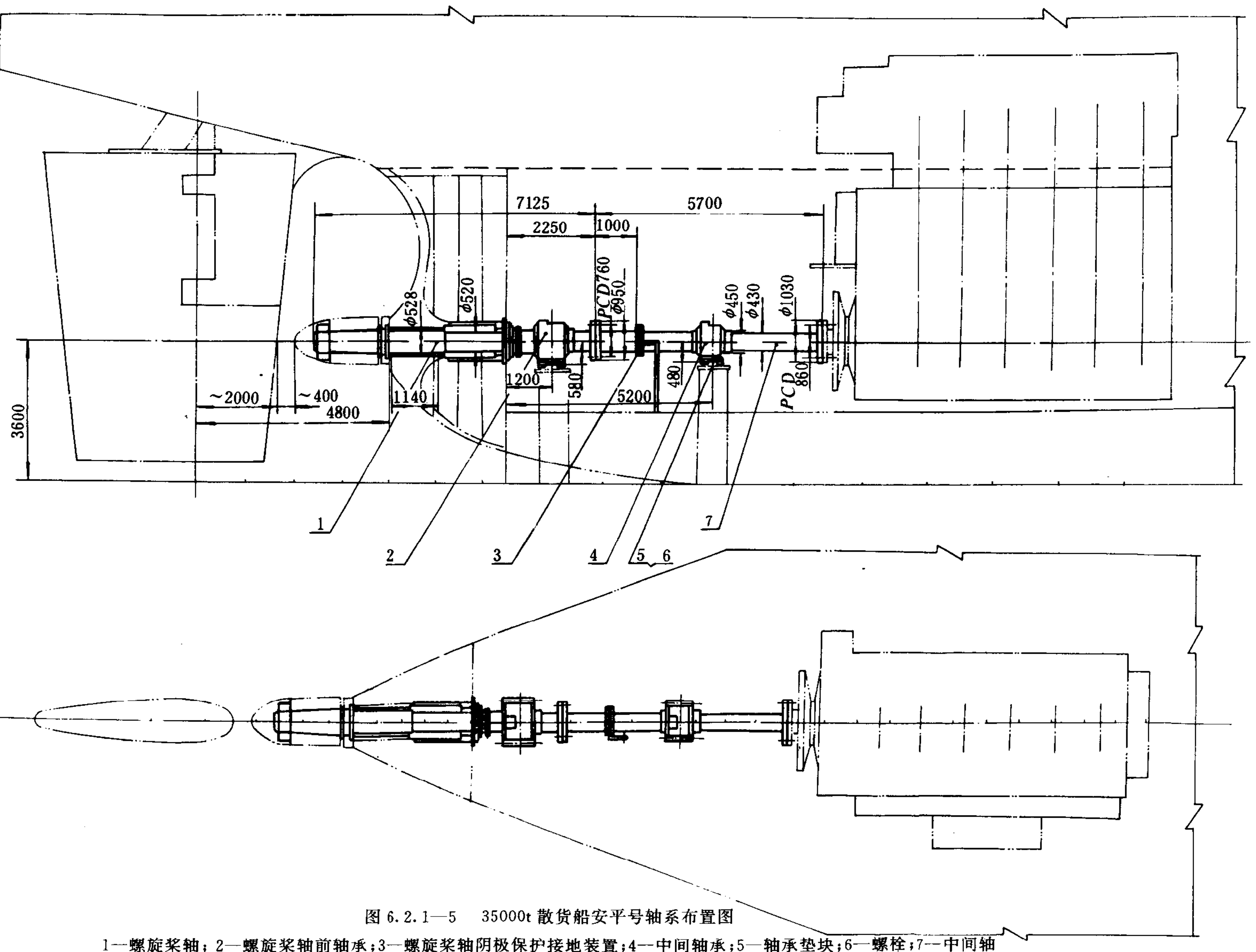


图 6.2.1—5　35000t 散货船安平号轴系布置图

1—螺旋桨轴；2—螺旋桨轴前轴承；3—螺旋桨轴阴极保护接地装置；4—中间轴承；5—轴承垫块；6—螺栓；7—中间轴

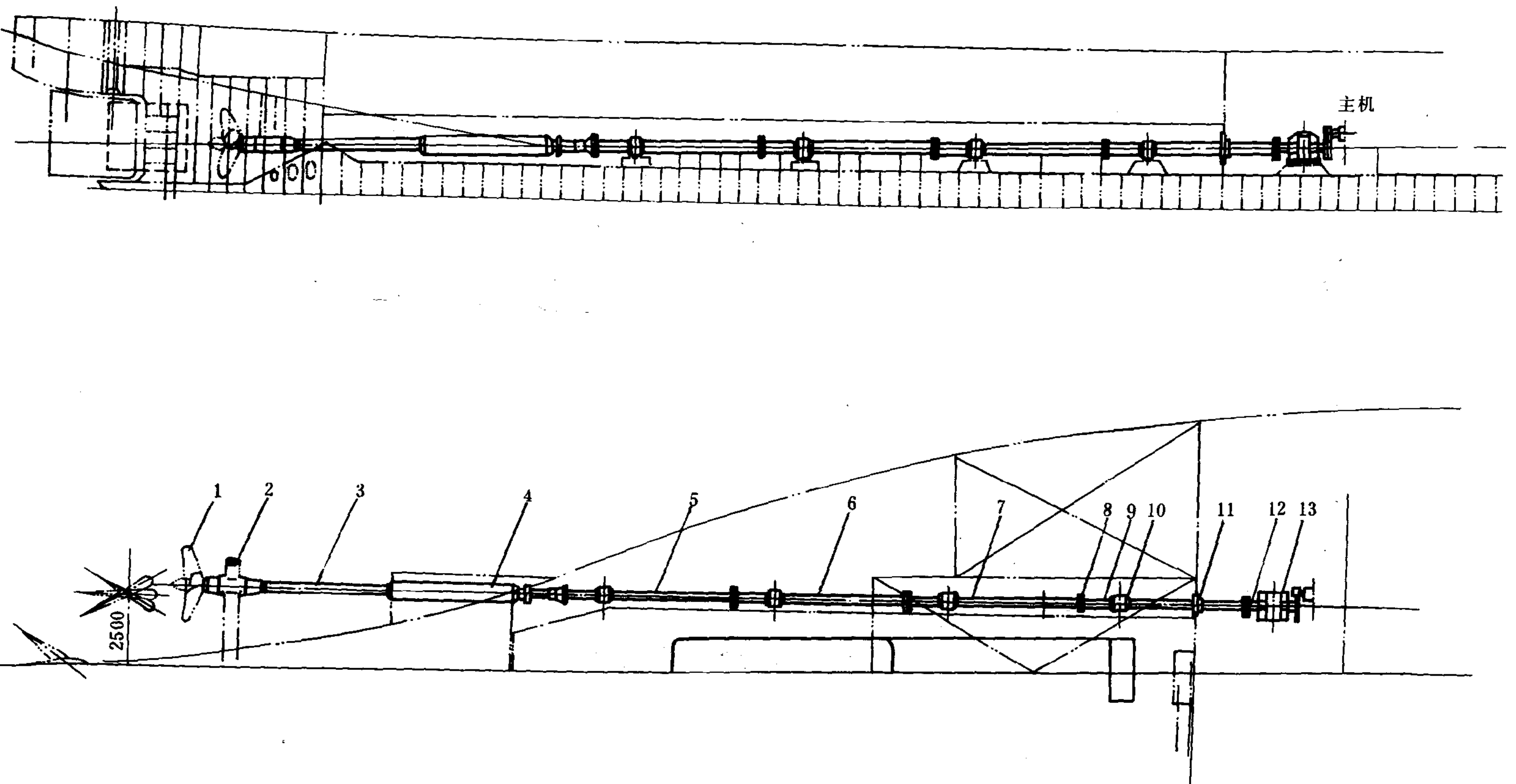


图 6.2.1—6　申汉线客船轴系布置图

1—螺旋桨;2—尾轴架;3—螺旋桨轴;4—尾管装置;5、6、7、9—中间轴;8—中间轴连接法兰;10—中间轴承;11—隔舱填料函;12—推力轴;13—推力轴承。

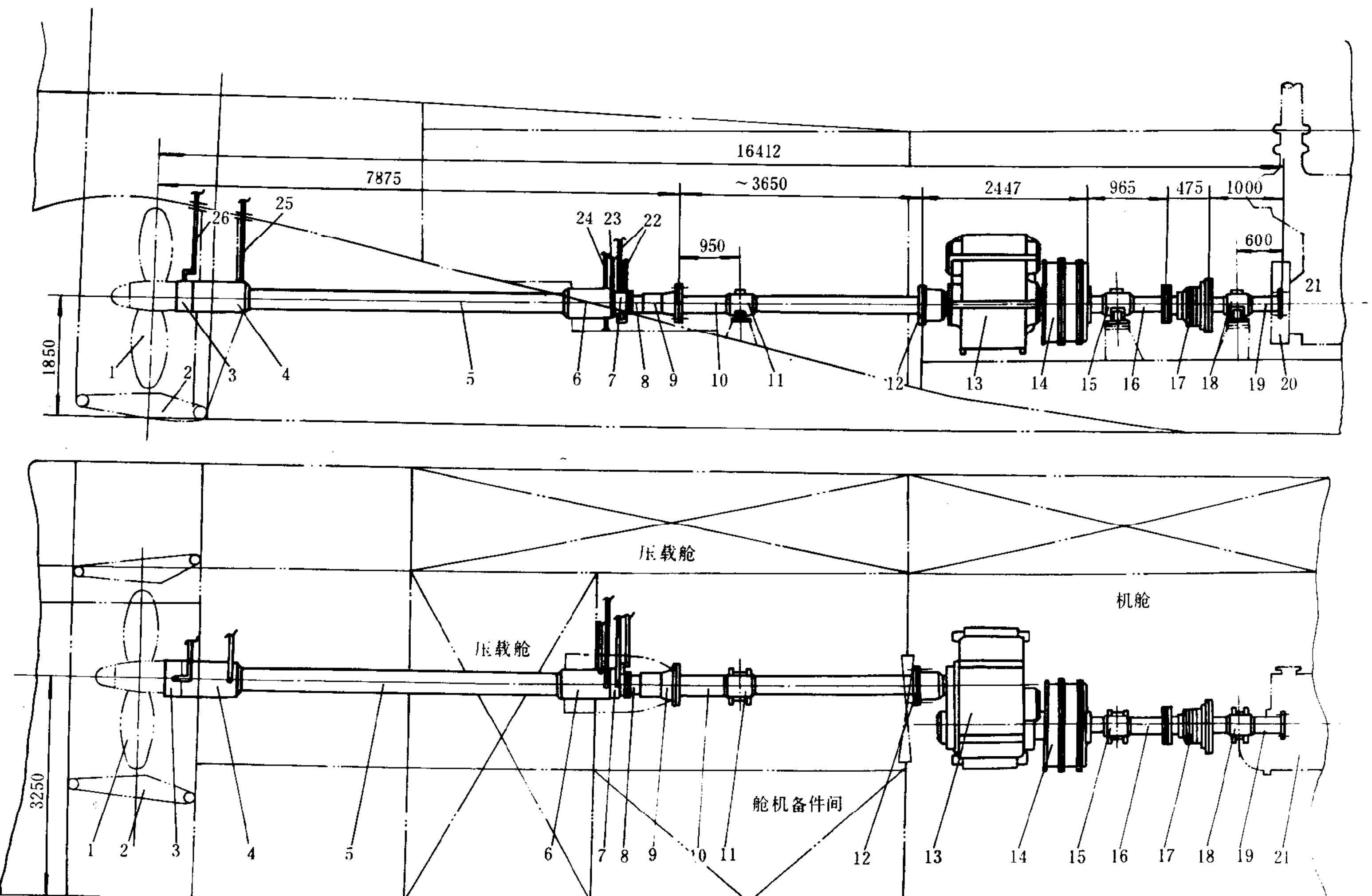


图6.2.1 7 长江2×980kW推船轴系布置图

1—螺旋桨；2—导流管；3—尾轴后密封；4—尾轴架；5—尾管；6—尾管前轴承；7—尾轴前密封；8—螺旋桨轴；9—可拆联轴器；10—中间轴；11--中间轴承；12—整锻法兰；13—减速齿轮箱；14—气胎倒顺离合器；15、18—短轴中间轴承；16、19—短轴；17—高弹性联轴器；20—巨轮；21—主机；22—前密封润滑油管；23—尾管回油管；24—抽油管；25—尾管进油管；26—后密封润滑油管

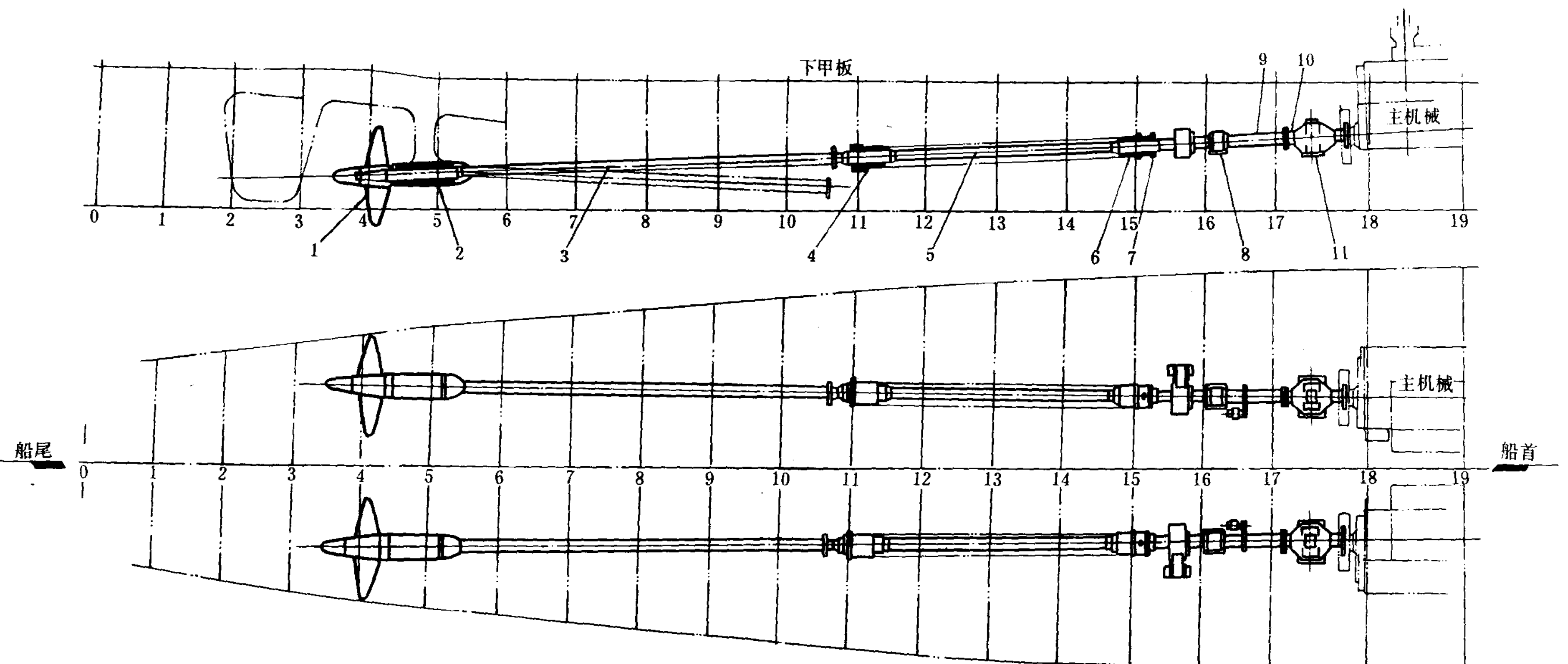


图 6.2.1—8　螺旋桨轴与尾管轴

1—螺旋桨；2—尾轴架；3—螺旋桨轴；4—尾管轴；5—尾管；6、9—中间轴；7—推力轴；8—中间轴承；10—推力轴；11—推力轴承

3 传 动 轴

3.1 传动轴的组成

传动轴通常由螺旋桨轴、中间轴和推力轴，以及将这些轴段连接的联轴器所组成。中机舱船舶轴系，将采用多根中间轴（见图 6.2.1—6）；尾机舱船舶轴系，传动轴往往只由一根中间轴和一根螺旋桨轴组成（见图 6.2.1—5）。螺旋桨轴伸出船体过长的多轴线船舶的轴系，通常又增设尾管轴（通过尾管但不安装螺旋桨的轴段），如图 6.2.1—8 所示。

3.2 传动轴的结构

3.2.1 螺旋桨轴

1）结构类型

图 6.2.1—9 所示为螺旋桨轴的几种基本结构。

采用可拆式法兰的首端锥体需开设键槽。安装螺旋桨的尾端锥体上的键槽，根据与螺旋桨的联结方式而定，用螺母紧固联结的，必须开设键槽。

2)尾端结构

螺旋桨轴的尾端结构与尺寸符号示于图 6.2.1—10。

① 锥体部分长度 L

$$L = 2.7d - 1.35\times10^{-3}d^2 \quad mm \qquad (6.2.1—4)$$

式中：d—— 螺旋桨轴直径，mm。

② 锥度 K

$$K = \frac{d - d_k}{L} \qquad (6.2.1—5)$$

式中：d_k——锥体小端直径，mm。

对于船舶轴系，K＝1/10～1/15，通常采用 1/12、1/15。

③ 锥体小端直径 d_k

$$d_k = d - KL \quad mm \qquad (6.2.1—6)$$

④ 尾螺纹直径 d_w 和长度 l_w

$$d_w = (0.75\sim0.9)d_k \qquad (6.2.1—7)$$

$$l_w \approx d_w \qquad (6.2.1—8)$$

尾螺纹的旋向和螺旋桨回转方向相反，并设置尾螺母锁紧装置。

⑤ 键和键槽

键的有效长度 L_e

$$L_e = L - 0.447d \quad mm \qquad (6.2.1—9)$$

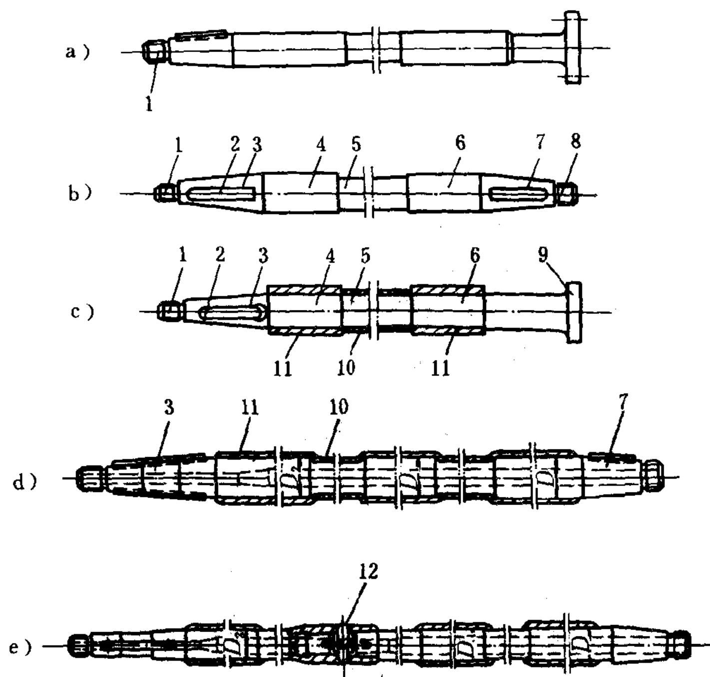


图 6.2.1—9　螺旋桨轴的基本结构

a）为不带轴包覆的整体式法兰螺旋桨轴；b）为不带轴包覆的可拆式法兰螺旋桨轴；c）为带轴包覆和轴套的整体式法兰螺旋桨轴；d）为带轴包覆和轴套的可拆式法兰螺旋桨轴；e）为连接有尾管轴的组合式螺旋桨轴。

1—尾螺纹；2—键槽；3—尾锥体；4—后轴颈；5—轴；6—前轴颈；7—前锥体；8—前螺纹；9—整体式法兰；10—轴包覆；11—轴套；12—可拆联轴器

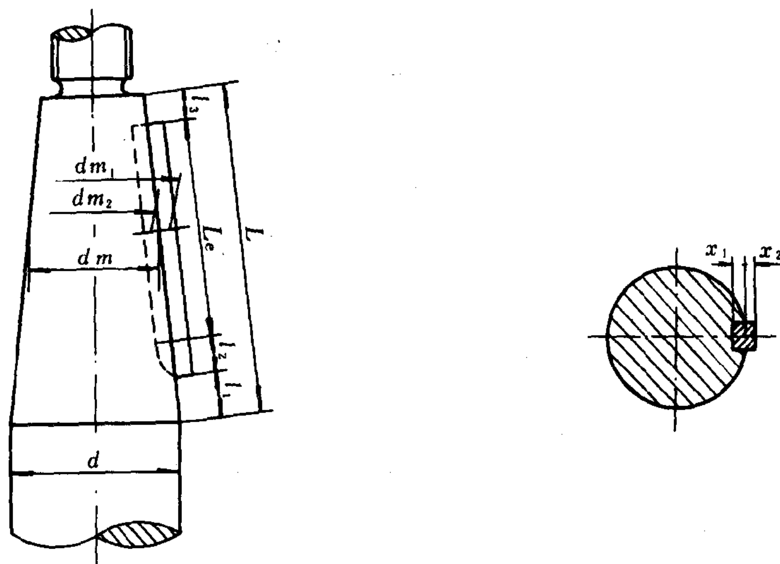


图 6.2.1—10　螺旋桨轴尾端锥体的结构尺寸

键材料的抗拉强度应等于或大于轴材料的抗拉强度。

键槽的宽度、高度及键高根据轴径 d 按照 GB1095—79 选配。

键槽的结构应具有的技术要求：

(1)键槽首端应平滑，且呈汤匙形，如图 6.2.1—11 所示，键槽首端至锥部大端的距离(见

图 6.2.1—10) $l_1 \geqslant 0.2d$。

(2)键槽宽度应一致,在任何位置测量,其偏差应不大于 0.02～0.05mm。

(3)键槽高度应一致,在任何位置(除汤匙形部位)测量,每 10mm 高不超过 0.10mm,但最大不能超过 0.25mm。

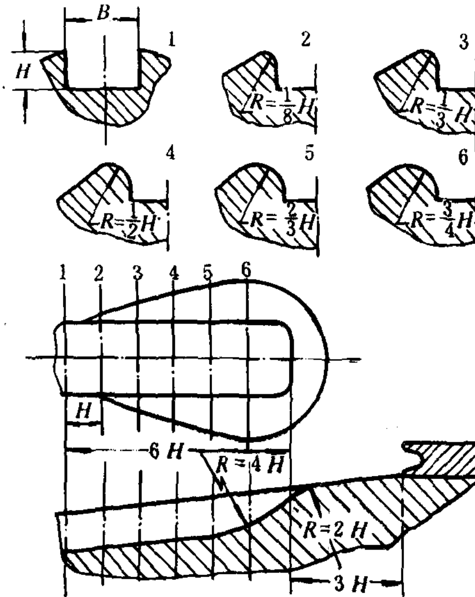


图 6.2.1—11　匙式销楔形键槽

(4)键槽两侧与轴径平行度为 0.01/100。

(5)键槽底部的边缘需磨光滑,应有 r＝1～3mm 的圆角。

(6)键应用螺钉固定在键槽中,螺钉孔不应放在距前端键长 1/3 的范围内。螺钉孔的深度应不超过螺钉孔的直径,且孔的边缘应打磨光滑。

螺旋桨轴圆锥体与圆柱体交界处,不应有凸肩或圆角。

3)轴与轴颈

轴的直径按 3.3.1 进行计算,并根据与其最相近的标准化轴径数值进行选定,其长度则由轴系布置确定。

未装轴套的轴颈直径,应比轴的直径增大 5～30mm,且前后轴颈直径制成略有差值(约 2～10mm)。装轴套的轴颈,其直径比轴的直径大 1～3mm。轴颈处的圆度、圆柱度应不大于表 6.2.1—2的值。

表 6.2.1—2　　轴颈的圆度、圆柱度允许值　　(mm)

轴颈直径	新制或光车修理	中间轴磨损极限		螺旋桨轴或尾管轴磨损极限			
				圆度		圆柱度	
	圆度 圆柱度	圆度	圆柱度	油润滑	开式水润滑	油润滑	开式水润滑
<80	0.01	0.075	0.09	0.10	0.125	0.125	0.15
80～120	0.01	0.09	0.10	0.12	0.15	0.15	0.185
120～180	0.015	0.10	0.12	0.135	0.175	0.175	0.225
180～260	0.015	0.12	0.14	0.15	0.20	0.20	0.275
260～360	0.02	0.135	0.16	0.175	0.235	0.225	0.35
360～500	0.025	0.15	0.20	0.20	0.275	0.25	0.45
500～700	0.03	0.17	0.225	0.225	0.325	0.275	0.55

4) 轴套

(1)采用水润滑的尾管装置,在轴颈处均安装轴套。

(2)轴套材料

锡青铜 QSn10—2,锰黄铜 HM*n*58—2(用于小型内河船舶)。

(3)螺旋桨轴或尾管轴铜轴套的厚度可按表 6.2.1—3 进行计算和选定。

表 6.2.1—3　**螺旋桨轴铜轴套厚度**　(mm)

分　类	新制最小厚度	非工作轴颈部位	光车修理时厚度	极限厚度
计算式	$t \geqslant 0.03d+7.5$	$t_0 \geqslant 0.75t$	$t_1 \geqslant 0.02d+5$	$t_j=0.015d+3.5$

注：d—轴颈直径，mm。

(4) 轴套一般应是整体铸造，对于较长的轴套允许分段组成，但各段轴套必须在套合前焊接成一整体，或采用经船级社认可的方法，确保其对接面的密封，防止海水浸入，接缝部分不允许设在轴承区域内。

(5) 非焊接的接缝需制成如图 6.2.1—12 所示的形式，搭口成 V 形，用锡焊填补。接缝填补加工完成后，应作油压试验，试验压力为 0.1MPa。试压后将泵油处用红粉白漆予以捻没，并用螺塞闷死。

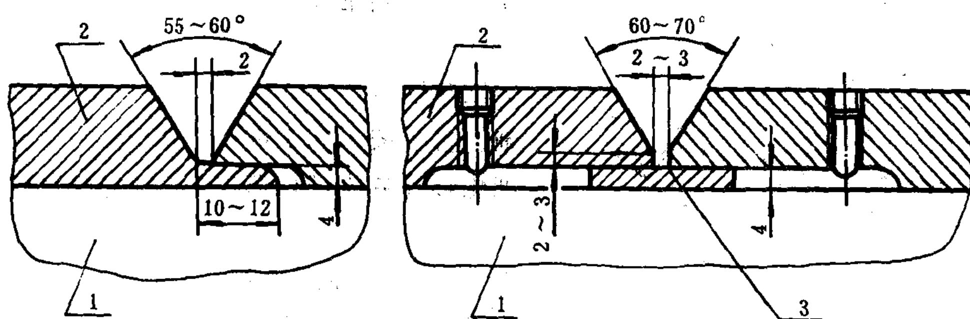


图 6.2.1—12　轴套的搭缝

1—螺旋桨轴；2—轴套；3—垫环；

(6) 整体式或分段轴套，在粗加工后应进行 0.2MPa 的油压试验，应无裂纹或泄漏现象。

(7) 轴套应采用红套或油压法压入到轴上，轴套与轴颈配合的平均过盈量(按轴颈直径的%)见表 6.2.1—4。

表 6.2.1—4　**轴套与轴颈配合的平均过盈量**

轴颈直径 mm	≤100	>100～200	>200～300	>300～400	>400～500	>500～600	>600～800	>800～1000
平均过盈量(按轴颈直径的%)	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.055	0.05	0.045

(8) 轴套内圆表面粗糙度不得低于 3.2▽，圆度与圆柱度不得超过表 6.2.1—5 的值，轴套外圆表面粗糙度应达 0.8▽。

表 6.2.1—5　**轴套内圆的圆度、圆柱度允许值**　(mm)

轴颈直径	≤120	>120～180	>180～260	>260～500	>500～800	>800
圆度及圆柱度	0.025	0.035	0.045	0.055	0.065	0.075

5) 螺旋桨与螺旋桨轴联接型式

(1) 有键机械联接

如图 6.2.1—13 所示。

① 机械联接型式主要用键来传递扭矩，键受剪切的有效截面积应不小于下式确定的值：

$$BL_e=\frac{d^3}{2.35d_m}\quad mm^2 \qquad (6.2.1—10)$$

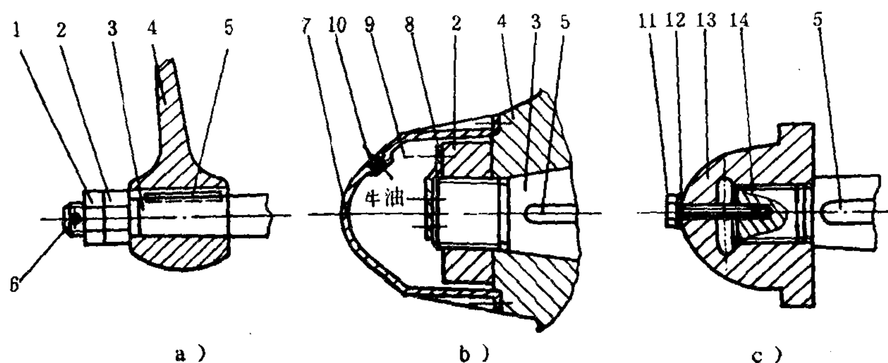


图 6.2.1—13　螺旋桨有键机械联接

1—锁紧螺母；2—尾螺母；3—后锥体；4—螺旋桨；5—键；6—横销；7—导流帽；8—尾螺母止动块；9—螺栓；10—螺塞；11—锁紧螺栓；12—弹簧垫圈；13—尾螺帽；14—尾螺纹

式中：B ——键的宽度，mm；

L_e——键的有效长度，mm；

d ——计算的中间轴直径（按本章 3.3.1），mm；

d_m——在键中部处的轴直径（见图 6.2.1—12），mm。

在键的结构尺寸不能完全满足要求时，可按抗剪的侧面挤压应力来校核，计算结果必须满足下列关系式：

键的剪切应力：

$$\tau=\frac{1000T}{\frac{d_m}{2}\cdot L_e\cdot B}\leqslant 40\text{MPa} \qquad (6.2.1—11)$$

键的侧面压缩应力：

$$\sigma_c=\frac{1000T}{\frac{d_{m_1}}{2}\cdot L_e\cdot x_1}\leqslant 200\text{MPa} \qquad (6.2.1—12)$$

式中：　T ——主机持续运转时最大扭矩，N·m；

$d_{m_1}(d_{m_2})$ ——受压缩螺旋桨毂侧的键槽侧面的平均直径，mm；

$x_1(x_2)$ ——受压缩键的桨毂侧的有效高度，mm；

d_{m_1}、d_{m_2}、x_1、x_2 的尺寸见图 6.2.1—10。

② 螺旋桨轴的锥体应与螺旋桨的锥孔进行研制配合，应有 75%以上的面积均匀接触，在每 $25\times25\text{mm}^2$ 的面积上不得少于 2～4 个接触点。

③ 尾螺母应有锁紧装置，如图 6.2.1—13(a)中锁紧螺母 1、图 6.2.1—13(b)中尾螺母止动块 8 及图 6.2.1—13(c)中锁紧螺栓 11。

④ 在螺旋桨的尾部通常应装有导流帽，如图 6.2.1—13(b)中的 7、图(c)中的 13。

(2) 油压无键套合联接

这种联接方法如图 6.2.1—14 所示。

① 压入准备

a. 螺旋桨轴锥体与桨锥孔进行研制配合，其间的实际接触面积应不小于 70%的理论接触面积（着色进行检查）。

b. 将桨锥孔和轴锥体用洗涤液充分洗净，配合表面应清洁、无油脂、并确认无伤痕。

c. 应使螺旋桨与轴锥体的温度相等。

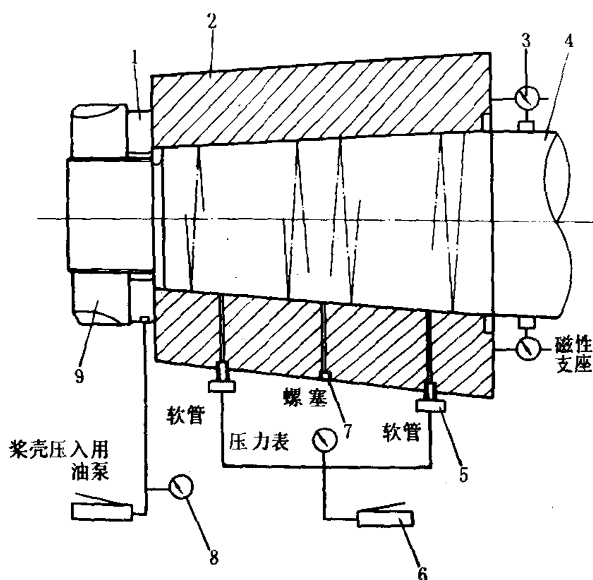


图 6.2.1—14 螺旋桨油压无键套合联接

1—油压千斤顶；2—螺旋桨；3—千分表；4—螺旋桨轴；5—接头；6—油泵；7—螺塞；8—压力表；9—液压螺母

d. 如图 6.2.1—14 所示将油压千斤顶和液压螺母安装好，将螺母旋紧。油压千斤顶的柱塞行程应与轴向推入量相适应。

e. 将管接头旋入桨毂扩大用的注入孔中。

f. 用软管把桨毂扩大油泵与桨毂注入孔相接，把桨毂压入油泵与压入油压千斤顶相接。

g. 在螺旋桨轴锥体大端附近对称安装两只千分表，测杆应与轴线平行。

② 轴向推入量 S

轴向推入量 S 应满足下式规定：

$$S_1 \leqslant S \leqslant S_2$$

$$S_1 = \frac{1}{K}\left[47750 \times 10^4 \frac{N_e}{An_e}\left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2}\right) + (\alpha_1 - \alpha_2)(35 - t)d_1 + 0.03\right] \quad \text{mm} \tag{6.2.1—13}$$

$$S_2 = \frac{1}{K}\left[0.7\sigma_s d_1 \frac{K_2^2 - 1}{\sqrt{3K_2^4 + 1}}\left(\frac{C_1}{E_1} + \left(\frac{C_2}{E_2}\right) - (\alpha_2 - \alpha_1)d_1 t\right]\right. \quad \text{mm} \tag{6.2.1—14}$$

式中：S_1 ——最小轴向推入量，mm；

S_2 ——最大轴向推入量，mm；

K ——螺旋桨轴端锥度，$K \leqslant 1/15$；

N_e ——传递到螺旋桨轴的最大持续功率，kW；

n_e ——传递 N_e 时的转速，r/min；

A ——桨毂锥孔与轴锥体的理论接触面积，mm^2；

$$C_1 = \frac{1 + K_1^2}{1 - K_1^2} - \mu_1; \qquad C_2 = \frac{K_2^2 + 1}{K_2^2 - 1} + \mu_2;$$

$$K_1 = d_0/d_1; \qquad K_2 = d_2/d_1;$$

d_0 ——轴中孔直径，mm；

d_1 ——套合接触长度范围内轴的平均直径，mm；

d_2 ——桨毂的平均外径，mm；

$\mu_1 = 0.30$；

μ_2 ——螺旋桨材料的泊松比，对铜质取 $\mu_2 = 0.34$；

$E_1 = 20.6 \times 10^4$ MPa；

E_2 ——螺旋桨材料弹性模数，对铜质取 $E_2 = 11.77 \times 10^4$ MPa；

t ——螺旋桨套合时的温度，℃；

$\alpha_1 = 11 \times 10^{-6}$ 1/℃；

α_2 ——螺旋桨材料的膨胀系数，对铜质取 $\alpha_2 = 18 \times 10^{-6}$ 1/℃；

σ_s——螺旋桨材料的标定屈服强度，MPa。

③压入

a. 桨毂中扩大油压未建立时，应将螺旋桨压至起始位置，压入载荷不低于 0.3MN。所需压入距离由此开始测量。

b. 当桨毂中的空气排净后，用螺塞旋紧（参照图 6.2.1—16），桨毂压入油压及桨毂扩大油压应按一定的比例缓慢上升，直至压入终了。

c. 螺旋桨压入达到预定的轴向推入量后，首先卸除桨毂扩大油压，取下螺塞，约经 30 分钟后，将桨毂压入油压卸除（此时应确认千分表的指针没有变动）。

d. 做好标记，在航行后检查螺旋桨的轴向位移和径向角度的偏移。

④ 拆卸

a. 拆下螺旋桨帽罩，用起吊装置支持住螺旋桨。

b. 松出桨轴螺母，并在桨毂和螺母之间嵌入缓冲木块。缓冲木块和桨毂后端面之间隙为最大轴向推入量+3mm 左右。

c. 接上桨毂扩大注入油管，油压缓慢升高，当压力达安装时聚紧应力的 120%时，保持 5 至 10 分钟。此时如仍不能拆卸，将桨毂扩大油压升高达安装时聚紧应力 125%的压力。

（3）环氧树脂粘结

如图 6.2.1—15 所示。这种联接方式可以不用键。

① 加工要求

配合面可按图示推荐数据加工，在桨锥孔中车去一部分，使其与桨轴锥体之间单边有 0.1～0.2mm 的间隙，作为粘结剂涂层厚度。两端各留 20～30mm 不车去，要求一端贴紧时另一端插不进 0.05mm 塞尺。配合面不需刮配，粗糙度为 6.$\underset{\triangledown}{3}$。

② 螺旋桨与螺旋桨轴粘结剂一般配方（质量比）

6101 或 634 环氧树脂	100
邻苯二甲酸二厂脂	15
乙二胺	7

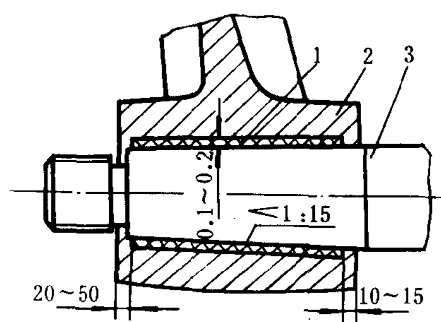


图 6.2.1—15 螺旋桨用环氧树脂粘结

1—环氧树脂粘结剂；2—螺旋桨；3—螺旋桨轴

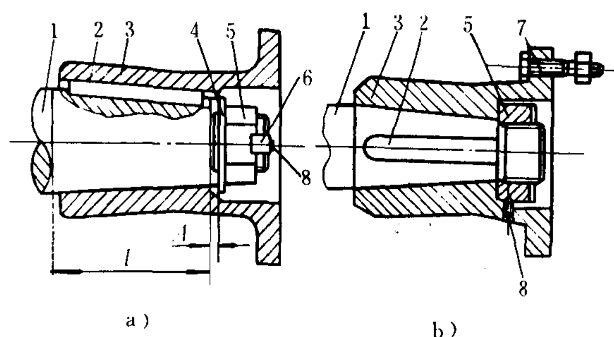


图 6.2.1—16 首端锥体与可拆联轴器联接

1—螺旋桨轴；2—键；3—联轴器；4—垫片；5—锁紧螺母；6—止动块；7—联接螺栓；8—止动螺钉；

6）首端结构

（1）整锻法兰

如图 6.2.1—8 中(a)、(c)、(e)所示。其结构尺寸可按 CB145—78 选用。

(2) 首端锥体

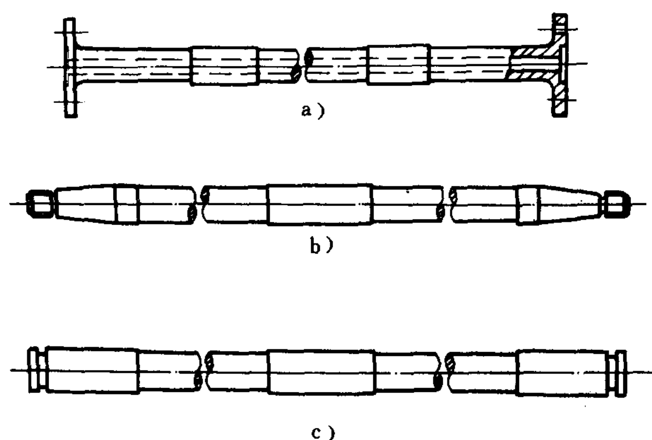


图 6.2.1—17 中间轴

a）带整锻法兰的中间轴；b）两端与可拆联轴器联结的中间轴；

c）带有与夹壳形联轴器配合端的中间轴

如图 6.2.1—8 中(b)、(d)所示。首端锥体可按可拆联轴器(见本篇第 3 章 3・2)锥孔结构加工。首端锥体与可拆联轴器联接如图 6.2.1—16 所示。

3.2.2 中间轴

1）结构类型

如图 6.2.1—17 所示。

2）轴颈

轴承处的轴颈或通过水密隔舱填料函处的轴段，都要适当地加粗，轴颈直径系列参照表 6.2.1—6。

表 6.2.1—6 **中间轴轴颈直径系列** (mm)

轴颈直径 d						
40	(75)	110	170	300	500	750
(45)	80	(115)	180	320	530	800
50	(85)	120	190	350	560	
(55)	90	130	200	380	600	
60	(95)	140	220	400	630	
(65)	100	150	250	450	670	
70	(105)	160	280	470	710	

注：① 尽可能不采用括号内的尺寸。

② 滚动轴承所支承的中间轴及推力轴轴颈直径按 GB271—310—64 滚动轴承标准

③ 中间轴和推力轴的轴颈直径与基本直径之差：

当直径为 150mm 以下时，应不小于 5mm

当直径为 160mm 以上时，应不小于 10mm

3.2.3 推力轴

1）结构类型

如图 6.2.1—18 所示，图中(a)带整锻法兰的推力轴；(b)两端为锥体的推力轴。

2）推力环直径

参照表 6.2.1—18。

3）推力环厚度

$$B=(0.3\sim0.4)d \qquad (6.2.1—15)$$

式中：B——推力环厚度，mm；

d——推力轴直径，按本章 3・3・1 计算确定，mm。

4）轴颈长度

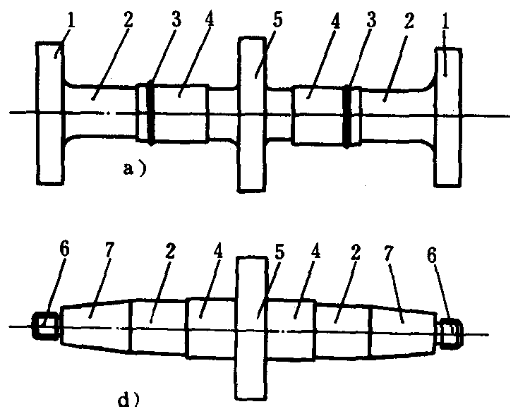


图 6.2.1—18 推力轴

1—整锻法兰；2—轴干；3—甩油环；4—轴颈；5—推力环；6—螺纹部；7—锥体

$$L_0=(0.6\sim0.8)d \quad (6.2.1-16)$$

式中：L_0--轴颈长度，mm。

3.3 传动轴的基本轴径计算与校核

3.3.1 传动轴的基本轴径计算

1）钢质海船

（1）传动轴的直径 d 应不小于按下式计算的值：

$$d=100c\sqrt[3]{\frac{P_e}{n_e}\cdot\left(\frac{608}{\sigma_b+176.5}\right)} \quad mm \quad (6.2.1-17)$$

式中：P_e——轴传递的最大持续功率，kW；

n_e——轴传递 N_e 时的转速，r/min；

σ_b——轴材料的标定抗拉强度的下限值，对于螺旋桨轴和尾管轴，计算时 $\sigma_b>600$，取 600，MPa；

c＝1.0——适用于中间轴的基本直径；

c＝1.10——适用于推力轴在推力环处向外等于一个推力轴直径的部分，其余部分可按圆锥减小到中间轴直径；

c＝1.15——适用于按式(6.2.1—18)计算的螺旋桨轴或尾管轴首端至尾尖舱隔舱壁长度部分的直径；

c＝1.22——适用于油润滑的，且具有认可型油封装置的，或装有连续轴套的油压无键套合或法兰联接的螺旋桨轴；

c＝1.26——适用于油润滑的，且具有认可型油封装置的，或装有连续轴套的有键螺旋桨轴。

尾尖舱隔舱壁前的螺旋桨轴或尾管轴直径，可以向前逐渐减小到中间轴直径。

（2）传动轴直径的修正

① 轴的中空直径 d_0 大于 0.4d 时，需按下式进行修正：

$$d_c=d\sqrt[3]{\frac{1}{1-\left(\frac{d_0}{d}\right)^4}} \quad mm \quad (6.2.1-18)$$

式中：d_c——修正后轴的直径，mm

d——按式(6.2.1—17)计算的基本直径，mm。

② 对于有键槽的直轴，至少在键槽及从键槽两端延伸到轴直径的 20%的长度范围内，其直径应增加 10%。键槽横截面底部的过渡圆角半径应不小于规定的轴直径的 1.25%。

③ 对于有径向孔的轴，至少在孔及从孔两边缘延伸到轴直径的 20%长度范围内，轴直径应增加 10%。孔径应不大于规定的轴直径的 30%，孔的边缘应磨光滑。

④ 对于有纵向槽的轴，至少在槽及从槽两边延伸到轴直径的 30%的长度范围内，轴的直径应增大 20%。槽的长度和宽度应分别不大于规定的轴直径的 1.4 倍和 0.2 倍。轴上槽的边缘应磨光滑。

⑤ 对于仅在港口内航行的船舶轴系的直径，可较上述规定相应减少 3%。

2）钢质河船

(1) 轴的直径 d 应不小于按下式计算的值：

$$d=98K\sqrt[3]{\frac{P_e}{n_e}\left(\frac{570}{\sigma_b+157}\right)}\quad mm \tag{6.2.1—19}$$

式中：P_e——轴传递的持续功率，kW；

n_e——轴传递 P_e 时的转速，r/min；

K——系数，按表 6.2.1—7、表 6.2.1—8 选取；

σ_b——轴材料的标定抗拉强度下限值，对于螺旋桨轴，计算 $\sigma_b>600$ 时取 600，MPa。

表 6.2.1—7　　用于中间轴、推力轴的 K 值

与法兰为整体的轴	与法兰联轴器为红套配合或推入配合或冷配合的轴	开有键槽的轴①	有横向孔的轴②	有纵向槽的轴③	有花键的轴	在推力环的两侧轴承处
1.0	1.0	1.1	1.12	1.20	1.21	1.1

① 在键槽底部横截面处的圆角半径不得小于 0.0125d。

② 横孔径应不大于 0.3d。

③ 纵向槽的长度应不大于 1.4d，宽度应不大于 0.2d。

④ 距键槽端、横孔边缘 0.2d 长度以及距纵向槽道端 0.3d 长度和推力轴在距推力环长度等于推力轴直径以外的轴径，可以逐渐减小到以 K＝1 计算的直径。

表 6.2.1—8　　用于螺旋桨轴的 *K* 值

序号	适　用　范　围		K
1	从桨毂前面到相邻轴承前缘的螺旋桨轴段	无键螺旋桨的轴	1.22
		有键螺旋桨的轴	1.26
2	除 1 外，向前到尾管首部填料函前端之间的螺旋桨轴段		1.15
3	尾管首部填料函至联轴器的轴段①		1.15

注：①　轴直径可逐渐减小到 K＝1 的中间轴直径。

(2) 传动轴直径的修正

① 传动轴的中孔直径 $d_0>0.4d$ 时，需按式(6.2.1—18)进行修正。

② 螺旋桨轴裸露于水中，且无有效的防腐蚀保护，其裸露部分直径应增加 5%。同时应考虑磨损和腐蚀后进行机加工的余量。

③ 航行于浅水航道或遇有浮冰区域的船舶，其传动轴直径应较计算值增加 10%。

3.3.2　传动轴的强度校核

船舶轴系应按本篇第 2 章进行轴系扭振、纵振及回旋振动的计算校核。轴系扭振附加应力，纵振振幅以及回旋振动共振转速不应超过中国船级社钢船“规范”的规定。

3.4　传动轴的材料

传动轴通常采用 30～45 号优质锻钢材料，用热轧圆钢制造中间轴和螺旋桨轴，其圆钢直径对河船不应超过 150mm，对海船不应超过 200mm。

传动轴材料(碳钢锻件)的化学成分应符合表 6.2.1—9 的规定。

表 6.2.1—9 **传动轴材料的化学成分**

钢号	碳 C(%)	硅 Si(%)	锰 Mn(%)	磷 P	硫 S	铬 Cr	镍 Ni
				不大于(%)			
30	0.27～0.35	0.17～0.37	0.50～0.80	0.04	0.04	0.25	0.25
35	0.32～0.40	0.17～0.37	0.50～0.80	0.04	0.04	0.25	0.25
40	0.37～0.45	0.17～0.37	0.50～0.80	0.04	0.04	0.25	0.25
45	0.42～0.50	0.17～0.37	0.50～0.80	0.04	0.04	0.25	0.25

传动轴锻件的试验项目及试样数量：

1）化学成分；

2）拉力试验，试样应至少 1 个；

3）冲击试验，试样应至少一组 3 个；

4）低倍组织检查；

5）高倍金相分析。

锻件端部不应有管缩和疏松，表面不应有夹层、折叠、裂纹、结疤、夹渣、密集的发纹和过烧现象等缺陷。

碳钢和碳锰钢锻件试样的机械性能，应符合表 6.2.1—10 的规定。

表 6.2.1—10 **碳钢和碳锰钢锻件试样机械性能**

标定抗拉强度下限值(MPa)	屈服强度 σ_s (MPa)	伸长率 δ_s(%)	断面收缩率 ψ(%)	V 缺口平均冲击功(J)	U 缺口平均冲击功(J)	硬度 HB
	不小于					
360	180	28	50	32	30	95～135
400	200	26	50	32	30	110～150
440	220	24	50	32	30	125～160
480	240	22	45	32	30	135～175
520	260	21	45	25	25	150～185
560	280	20	40	25	25	160～200
600	300	18	40	18	20	175～215
640	320	17	40	18	20	185～230
680	340	16	35	18	20	200～240
720	360	15	35	18	20	210～250
760	380	14	35	18	20	225～265

注：(1)δ_s、ψ 和平均冲击功的值适用于试样沿锻件纵向选取。

(2)标定抗拉强度下限值的中间值，其所对应的其它各值均可内插法求得。

3.5 传动轴的防腐和防机械损伤

传动轴的防腐和防机械损伤可采用以下几种方法：

1）阴极保护法

不同材质的轴系零件在海水中产生电位差，将引起螺旋桨轴的电化学腐蚀。螺旋桨轴防蚀电路示意图如图6.2.1—19所示。锌块与船体焊接或以螺栓固定，用导线与碳刷连接，碳刷通过固定在螺旋桨轴上的集流环形成防蚀回路。

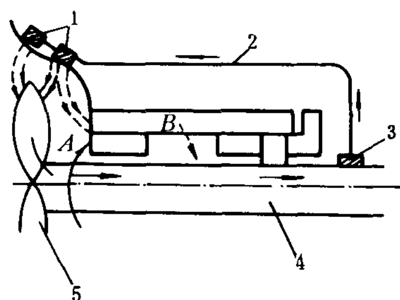


图6.2.1—19　螺旋桨轴防蚀电路

1—锌块；2—导线；3—碳刷；4—螺旋桨轴；5—螺旋桨

2）橡胶包覆

轴的非工作表面用硫化法包覆一层橡胶，硫化橡胶表面的保护层可采用以下几种：

（1）包一层厚为0.75～1.0mm镀锌钢板，并缠以直径为1.5～2.0mm的镀锌钢丝或导线，然后涂一层防腐漆。

（2）包一层帆布带，涂一层防腐漆，再缠以镀锌钢丝，最后涂两层防腐漆。

（3）涂一层热液态树脂并缠以麻布带，再涂两次树脂，随后缠直径为2～3mm的钢丝网，最后涂2～3次树脂。

螺旋桨轴或尾管轴包覆橡胶的端部应伸入轴套内专门加工的凹槽中，并可靠地和轴套胶合，防止海水漏入，如图6.2.1—20所示。

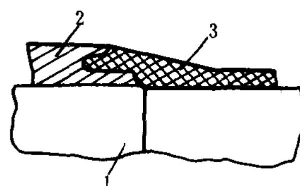


图6.2.1—20　青铜轴套与防腐包覆层的连接

1—轴颈；2—轴套；3—包覆层

3）玻璃钢保护层

（1）玻璃钢的主要材料

① 粘合剂

树脂——618、634、6101环氧树脂；

增塑剂——304聚脂树脂、亚磷酸三苯脂、磷酸三苯脂、苯二甲酸二丁脂；

稀释剂——662甘油环氧树脂、690活性溶剂、丙酮、苯乙烯、甲苯，其中丙酮纯度要求99.5%；

硬化剂——乙二胺、二乙烯三胺、三乙烯四胺、多乙烯多胺、118硬化剂。

玻璃布——宽度30、60、80、100、120mm，厚度0.1～0.2mm。要求纵横密度较稀，最好经过350℃热处理脱脂。

② 粘合剂配方（质量比）及配法

树脂：100

增塑剂：5～20

稀释剂：<10（操作方便时，可以不加）

硬化剂：乙二胺4.5～6（或二乙烯三胺、三乙烯四胺、四乙烯五胺6～8；多乙烯多胺8～10；118硬化剂15～20）

配法：将计算量的树脂、增塑剂、稀释剂盛于器皿中，用棒搅拌均匀，最后加入硬化剂，并充分搅匀。

（2）玻璃布及粘合剂的需要量

① 玻璃布

$$F = n\pi dL\alpha \times 10^{-6} \quad m^2 \qquad (6.2.1—20)$$

式中：F ——玻璃布需要量，m^2；

n ——包覆层数；

d ——被包覆轴的直径，mm；

L ——轴被包覆部分的长度，mm；

α ——使用系数，一般取 1.25～1.30。

② 粘合剂

$$G = FQ\beta \quad g \tag{6.2.1—21}$$

式中：G ——粘合剂的需要量，g；

Q——每平方米玻璃布所需的按质量比的各种配方量，g/m²；

F ——玻璃布的需要量，m²；

β ——使用系数，一般取 1.4～1.6。

4）包覆工艺要求

（1）被包覆轴干邻近的铜套应加工成图 6.2.1—21 的形状，用有机溶剂（丙酮、香蕉水或四氯化碳等）对待包覆的螺旋桨轴表面进行清洗。经清洗后的轴表面不应留有油垢和锈迹，禁止用手抚摸。

（2）包覆时，空气相对湿度不宜超过 80%，下雨天可将螺旋桨轴表面加热到 40～50℃进行包覆。

（3）将配制好的粘合剂在被包覆轴干表面均匀涂一层。

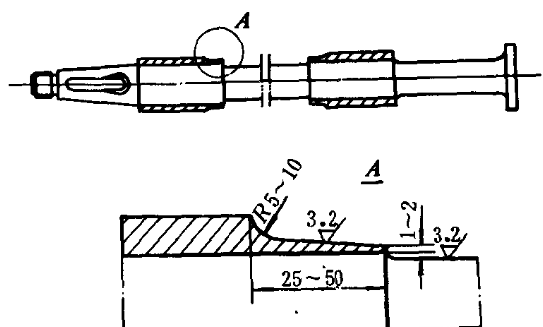


图 6.2.1—21 铜套边缘加工形状

（4）约浸有粘合剂的玻璃布缠绕在螺旋桨轴上，缠绕间距为玻璃布宽度的 1/2～1/3（即包覆 2～3 层）。缠绕起始点和终点需距离两端约 150～200mm，由此处开始先向近端包扎，然后再向反方向包扎。在包扎至另一端时，必须在到达终点后，再向反方向包扎 150～200mm，然后将布剪断。

如没有玻璃布专门浸透设备，可以在轴表面涂一层粘合剂，将玻璃布按其宽度均匀包覆一层，此后涂一层包一层，直到所需要的包覆层厚度为止。

（5）在包覆过程中，轴应均匀转动，直至粘合剂不流动时停止。

（6）螺旋桨轴包覆玻璃钢后，应自然硬化 48 小时后再修去其毛刺、夹角等。

（7）包覆层应涂胶均匀，不许有气孔或漏涂，如有上述情况应进行修补。轴套与轴干的衔接处，应特别注意其水密性，该处的包覆结构应如图 6.2.1—22 所示。

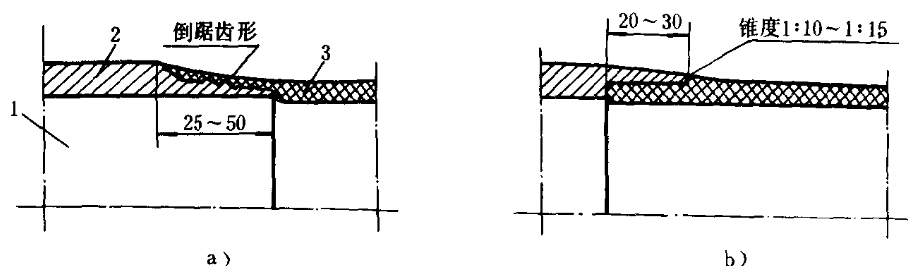


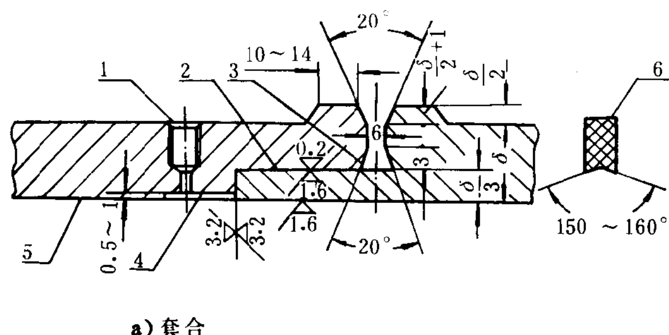
图 6.2.1—22 轴套与轴干衔接处的结构

1—螺旋桨轴；2—铜套；3—玻璃钢

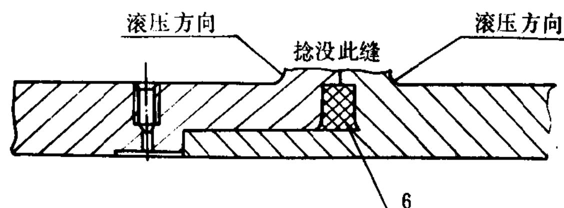
5）其它

（1）轴套与轴套间的连接密封

海水润滑的螺旋桨轴或尾管轴所装有的分段铜轴套，可采用下述方法保持其接缝处水密：
① 锡焊填补：如图 6.2.1—12 所示，接缝搭口应加工成 V 形槽。
② 机械滚压法：如图 6.2.1—23 所示，接缝处滚压接平。



a）套合



b）捻缝

图 6.2.1—23 轴套间的机械滚压捻缝

a)套合；b)捻缝

1—泵油孔；2—搭接圆；3—接缝坡口；4—泵油油腔；5—轴套内孔；6—紫铜条

（2）螺旋桨与螺旋桨轴间的连接密封

① 在螺旋桨的尾端装以导流帽，在其与螺旋桨轴连接的腔室中充满牛油，如图 6.2.1—15(b)所示。

② 螺旋桨首端与轴套间采用橡胶制品（O 形或方形等）密封，如图6.2.1—24 所示。

（3）不锈钢的螺旋桨轴表面必须进行精密加工（挤压加工），减少海水腐蚀。

3.6 传动轴的检修

3.6.1 抽轴检验间隔期

通常对装有连续衬套或船级社认可的油封装置或耐腐蚀材料制成的螺旋桨轴和尾管轴，其进坞抽轴检验间隔期为：

1）轴上开有普通键槽者，对单螺旋桨船每 3 年 1 次，对双或多螺旋桨船每 4 年 1 次。

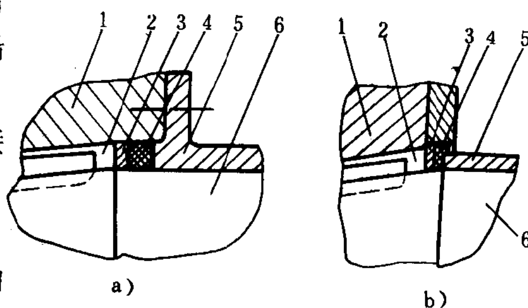


图 6.2.1—24 螺旋桨首端的水封

1—螺旋桨；2—键槽；3—垫板；4—橡胶密封圈；5—防磨衬套；6—螺旋桨轴

2）轴上有雪橇形或匙形键槽，且键槽根有适当的圆角，轴表面上的键槽锐边已清除者，单螺旋桨船每 4 年 1 次，双或多螺旋桨船每 5 年 1 次。

3）轴的后端为法兰连接与螺旋桨为无键连接者，每 5 年 1 次。

4）除上述情况的其它轴，每 2 年 1 次。

5）航行中若轴系出现异常声响、振动变剧、轴承过热或密封装置漏泄等现象，可缩短检验间隔期。

3.6.2 抽轴前的测量

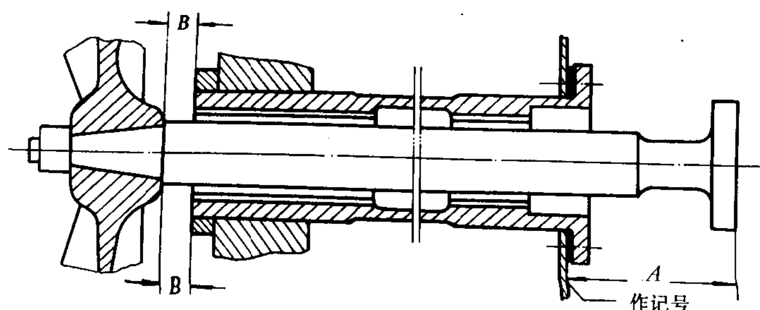


图 6.2.1—25 测量螺旋桨轴的位置

1）抽轴前应测量记录螺旋桨轴（或尾管轴）的位置，为修复安装时参照。通常用三根样棒从上、左、右三点测量螺旋桨轴（或尾管轴）法兰端平面到尾尖舱壁座板的距离A，如图6.2.1—25所示，并在舱壁座板上的测量处打上记号。

2）拆下螺旋桨和密封装置，测量螺旋桨轴（或尾管轴）与尾轴管首、尾轴承间的径向间隙；测量带螺旋桨轴端处中间轴承前后端上、下、左、右四个位置的间隙，判断是否超过极限值。

3.6.3 抽轴检查与修理

1）传动轴的主要缺陷

① 工作轴颈（或轴套）磨损、划痕或擦伤；

② 轴的腐蚀、裂纹、弯曲甚至折断；

③ 轴套松弛、漏泄或裂纹；

④ 轴包覆层破损；

⑤ 螺旋桨轴锥体大端裂纹，螺纹或键槽破损。

2）传动轴的检修

（1）轴颈的磨损检查和轴套的更换

① 用外径百分尺按图6.2.1—26所示部位测量轴颈磨损量。工作轴颈因不均匀磨损，产生的圆度、圆柱度偏差超过表6.2.1—2的规定时，应光车修理。

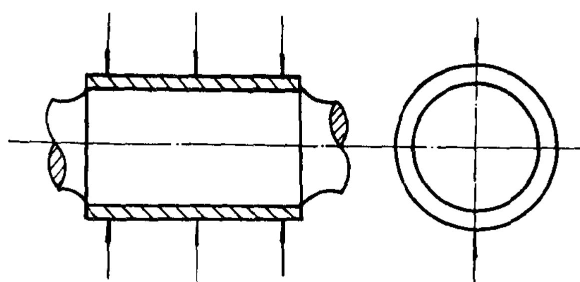


图6.2.1—26 轴颈的测量

② 光车后的轴套最小厚度 t_1 应符合表6.2.1—3的规定。

③ 光车螺旋桨轴（或尾管轴）时，允许在工作轴颈部分残留磨痕，深度不超过0.20～0.40mm，面积不大于$1/4d^2$。填料函部位轴套，最深一道磨痕可以保留，不必光直。该处光车后直径允许小于轴承处直径。

④ 经多次修理，轴套光车到表6.2.1—3规定的极限厚度时，应换新轴套。新制轴套的厚度可按表6.2.1—3计算确定，同时修复轴承，使两者的安装间隙符合表6.2.1—26的值。也可将新轴套的厚度加大到原设计厚度的1.25倍，保证螺旋桨轴（或尾管轴）与尾轴承间所需的配合间隙。

⑤ 轴套部分裂缝或严重磨损，允许只更换损坏部分，其接缝应按本章3·2·1中4)的要求。

⑥ 检查铜套与轴配合和铜套接缝等情况，凡铜套圆周范围腐蚀脱空，接缝松弛渗水，都应予以修复。

⑦ 轴套上有裂纹，不允许补焊，只能换新轴套，更不允许焊补已套装在轴上的铜套。在拆换轴套时，应检查裂纹下面的轴体有无裂纹或锈蚀产生，并采取相应的修复措施。

⑧ 更换轴套的工艺程序

Ⅰ 除去旧轴套

在龙门刨床或龙门铣床上，将轴套割出一道直通的槽，拆下旧轴套。

Ⅱ 光车轴套配合处的轴颈

光车后轴颈表面应光洁，无腐蚀痕迹，表面粗糙度应达1.6，圆度、圆柱度应符合表6.2.1—2的要求。

Ⅲ　加工轴套

见本章 3.2.1 中 4)。

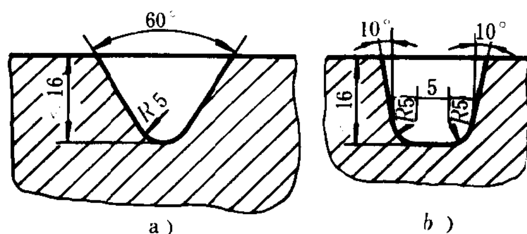
⑨ 没有轴套的螺旋桨轴或尾管轴，其工作轴颈经多次光车后，也可以加装轴套或轴颈堆焊的办法来补救。采用堆焊修理轴颈及锥体时，预热温度参照表 6.2.1—11 的值。焊后应进行退火处理，车削加工后应进行冷压光加工。

表 6.2.1—11　**堆焊预热温度 C**

轴材含碳量%	0.2 以下	0.2～0.3	0.3～0.5	0.45 以上
堆焊预热温度	100～120	100～150	150～250	250～400

(2)螺旋桨轴裂纹的检查与修理

① 裂纹的检查可用着色法，磁粉损伤或钻孔法进行，确定裂纹长度和形状。轴表面上的细小裂纹宜用着色法、磁粉探伤法检查，键槽底部裂纹则以采用钻孔检查。



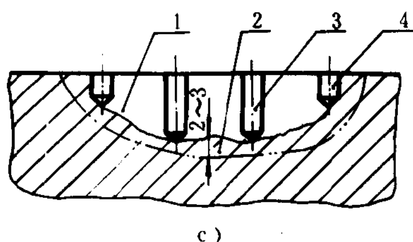


图 6.2.1—27　焊补裂纹开坡口的形状和深度

1—裂纹底部；2—坡口底部；3—测深孔；4—止裂孔

② 裂纹的修理

Ⅰ　裂纹采用焊补方法进行修复，须经验船师审查许可。

Ⅱ　焊补前的准备工作

a. 在裂纹两端钻直径为 8～10mm 的止裂孔，在裂纹中部每隔 80～100mm 钻测深孔，确定裂纹深度。

b. 根据止裂孔和测深孔的深度，在车床或铣床上将裂纹开成如图 6.2.1—27 所示的坡口形状。

c. 焊补部位按表 6.2.1—11 的要求进行预热。

Ⅲ　焊补操作

a. 裂纹在轴颈一周者，应以多层叠焊法由相对的两区轮流逐层施焊，并缓慢旋转工件，使其保持俯焊位置，如图 6.2.1—28a)所示。

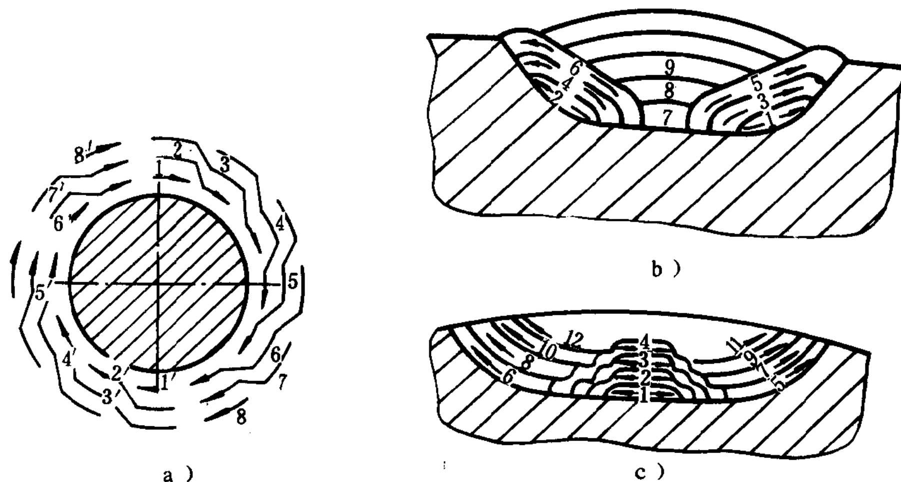


图 6.2.1—28　焊补次序

b. 裂纹在键槽底部或键槽边缘的面上，长度不超过400mm时，可按图6.2.1—28b)所示次序施焊；长度大于400mm时，应在坡口中央焊山形焊缝，然后逐层向两旁施焊，次序如图6.2.1—28c)所示。

c. 每层焊层厚度不宜超过2～2.5mm，焊完一层要用手锤不断敲击焊层表面。

Ⅳ焊后处理

焊补后应立即用石棉布将焊补部分包扎起来，使其缓冷。

(3)轴的腐蚀和包覆层破损的检修

① 轴的腐蚀检修

Ⅰ 工作轴颈表面上允许有少量的深度小于1mm，且呈分散状的蚀斑或撞痕。

Ⅱ 非工作轴颈上的锈蚀严重时，可以堆焊修复，或大面积光车。光车前应核算强度，轴径必须满足本章3.3.1的要求，并进行扭转振动附加应力的校核。

Ⅲ 当螺旋桨轴锥体大端锈蚀为圆滑状，且个别锈蚀处($l<1/8\pi d$)蚀深不超过0.03d；较长锈蚀($l<1/3\pi d$)蚀深不超过0.02d；整个圆锈蚀平均蚀深不超过0.015d，经清理检查后允许继续使用。

(l—锈蚀长度，d—轴径)。

Ⅳ 当螺旋桨轴锥体大端锈蚀为尖角状，应仔细检查其深度与周向长度，然后修锉或光车成圆弧状，并经探伤检查。凡符合Ⅲ要求时，允许继续使用。

Ⅴ 锥体上的锈蚀光车修复时，应与轴颈光车在一次装夹中完成。因车削而使尺寸变化较大时，则需堆焊，堆焊层应延长到圆柱部位25～50mm。

② 包覆层的破损检修

Ⅰ 玻璃布包覆接口不良，局部破损，脱壳、泛锈黄或膨胀现象，可采用局部涂环氧树脂或在某一段进行包扎修补。

Ⅱ 小修以下更换轴套时，只要包覆层没有破损，可不必更换包覆层，在轴套与包覆层接合处需重新包覆。

(4)锥体螺纹和键槽的检修

① 传动轴锥体螺纹轻度碰损时，允许锉削修理继续使用；较重的碰损应上车床修理。

② 螺纹严重碰损或烂蚀，其破损部分超过1/3螺纹长度时，应考虑更新螺母进行修理，对车制的新螺纹直径应进行强度校核。

③ 键槽底部与侧壁的转角处，应检查有无裂纹存在。发现裂纹需重新补焊，重开键槽。

④ 键槽边缘或槽壁有不大的凹陷或擦伤时，可进行人工修整。

⑤ 健槽损伤超过长度或深度的30%以上时，需重新铣直加宽，但增加的宽度不要超过原来宽度的10%，其极限宽度为锥体平均轴径的1/3。

⑥ 键槽修配时，平键两侧允许做成阶梯形，上下偏移量不得超过键宽的5%，但最大不得超过2mm。

⑦ 键槽损伤严重时，应重新堆焊填补，于原键槽反面轴上重铣键槽。

(5)轴的弯曲检查及校调

① 拆下的传动轴应在大型车床或平台上进行弯曲检查，检查工作轴颈、锥体及非工作轴颈的径向跳动，法兰的径向和端面跳动，其值若超过表6.2.1—12、表6.2.1—13的值，应进行校调。

表 6.2.1—12 **径向跳动量允许值** (mm)

轴长 l / 轴颈 d	工作轴颈及锥体部分		非工作轴颈	
	新制或光车修理	极限跳动	新制或光车修理	极限跳动
≤20	0.03	0.12	0.12	0.36
20～35	0.04	0.16	0.16	0.48
35～50	0.05	0.20	0.20	0.65
50～65	0.065	0.24	0.24	0.72
65～80	0.09	0.28	0.28	0.84
80～95	0.12	0.32	0.32	0.96

表 6.2.1—13 **法兰径向和端面跳动允许值** (mm)

法兰外径 D	加工后径向及端面跳动	径向极限跳动	端面极限跳动
<120	0.02	0.10	0.05
120～180	0.03	0.12	0.06
180～260	0.03	0.14	0.07
260～360	0.04	0.16	0.08
360～500	0.05	0.18	0.09
500～700	0.05	0.20	0.10
>700	0.05	0.24	0.12

② 弯曲较大的轴应进行校直修正，也可对轴颈及其它配合面进行光车或磨削修正。

③ 中间轴的工作轴颈径向跳动量应照表 6.2.1—12 相应值减小 0.01mm。对未装轴套或联轴器之轴颈的径向跳动量，可比表中相应值增加 0.01mm。

④ 轴法兰定位凸肩的径向跳动量，不得超过表 6.2.1—13 中加工后径向跳动的允许值。推力轴首法兰端面跳动量不得超过 0.03mm。

⑤ 推力环平面厚度偏差不得大于 0.03mm；平面与轴线垂直偏差不得大于 0.04mm/m；推力环工作面的端面跳动，圆周直径每 100mm 为 0.005mm，但最大不得超过 0.05mm，其粗糙度不低于 0.4▽。

4 中间轴承与推力轴承

4.1 中 间 轴 承

4.1.1 滑动式中间轴承

1）主要类型与基本结构

（1）圆盘式滑动轴承

图 6.2.1—29 为圆盘式滑动轴承结构图。

轴承座有二个油室，用管子相通，圆盘 5 应布置在尾部端，下部浸入滑油内。工作时滑油被圆盘带到轴承上部受油器 8，通过受油器小孔流至斜槽，分配至各润滑处。

这种型式的滑动轴承适用于轴颈圆周线速在3～10m/s的船舶。

(2) 油环—油芯复合式滑动轴承

图6.2.1-30为该类轴承的结构图。

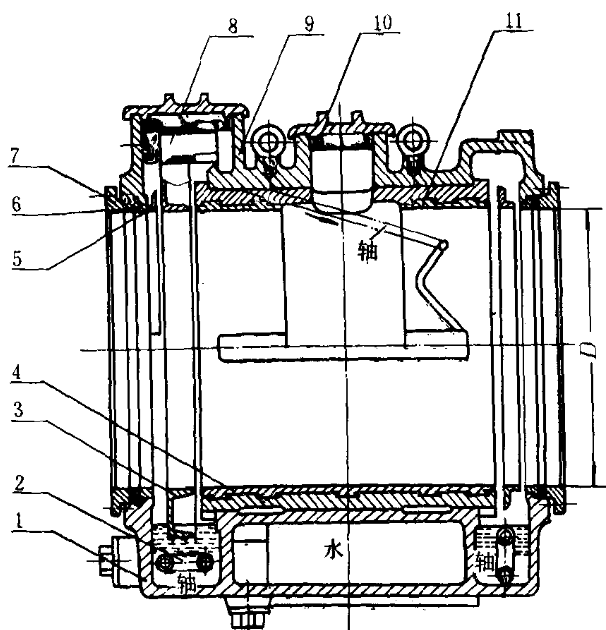


图6.2.1-29 圆盘式滑动轴承

1—轴承座；2—蛇形冷却管；3—圆盘；4—下轴瓦；5—填料座；6—填料；7—填料压盖；8—受油器；9—轴承盖；10—滤器；11—上轴瓦

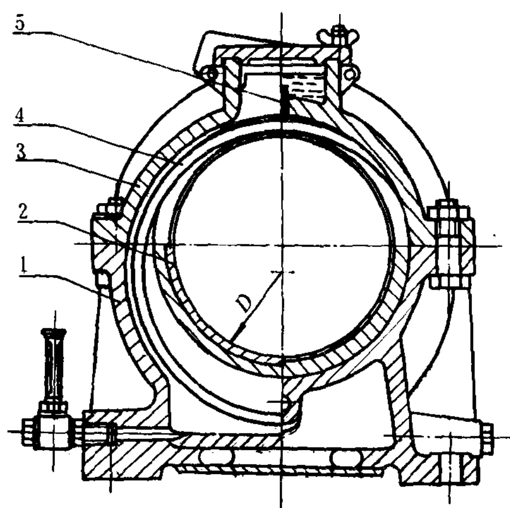


图6.2.1-30 油环—油芯复合式滑动轴承

1—轴承座；2—轴瓦；3—轴承盖；4—油环；5—油芯

油环4的下部浸入油中，工作时将油不断地带到轴上，沿轴颈表面分布进行润滑。两根油芯在轴旋转时可增加滑油的供应。

这种轴承适用于轴颈圆周线速度为1.5～3m/s的船舶轴系。

(3)油环式滑动轴承

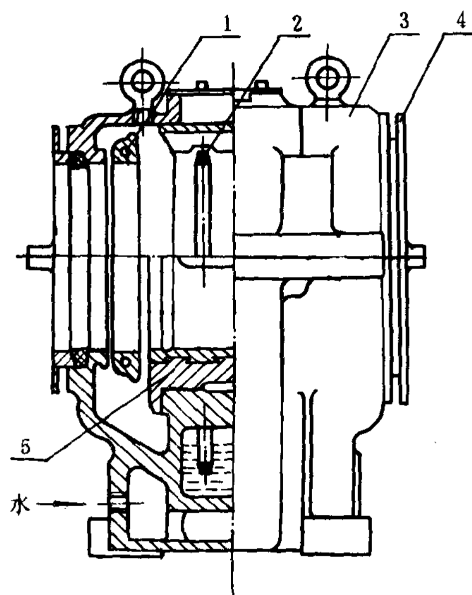


图6.2.1-31 油环式滑动轴承

1—挡油圈；2—油环；3—轴承盖；4—压盖；5—下轴瓦

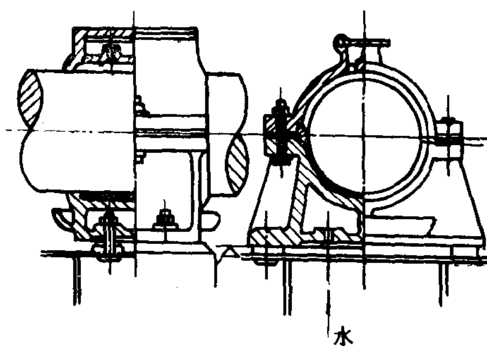


图6.2.1-32 简易滑动轴承

图 6.2.1—31 为油环式滑动轴承结构图。

该型轴承的作用原理与油环—油芯复合式滑动轴承相同，仅无油芯装置。它适用于轴颈圆周线速度在 1.5～3m/s 的船舶轴系。

(4) 简易滑动轴承

该轴承不设单独轴瓦，白合金直接浇在下轴承座上，如图 6.2.1—32 所示。

滑动式中间轴承的标准可参阅 CB* 3054—79。

2) 技术参数的选择

(1) 轴承间隙 δ

$$\delta = D - d \qquad mm;$$

式中：D——轴承孔径，mm；

d——轴颈直径，mm。

对于转速 n＜150r/min，中间轴与中间轴承的安装间隙可参照表 6.2.1—14。

表 6.2.1—14 **中间轴与中间轴承安装间隙** (mm)

标准值 / 轴颈 d	安装标准		更换标准	
	安装间隙	白合金新制最小厚度	极限间隙	白合金极限厚度
＜100	0.15～0.19	3.00	0.40	1.20
100～120	0.18～0.22	3.00	0.45	1.40
120～150	0.20～0.24	3.50	0.50	1.60
150～180	0.22～0.26	3.50	0.55	1.80
180～220	0.27～0.34	4.00	0.60	2.00
220～260	0.32～0.40	4.00	0.65	2.20
260～310	0.32～0.40	4.50	0.75	2.40
310～360	0.38～0.46	4.50	0.85	2.60
360～440	0.42～0.54	5.00	0.95	2.80
440～500	0.50～0.62	5.00	1.10	3.00
500～600	0.55～0.70	5.50	1.30	3.00
600～700	0.65～0.80	6.00	1.50	3.00

当 n＝150～350r/min，应按表 6.2.1—14 的数值增大 0.04～0.06mm。

当 n＝350～750r/min，应按表 6.2.1—14 的数值增大 0.06～0.10mm。

对于铸钢材料的轴瓦或本体，白合金厚度允许按表 6.2.1—14 的数值减薄 20%。

(2)长径比 L/d

$$L/d \approx 0.7 \sim 0.8$$

最大不得超过 1.2。

式中：L——轴承工作长度，mm；

d——中间轴轴颈直径，mm。

(3)承载能力的校核

轴承最大允许负荷校核可参照本章 9.1.3.1。

3)材料

轴承座与轴承盖：HT20—40、HT25—47 或 ZG25。

白合金：ChSnSb11—6、ChSn7.5—3。

4.1.2 滚动式中间轴承

1）使用要求

（1）工作期限 50000 h 以上。

（2）能自动整位。

（3）轴向容许自由移动，容许的自由移动量应不小于表 6.2.1—15 的值。

表 6.2.1—15 **滚动轴承轴向移动量**

轴系长度(m)	＜20	20～35	35～50	＞50
移动量(mm)	3～4	4～7	7～12	12～15

（4）装配合理可靠，拆装方便。

2）基本结构

（1）双列向心球面滚子轴承（GB287—81）

这种轴承的结构如图 6.2.1—33 所示。锥形紧定套 6 的内孔通过螺母 5 锁紧于轴颈上，随轴一起转动。轴承座由船厂制造，预先将导向环 2 与滚子轴承 4 配制。

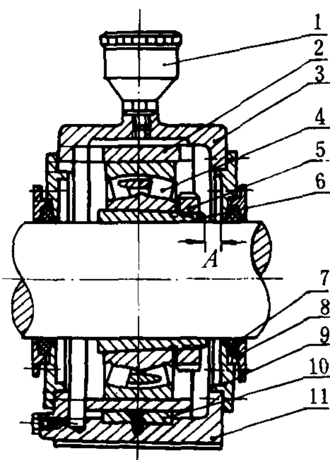


图 6.2.1—33 双列向心球面滚子轴承

1—油杯；2—导向环；3—轴承盖；4—滚子轴承；5—螺母；6—锥形紧定套；7—填料；8—压盖；9—端盖；10—键；11—轴承座；A—轴向移动量

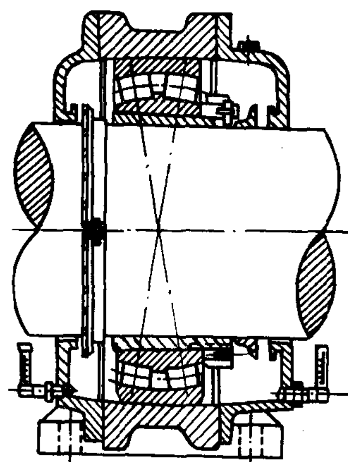


图 6.2.1—34 整体式轴承座滚子轴承

（2）整体式轴承座滚子轴承

如图 6.2.1—34 所示，轴承的外座圈直接与轴承座配合，两端设有防漏装置。

3）额定动负荷 C 的计算与校核

滚动轴承额定动负荷按下式计算：

$$C=\frac{f_L \cdot f_F}{f_n \cdot f_T}p \quad N \tag{6.2.1—22}$$

式中：f_L——寿命系数，$f_L=(L_n/500)^{\frac{1}{\varepsilon}}$

L_n——轴承工作期限（可取 50000～100000h）；

ε——寿命指数，对滚子轴承 $\varepsilon=10/3$，对滚珠轴承 $\varepsilon=3$；

f_F——载荷性质系数(对中间轴承建议取 1.2～1.8);

f_T——温度系数,按表 6.2.1—16;

p——当量动载荷,取轴承负荷计算值(中间轴承可只考虑由轴自重引起的径向负荷),N。

表 6.2.1—16　　温度系数 f_T

轴承工作温度(℃)	≤100	125	150	175	200	225	250	300	350
f_T	1	0.95	0.9	0.85	0.80	0.75	0.70	0.60	0.50

计算的 C 值应小于机械零件手册中该类轴承相应轴颈的 C 标定值。

4) 滚动式中间轴承的配合技术条件

滚动式中间轴承的安装及更换条件,可参照表 6.2.1—17 所列的数值。

表 6.2.1—17　　滚动轴承安装值与更换值　　(mm)

轴颈直径 d		<120	120～180	180～260	260～360	360～500
轴承外圈与座内孔间隙	安装值	0.03～0.05	0.04～0.06	0.06～0.08	0.08～0.10	0.10～0.14
	调整更换值	0.16	0.20	0.25	0.32	0.40
轴承内圈与轴颈配合(无紧定套)		+0.02～−0.015	+0.015～−0.02	+0.01～−0.025	+0.005～−0.03	0～−0.04
轴承的极限径向游隙		0.30	0.35	0.40	0.50	0.70

4.2　推力轴承

4.2.1　推力轴承

1)滑动式推力轴承

(1) 基本结构与工作原理

图 6.2.1—35 是滑动式推力轴承基本结构图,通常称其为动块式或“米契尔”式推力轴承。

推力环 5 的两侧各安置一组(一般为 6～9 块)独立的扇形推力块 13,分别承受螺旋桨正车或倒车推力。每块推力块正面(与推力环接触的面)浇有白合金,背面设有硬化的顶头,偏心地支承在支撑垫 4 上,回转时推力块与推力环之间形成楔形油膜,如图 6.2.1—36 所示。

(2)主要参数

① 推力块的数目 Z

一般取 Z=6～9 块。

② 有效面积系数 m

$$m=\frac{Z\cdot\theta}{2\pi} \qquad (6.2.1—23)$$

式中:Z——推力块数目;

θ——推力块扇形圆心角(见图6.2.1—37),(°)。

通常 m=0.5～0.9(自然润滑取下限,强制循环润滑取上限)。

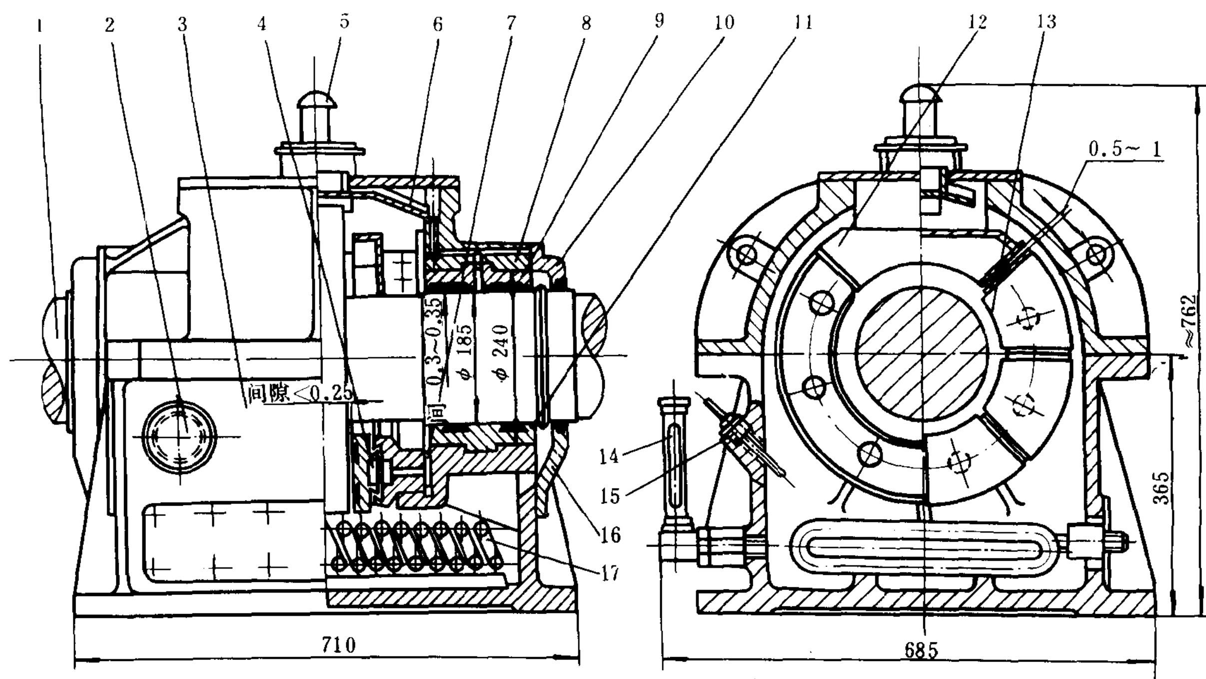


图 6.2.1—35 滑动式推力轴承

1—推力轴；2—螺塞；3—下壳；4—支撑垫；5—通气罩；6—刮油器；7—调整板；8—上壳；9—上轴瓦；10—上挡油盖；11—下轴瓦；12—压盖；13—推力块；14—油位表；15—油温表；16—下挡油盖；17—冷却水管

③ 推力块尺寸比（见图 6.2.1—37）

r/R＝0.5～0.7　　　　(6.2.1—24)

l/b ＝1.0～1.25　　　　(6.2.1—25)

式中：r ——推力块内半径，mm；

R——推力块外半径，mm；

l ——在(R＋r)/2 处圆弧长，mm；

b ——推力块宽度，mm。

④ 偏心距 e

e＝(0.05～0.1)l　　　　(6.2.1—26)

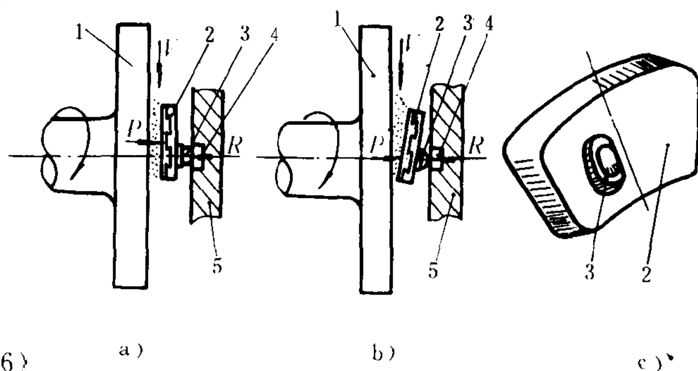


图 6.2.1—36 油楔形成原理

1—推力环；2—推力块；3—顶头；4—支撑块；5—支撑垫

中国船用滑动式推力轴承系列的主要尺寸与参数，列于表 6.2.1—18。

表 6.船用滑动式推力轴承系列

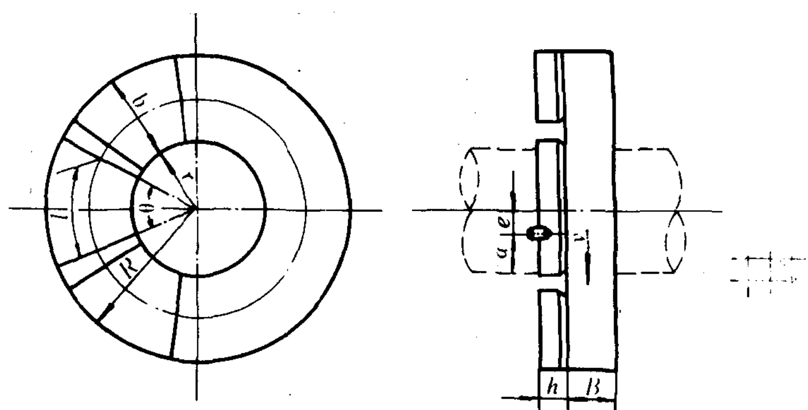
型号	轴颈直径 d mm	最大使用推力 P_{max} N	最大使用推力时的转速 n r/min	推力块承压面积 F cm^2	推力块与推力环之间的总间隙 Δ mm	推力块数目 Z	推力环直径 D mm
TZ140	140	60000	300～600	390	0.4～0.6	6	340
TZ160	160	90000	200～600	600	0.4～0.6	6	410
TZ180	180	120000	200～600	660	0.5～0.7	6	430

续上表

型　号	轴颈直径 d mm	最大使用推力 P_{max} N	最大使用推力时的转速 n r/min	推力块承压面积 F cm^2	推力块与推力环之间的总间隙 Δ mm	推力块数　目 Z	推力环直径 D mm
TZ200	200	160000	180～500	750	0.5～0.7	6	470
TZ220	220	200000	180～500	1005	0.5～0.7	6	520
TZ280	280	300000	120～350	1530	0.65～0.8	6	640
TQ250	250	400000	250～550	1665	0.8	8	600
TQ280	280	500000	250～550	2000	0.9	8	670
TQ300	300	600000	200～520	2340	0.9	8	710

表中：TZ——自然润滑滑动推力轴承；

TQ——强制循环润滑平衡块式滑动推力轴承。



a)　　　　b)

图 6.2.1—37　推力块与推力环的尺寸

(3)主要结构尺寸的校验

① 比压 p_m

$$p_m=\frac{P_{max}}{F_1}\quad MPa \tag{6.2.1—27}$$

式中：P_m——螺旋桨最大推力，N；

F_1——推力块总面积，mm^2。

p_m 的计算结果应符合以下数据范围：

自然润滑推力轴承　　p_m＝1.5～2.0Mpa

强制润滑推力轴承　　p_m＝2.0～3.5MPa

② 推力环的最大应力 σ

$$\sigma=(\frac{R}{B})^2\cdot\alpha\cdot p_m\leqslant[\sigma]\quad MPa \tag{6.2.1—28}$$

式中：R——推力环外径，mm；

B——推力环厚度，mm；

α——系数，按 r/R 由图 6.2.1—39 查取；

p_m——比压，MPa；

[σ]——许用应力，MPa。[δ]＝$0.2\delta_s$

其中：δ_s——材料的屈服极限，MPa。

③ 最小油膜厚度 h_{min}

$$h_{min}=K\sqrt{\frac{F_0\cdot n\cdot \mu}{\gamma\cdot c\cdot \Delta t}}\times 10^4 mm \qquad (6.2.1—29)$$

式中：K ——系数，按图 6.2.1—38 查取；

F_0——块推力块的面积，m^2；

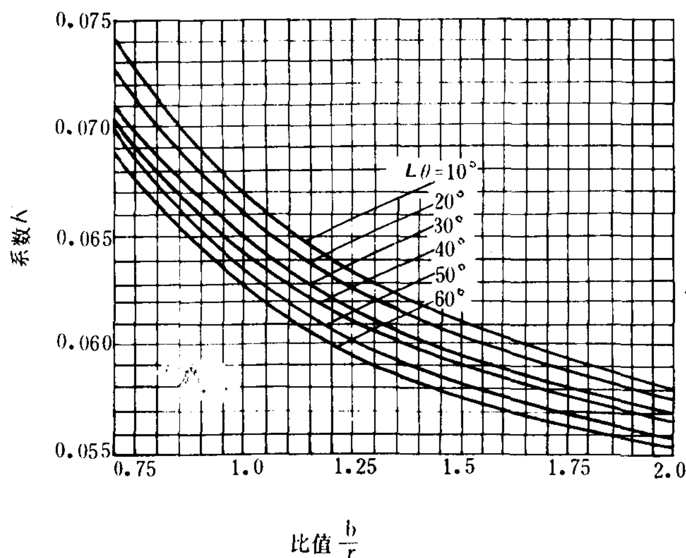
n ——转速，r/min；

μ ——滑油粘度系数，Pa·S；

γ ——滑油密度，kg/m^3；

c ——滑油比热容，J/kg·℃；

Δt——滑油温升，℃。



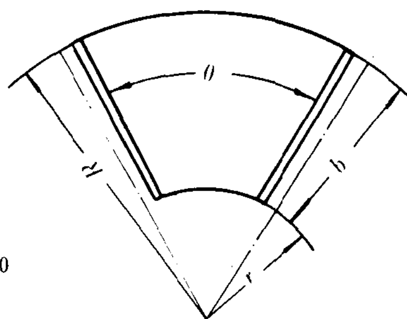
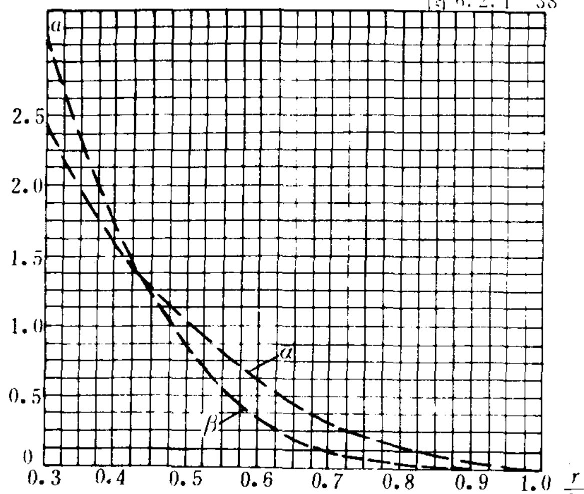


图 6.2.1—38 系数 K



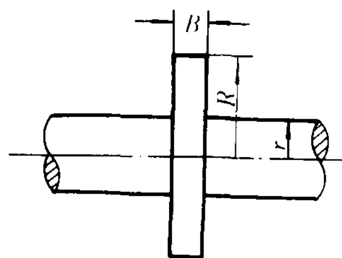


图 6.2.1—39 系数 K

h_{min}的计算值应符合下式要求：

$$h_{min}\geqslant Y+0.01 \quad mm \qquad (6.2.1—30)$$

式中：Y——推力环最大挠度，mm

$$Y=\beta\frac{p_m\cdot R^4}{E\cdot B^3}\times 10^6 \qquad (6.2.1—31)$$

其中：β ——系数，按图 6.2.1—39 查取；

E——材料弹性模数，N/m²；

p_m——比压，MPa；

B——推力环厚度，mm。

2）滚动式推力轴承

滚动式推力轴承适用于小功率船舶轴系，图 6.2.1—40 为常用的一种结构型式。

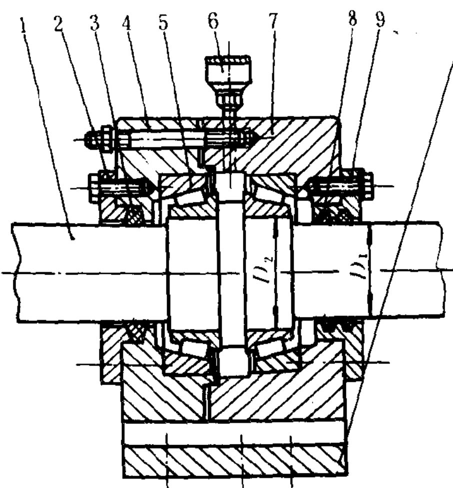


图 6.2.1—40 滚动式推力轴承

1—推力轴；2—油封压盖；3—油封圈；4—后推力轴承座；5—单列圆锥滚子轴承；6—油杯；7—前推力轴承座；8—油封圈；9—油封压盖；10—推力轴承支座；

螺旋桨正、反方向推力，可由推力环分别通过前后两个单列圆锥滚子轴承 5 传递。

圆锥滚子轴承可以根据轴颈直径按产品目录选用，必要时可按式（6.2.1—22）计算的额定动载负荷值 c 进行校验，此时的当量动载负荷 p 可按下式计算：

$$p=0.4F_r+YF_a \qquad (6.2.1-32)$$

式中：F_r——推力轴承处的径向负荷；

F_a——轴向负荷（取螺旋桨推力）；

Y ——轴向系数（由《机械零件手册》查取）。

4.3 管理、维修与检验

4.3.1 中间轴承与推力轴承的管理

1）在船舶航行中，每工班需检查一次中间轴承的油量、油环带油情况及轴承温度。轴承的工作温度应符合表 6.2.1—19 的要求，各中间轴承之间温度相差不能大于 15℃。

2）轴承温度过高时，可在轴承外壳淋水应急冷却，停航时必需对发热轴承检修。

3）应注意监视推力轴承温度，滑动式推力轴承的温度应符合表 6.2.1—19 的要求，工作温度最好在 45～55℃之间。

表 6.2.1—19 **轴承温度允许值** （℃）

部位 \ 环境温度 \ 转速	n<300r/min		n>300r/min	
	≤30	>30	≤30	>30
推力轴承	≤60	≤65	≤65	≤70
滑动中间轴承	≤55	≤60	≤60	≤65
滚动中间轴承	≤65	≤70	≤70	≤75

4）采用强制润滑的推力轴承，要保持油路畅通，油量充足，油质清洁；自然润滑的推力轴承，润滑油油位应在油位表 1/2～2/3 处。当发现缺油现象，应检查底油池放油旋塞，油位表管接头或底座侧面盖板螺钉等处是否松动，检查支承轴承端面密封是否破损。

5）定期检查推力轴承底座与船体骨架座之间的固紧螺栓有无松动。

4.3.2 中间轴承与推力轴承的检修

1）中间轴承检修

（1）用塞尺测量靠螺旋桨轴或尾管轴端中间轴承前后的上、下、左、右四个位置的间隙，其

它中间轴承，具有上、下轴瓦的轴承，应检查上、下轴瓦间隙，无上轴瓦者，只检查下轴瓦的间隙。

(2) 轴颈与轴承底部应接触良好，插不进 0.05mm 塞尺；左、右间隙应基本相同，不允许轴颈与轴承单边靠死。

(3) 测量中间轴承孔径，确定白合金厚度磨损程度。轴承极限间隙及白合金极限厚度应按表 6.2.1—14 的值。

(4) 中间轴承间隙超过极限间隙，或白合金厚度小于极限厚度，应重新浇铸白合金。

(5)按表 6.2.1—2 检查工作轴颈圆度、圆柱度。

(6) 中间轴承白合金表面不应有裂纹、烧熔、擦痕、剥落等现象。如有缺陷、应修复或重新浇注白合金。

(7) 滚动式中间轴承外圈与座内孔间隙应符合表 6.2.1—17 的要求。

(8) 无紧定套的滚动轴承与轴颈相配后，发现有松脱打滑现象时，应进行修复。

(9) 发现滚动轴承过热、锈蚀、剥蚀、护圈破裂、滚子严重磨损或转动不灵活时，应予换新。

2) 推力轴承检修

(1) 定期测量推力环与推力块间的轴向总间隙，以及推力轴与推力轴承间的径向间隙，正常运行时，间隙应符合表 6.2.1—20 中的标准值。

(2) 若轴向总间隙不在规定值内，可调节调整 板，或对于装有调节 螺钉的推力轴承，可调节调节螺钉，对间隙适当进行调正。

(3) 若磨损过大，应检查推力块白合金的厚度。白合金厚度小于表 6.2.1—20 中极限厚度时，应重新浇注或换新块。

(4)径向间隙与中间轴承同样处理。

(5) 推力轴与柴油机曲轴飞轮刚性联接的轴系，独立推力轴承的轴向间隙应比柴油机止推轴承的轴向间隙小 0.15～0.25mm。

(6)对于推力轴承两端的密封装置，应经常检查调整，不许有漏油现象。

4.3.3 中间轴承与推力轴承的检验

表 6.2.1—20 **间隙允许值** (mm)

项目 / 标准值 / 轴颈直径 d	推力轴与推力轴承径向间隙		推力环与推力轴承轴向总间隙		推力块白合金
	安装间隙	极限间隙	安装间隙	极限间隙	极限厚度
<100	0.10～0.15	0.40	0.10～0.20	0.40	1.20
100～120	0.13～0.18	0.45	0.15～0.25	0.45	1.40
120～150	0.15～0.20	0.50	0.20～0.30	0.52	1.60
150～180	0.18～0.23	0.55	0.25～0.35	0.60	1.80
180～220	0.20～0.25	0.60	0.30～0.40	0.70	2.00
220～260	0.22～0.30	0.65	0.35～0.48	0.80	2.20
260～310	0.25～0.33	0.70	0.40～0.55	0.90	2.40
310～360	0.32～0.40	0.80	0.45～0.60	1.00	2.60
360～440	0.36～0.45	0.90	0.50～0.70	1.15	2.80

续上表

轴颈直径d \ 标准值 \ 项目	推力轴与推力轴承径向间隙		推力环与推力轴承轴向总间隙		推力块白合金
	安装间隙	极限间隙	安装间隙	极限间隙	极限厚度
440～500	0.40～0.50	1.00	0.55～0.75	1.30	3.00
500～600	0.45～0.55	1.10	0.60～0.80	1.45	3.00
600～700	0.50～0.60	1.20	0.70～0.90	1.60	3.00

1）轴承座与轴承盖的铸件不允许有裂纹、缩孔、疏松、浇铸不足等严重缺陷。对于较小缺陷允许经修补后使用。铸件内部应彻底清理干净。铸件应进行必要的热处理，消除内应力。

2）盖与底的接合面应与孔的轴心线平行，其平行度为每米 0.3mm。各接合面应光洁平直，必要时应进行修刮，装配后接合面应插不进 0.05mm 塞尺。轴承粘合的白合金表面粗糙度不低于 1.6▽。

3）盖与座具有凸肩凹槽配合时，按 $H8/h_7$ 加工。各侧面应与孔轴心平行，平行度为0.10 mm。安装后不得有横向移动。

4）新制和重浇白合金时，座体应进行密封性试验：

(1)冷却水空间应作 0.2～0.3MP_a 的水压试验；滑油空间应作灌煤油试验。

(2)允许用电焊、填补塑料、浸压电木清漆等方法修补个别渗漏。修后应重新再进行密封试验。座盖内部非加工面在水压试验后应涂以防锈漆 。

5）轴承浇铸白合金后，表面不应有裂纹、疏松和密集气泡等缺陷；熔融的白合金不得有过烧现象，必要时可抽验金相组织。对于表面局部缺陷允许修补后使用。

6）白合金的粘合质量应良好，不允许有不粘合现象存在。白合金壁厚应力求均匀，厚薄差不得大于壁厚的 20%。新制白合金最小厚度应符合表 6.2.1—14 的要求。

7）轴颈与白合金轴承应进行修刮研配，下部 60°范围内接触面积应达 75%以上，每 $25\times25mm^2$面积内具有 3～4 个油斑点。

8）单独轴瓦的背面与轴承座内孔应均匀接触。允许有冷校或锤击的方法，涨大其圆径后进行刮配。要求在没有负荷作用下，轻轻敲击便可取出轴瓦。

9）中间轴承挡油环装配后，在环与轴颈之间应插不进 0.05mm 塞尺。挡油环前后按轴系长度应留有不小于 4～8mm 的轴向间隙。

10）在轴承白合金轴瓦下部 90°～120°范围内，如有较大脱壳、龟裂及白合金太薄悲陷，都应予以修换。对较小脱壳现象(轴瓦两端及平面的脱壳长度 l<1/8d)，在无条件修补情况下，允许存在。对面积不大的脱壳、龟裂缺陷可焊铸修理。

11）金属垫片在各轴承定位及垫片装入后，当底脚螺栓未旋紧前，用塞尺检查垫片各接合面间的间隙，要求 70%周长上插不进 0.05mm 塞尺，个别分散部位允许 0.10mm 塞规插入 20～30mm 以内。

12）垫片装配后，中间轴轴颈与中间轴承下部要求接触，插不进 0.05mm 塞尺。

13）中间轴承 底座与轴承座连接螺栓中，应有两只紧配螺栓；推力轴承底座与轴承座应有 50%的紧配螺栓，但不少于 4 只。

5 尾轴管装置

5.1 尾轴管装置的组成与要求

5.1.1 尾轴管装置的组成

尾轴管装置由尾管、尾轴承、密封装置、润滑与冷却系统等部分组成，如图 6.2.1—41 所示。

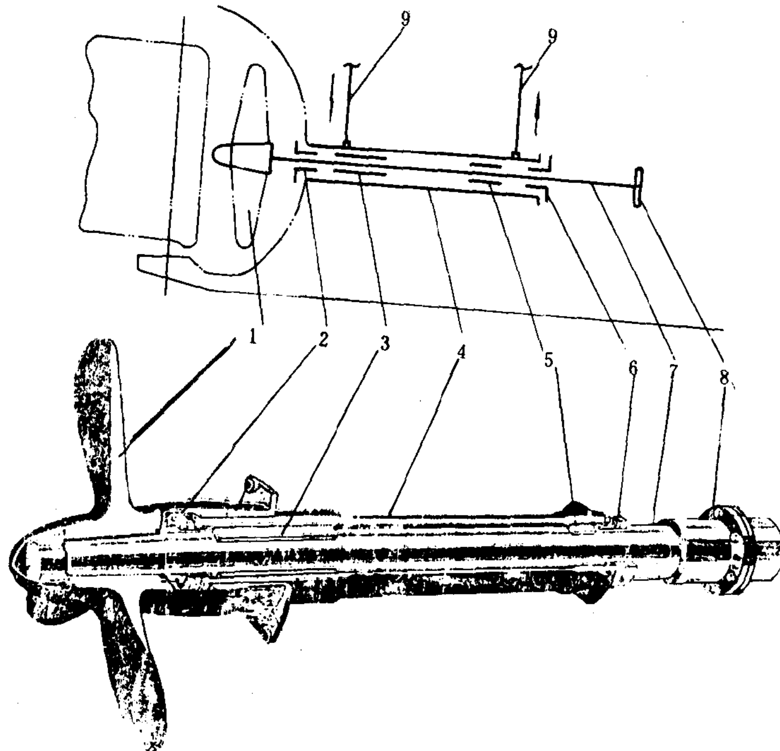


图 6.2.1—41 尾轴管装置

1—螺旋桨；2—尾部密封；3—后尾轴承；4—尾管；5—前尾轴承；6—首部密封；7—螺旋桨轴；8—联轴器；9—润滑油管

5.1.2 尾轴管装置的要求

1. 尾管必须具有足够的强度和刚度，在船舶航行时不产生有害的变形。
2. 应有良好可靠的密封。
3. 在船舶任何航行环境下，能保证尾轴承、密封元件等可靠润滑与冷却。
4. 能承受螺旋桨轴的动载荷，工作可靠，寿命长。

5.2 尾　　管

5.2.1 尾管的结构型式

图 6.2.1—42 为单轴系船舶常用的尾管结构。图 a)为整体式尾管，它是压入尾柱轴毂孔内，靠一定的装配过盈量固紧尾管。图 b)为一种焊接式尾管，尾段尾管由尾柱轴毂孔代替，首段尾管由铸钢套管制成，中间一段由钢管制成，三段组焊一体后，再对其内孔进行机械加工。

图 6.2.1—43 为连接式尾管结构，这种尾管由几部分连接组成。前尾管 8 由船首方向装入

尾管支架，用螺栓与中尾管5连接，中尾管与尾轴架毂2固接。尾轴架轴承代替后尾管轴承

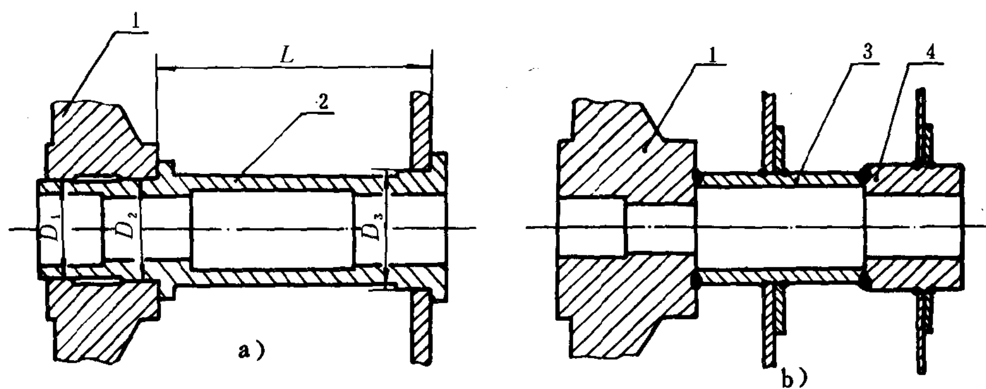


图 6.2.1—42 尾管结构示意图

1—尾柱轴毂；2—尾管；3—钢管；4—铸钢套管

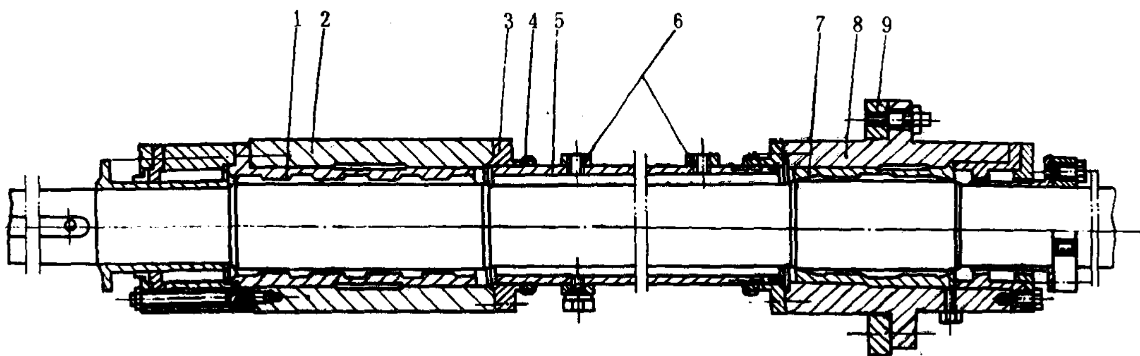


图 6.2.1—43 连接式尾管

1—尾轴架轴承；2—尾轴架毂；3—法兰；4—锁紧螺母；5—中尾管；6—油管接头；7—前尾轴承；8—前尾管；9—垫板

5.2.2 尾管材料与壁厚

尾管材料与壁厚的要求(见图 6.2.1—44)列于表 6.2.1—21～22。

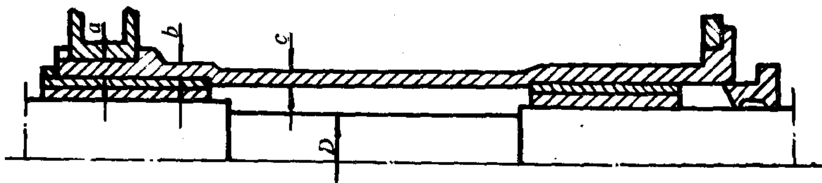


图 6.2.1—44 整体式尾管壁厚度

表 6.2.1—21 **尾管材料与壁厚** (mm)

尾管型式	材料	壁厚
整体式	HT25—47 HT20—40(内河船)	轴颈 d<210 $C=\frac{d}{12}+12.7$ 轴颈 d>210 $C=\frac{d}{20}+20$ a=(1.5～1.8)C b=(1.2～1.5)C
	QT45—5 ZG25	为灰铸铁尾管壁厚的 0.7～0.8 倍 装配衬套处最小壁厚按表 6.2.1—22
连接式	钢管或无缝钢管	10～25mm 小型船舶可采用 5～10mm，或按船壳板厚度选取

表 6.2.1—22 **装衬套处壁厚** (mm)

轴颈直径 d	<80	80～120	120～150	150～180	180～260	260～360	360～500	500～700
装衬套处壁厚	10	12	14	16	18	20	22	24

5.2.3 尾管的加工技术要求

1)尾管铸件表面应光洁，不允许有裂纹、气眼、集中渣孔、浇铸不足等缺陷。对于较小缺陷允许经修补后使用。

2)铸件需经必要的热处理，消除内应力；钢质件粗加工后应退火处理，允许用控制最后 3～4 道切削量的办法来代替退火处理。

3)尾管加工后应作压力为 0.2MPa 的液压试验，5min 内不得有渗漏。允许用焊补、填补塑料等方法消除个别渗漏，补后应重新进行液压试验。

4)尾管首法兰面与轴心线垂直度每米不得超过 0.15mm。

5)尾管各部分的内、外圆应同心，同轴度为 0.10mm。

6)外圆不同轴径或内孔不同孔径的轴心线，应位于同轴心线上，同轴度为 0.025mm。

7)加工配合尺寸时，室内外温差而产生的误差应在 0.02mm 以内。

8)尾管首法兰面与尾隔舱平面间应镶垫橡胶或帆布垫等保证水密的材料。

9)放置尾管的水舱应进行水密试验，与尾管配合部位不允许有任何渗漏。允许用嵌捻、搪水泥、涂补塑料等方法修补个别小渗漏。

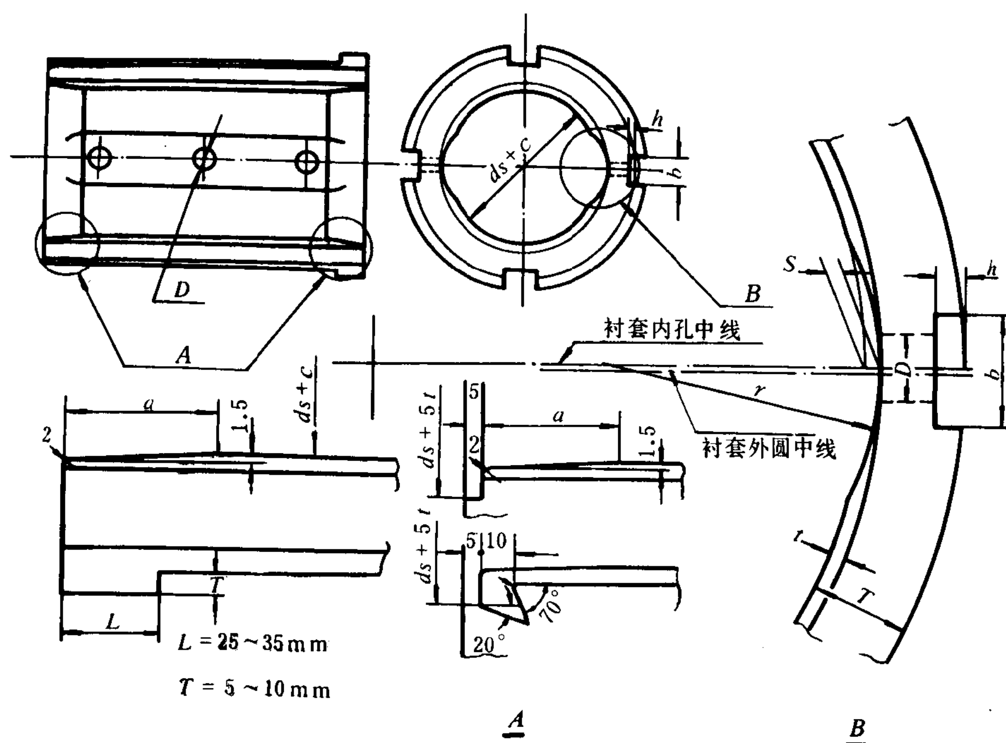


图 6.2.1—45 白合金尾轴承

5.3 尾管轴承

5.3.1 尾管轴承润滑形式

油润滑：白合金滑动轴承、滚动轴承。

水润滑：铁梨木、桦木层压板、橡胶等滑动轴承。

5.3.2 白合金尾轴承

白合金浇铸在铸钢、铸铁或球墨铸铁的轴承衬套上，经机械加工后压入尾管中。图6.2.1—45为白合金尾轴承典型结构，各部分尺寸见表6.2.1—23。

白合金耐热性好，不伤轴颈，抗压强度较高，散热性好，不易发生摩擦发热而致烧轴的事故，适用于各类船舶轴系。采用此型轴承螺旋桨轴或尾管轴轴套可以省去，但尾管应设有良好的密封装置。

表6.2.1—23　**白合金尾轴承的各部分尺寸**　(mm)

螺旋桨轴直径 d_s	白合金厚度 t	s	r	a	间隙 c	油沟槽 b	油槽 h	油孔直径 D
100～200	2.5	3.0		15	0.4～0.5			
200～300	2.5	3.0		20	0.5～0.6			
300～400	3.0	4.5		30	0.6～0.7			
400～500	3.0	4.5		40	0.7～0.9			
500～600	4.0	6.00.	35d	50	0.8～1.0	(0.05～0.07)d+20	(0.20～0.25)b	(0.60～0.80)b
600～700	4.0	6.0		60	0.9～1.1			
700～800	4.0	6.0		70	1.0～1.3			
800～900	4.0	6.0		80	1.1～1.4			
900～1000	4.0	6.0		90	1.2～1.5			

白合金的化学成分和机械性能见表6.2.1—24。

表6.2.1—24　**白合金的化学成分与机械性能**

合金种类	化学成分(%)				轴承负荷 p(N/mm²)		PV值 (N.m/mm²·s)
	锑	铜	锡	铅	静负荷	冲击负荷	
锡基合金	10～12	5.5～6.5	其余		<9.8	<9.8	当V>5m/s时 PV=49
铅基合金	15～17	1.5～2.0	15～17	其　余	<9.8		当V>1.5m/s时 PV=14.7

轴承衬套厚度用下式计算：

$$m=\frac{d}{28}+6.35 \quad \text{mm} \qquad (6.2.1—33)$$

式中：d——螺旋桨轴轴颈直径，mm。

衬套材料

河船：常用青铜或黄铜。

海船：大多采用钢、铸铁或球墨铸铁。

采用铸铁或球墨铸铁材料时，应先将衬套的内表面进行电化学阳极腐蚀特殊处理（去石墨处理），然后浇铸白合金。

白合金轴承衬套外圆左、右两侧，沿轴线方向开设宽为b深为h的油槽，有N个直径为D的油孔通入轴瓦，在轴承内形成半径为r的圆弧形纵向贮油槽（见图6.2.1—45）。油孔数N可按下式确定：

$$N=L/(200\sim300) \quad (6.2.1—34)$$

式中：L——轴承长度，mm。

白合金轴承长度应满足表6.2.1—25的要求。

表6.2.1—25 各种尾轴承的长度

轴承型式 / 轴承长度 / 船舶类别	油润滑白合金尾轴承			水润滑铁梨木、层压板、橡胶尾轴承	
	前尾轴承	后尾轴承	尾轴架轴承	前尾轴承	后尾轴承
海船	>2d	>2d	>2d	>4d	>4d
河船	>1.5d	>2.5d	>2.5d	>2d	>3d

注：(1)d为螺旋桨轴直径；

(2)根据船级社审查批准的轴系合理校中计算结果，经船级社审查同意后，轴承长度可适当减小。

油润滑白合金尾轴承的安装间隙与允许极限间隙列于表6.2.1—26

表6.2.1—26 各种尾轴承的安装间隙与极限间隙 (mm)

轴颈直径 d	铁梨木、层压板、金属板条橡胶				白合金		整体橡胶	
	安装间隙			极限间隙	安装间隙	极限间隙	安装间隙	极限间隙
	铁梨木	层压板	橡胶					
100	0.9	0.5～0.8	0.60～0.70	4	0.40～0.50	1.5	0.30～0.40	3.5
100～150	0.9～1.1	0.8～0.95	0.65～0.75	4.4	0.45～0.55	1.65	0.35～0.60	4.4
150～200	1.0～1.2	0.95～1.1	0.70～0.80	4.8	0.50～0.60	1.8	0.40～0.80	4.8
200～250	1.1～1.3	1.1～1.25	0.75～0.85	5.2	0.55～0.65	1.95	0.60～1.0	
250～300	1.2～1.4	1.25～1.4	0.80～0.90	5.6	0.60～0.70	2.10	0.80～1.2	
300～350	1.3～1.5	1.4～1.55	0.90～1.05	6.0	0.65～0.75	2.25	1.0～1.4	
350～400	1.4～1.6	1.55～1.7	1.0～1.15	6.4	0.70～0.80	2.40		
400～450	1.5～1.7	1.7～1.85	1.1～1.25	6.8	0.75～0.85	2.55		
450～500	1.6～1.8		1.2～1.35	7.2	0.80～0.90	2.70		
500～550	1.7～1.9		1.3～1.5	7.6	0.85～0.95	2.85		
>550	1.8～2.0		1.45～1.70	8.0	0.90～1.0	3.00		

5.3.3 铁梨木尾轴承

铁梨木在尾管衬套中的布置多采用桶形排列，如图6.2.1—46所示。

轴承下半部铁梨木板条3的纤维方向应与螺旋桨轴中心线垂直；轴承上半部板条4的纤维方向可与轴中心线平行。

铁梨木板条尺寸一般为：

厚度：20～35mm；

长度：150～300mm；

宽度：60～80mm。

板条排列要求紧密，板条间应装有青铜或黄铜止动条（2～3 根）。止动条长度等于轴承全长，径向厚度约为铁梨木厚度的 60%，且不应大于铁梨木允许极限间隙时的板条厚度。

铁梨木尾轴承的冷却水槽形状如图 6.2.1—47 所示：

槽深　$h=(0.3\sim0.4)t$　mm

槽宽　$b=(0.4\sim0.6)t$　mm

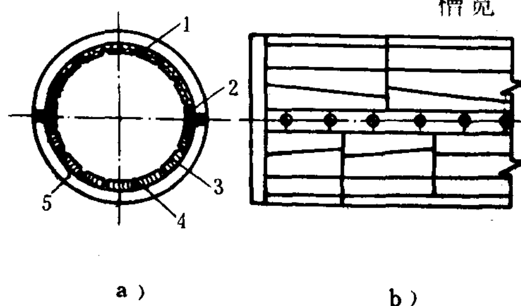


图 6.2.1—46　铁梨木尾轴承

1—纵纹板条（上）；2—止动条；3—主纹板条；4—冷却水槽；5—尾管衬套

式中：t——铁梨木板条厚度，可按下式估算：

$t=(0.9\sim1.1)\times(0.023d_c+14)$　mm

其中：d_c——螺旋桨轴铜套直径，mm

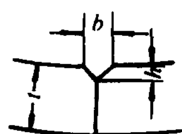
水槽布置：

$d_c<260$mm　隔接缝有一槽

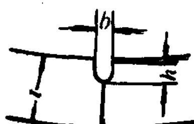
$d_c>260$mm　每个接缝有一槽

冷却水槽应平直无毛刺，轴承下部 60°范围内可不拉制水槽。

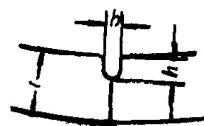
铁梨木轴承的长度应满足表 6.2.1—25 的要求。板条总长度应使板条在轴向留有 2～8mm 的膨胀间隙。



a）V形



b）U形

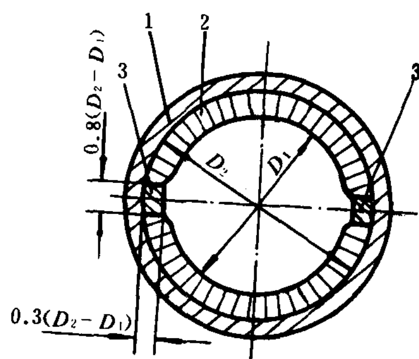


c）UV形

图 6.2.1—47　冷却水槽形状

铁梨木轴承安装要求：

1）板条宽度应基本相同，镶嵌紧密，纵向接缝在一条直线上，在 85%的板条长度应插不进 0.10mm 塞尺。



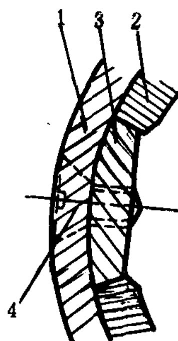


图 6.2.1—48　桦木层压板尾轴承

1—尾管；2—板条；3—青铜止动条；4—埋头螺钉

2）板条背面与衬套内孔应紧密贴合，其不贴合区不可超过总面积的 20%，且不应集中一处。

3）铁梨木尾轴承的安装间隙和允许极限间隙应按表 6.2.1—26 的要求。

4）安装过程中应防止铁梨木干裂扭曲。

铁梨木的养护：

1）在制作、修理、加工和安装过程中要使铁梨木处于湿润状态。

2)铁梨木在加工时应每小时浇水两次，加工完后应同样进行湿润养护。

3)板条在镶入衬套前应在水中浸泡2～3周；镶入衬套后，应在衬套内孔灌水保护，或用湿木屑塞满其孔。

4)船舶坞修时，若螺旋桨未拆卸，则应每天在尾管内灌水2～3次；若已抽轴修理，则应在轴承孔内灌满水或塞满湿木屑。

5)修理过程中，不拆卸的板条应涂上润滑脂，拆卸后尚须继续使用的板条应浸泡在水中保存。

5.3.4 桦木层压板尾轴承

1)基本结构

图6.2.1—48为桦木层压板尾轴承的基本结构图。轴承下部层压板的木层方向与轴中心线垂直，上半部则可与轴中心线平行。轴承支承表面包角应达100°～110°。轴承各尺寸见表6.2.1—27。

层压板尾轴承的冷却水槽应设在止动条附近，最好采用压力水润滑和冷却。

表6.2.1—27 **层压板尾轴承各部分尺寸** (mm)

轴径 d	衬条内径 D_1	尾管套筒内径 D_2	流水槽镗孔半径 R	镗孔偏心量 a	轴衬内端头圆角半径 r	衬条块数 n	衬条块的截面尺寸 b	h	α°	毛坯板料推荐厚度 δ
60	60.1	80	27	7	4	10	27.9	17.5	36	30
70	70.15	90	31	9	4	12	25.6	16.9	30	30
80	80.2	100	36	11	4	12	28.2	17.1	30	35
90	90.2	110	40	12	4	15	24.5	17.25	24	30
100	100.2	130	45	12	5	15	28.7	22.4	24	35
120	120.3	150	53	17	5	18	27.3	21.54	20	30
160	160.4	195	71	21	6	20	31.8	24.1	18	35
200	200.4	240	90	25	6	24	32.2	26.8	15	35
250	250.5	290	112	32	6	24	38.8	27.0	15	45
300	300.6	345	134	39	8	30	36.8	28.95	12	40
350	350.7	400	155	48	8	30	42.8	31.53	12	45
400	400.8	455	179	51	8	30	48.5	34.1	12	55
450	450.9	505	200	60	8	36	44.9	34.2	10	50
500	501	555	224	63	8	40	43.8	34.25	9	50

2)层压板的材料及加工

桦木切成薄单板，经浸渍酚醛树脂后组成板坯，在高温下压制形成。

中国常用的桦木层压板的牌号为MCS—2—1，尺寸规格有如下两种：

长：1000mm、700mm

宽：500mm、600mm

厚度：15～55mm

3)桦木层压板尾轴承的安装间隙与允许极限间隙可参照表6.2.1—26。

5.3.5 橡胶尾轴承

1)条式橡胶尾轴承

图 6.2.1—49 为桶形安装的条式橡胶尾轴承结构图。

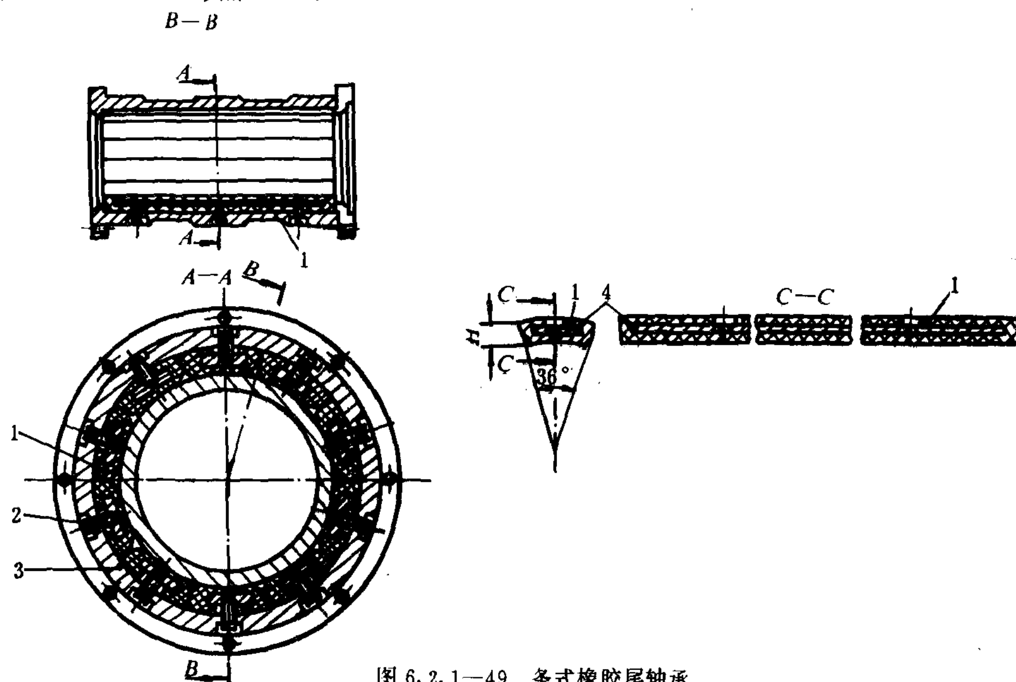


图 6.2.1—49 条式橡胶尾轴承

1—橡胶衬条；2—埋头螺钉；3—衬套；4—金属衬板

埋头螺钉 2 从衬套 3 外面旋入橡胶衬条中的金属衬板 4 上，把橡胶衬条固紧于衬套。金属衬板、衬套及埋头螺钉的材料之间不应有显著的电位差。

条式橡胶尾轴承加工安装要求：

(1)橡胶板条表面应光洁，无分层、裂纹、气泡和脱壳现象。

(2)板条厚度应相等，偏差不得大于 0.50mm。

(3)安装时不允许偏心磨削条式橡胶轴承，但允许锉磨板条背面，达到调整配合间隙的要求(见表 6.2.1—26)

条式橡胶轴承主要用于中大型船舶。

2)整体式橡胶尾轴承

图 6.2.1—50 为整体式橡胶尾轴承的结构图。

这种轴承是将橡胶通过模具直接硫化于青铜衬套内，橡胶工作表面呈凸形，水槽沿纵向布置。对于内河船舶，轴承衬套材料可采用铸铁或铜管。

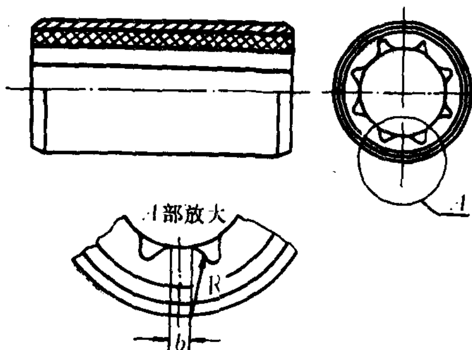


图 6.2.1—50 整体式橡胶尾轴承

冷却润滑水槽数按轴颈尺寸大小而定，通常不少于 8 槽道。

槽道深度 h_1：

$$h_1 = 0.5S \quad \text{mm} \qquad (6.2.1—35)$$

式中：S——橡胶层厚度

$$S = \frac{0.25d}{100} + K \quad \text{mm} \qquad (6.2.1—36)$$

d——螺旋桨轴直径，mm；

K——按表 6.2.1—28 选取，mm。

表 6.2.1—28 K 值 (mm)

d	100～400	400～700	＞700
K	11.5	13	14

对于轴径为 40～200mm 的整体式橡胶尾轴承系列，可参照 CB* 769—86。

整体式橡胶尾轴承加工技术要求：

(1)轴承的橡胶表面应平整、无分层、裂缝、杂质、汽泡及脱壳。

(2)轴承的橡胶部分的纵槽应平行对称。

(3)轴承两端的余胶应切割平整。

(4)橡胶轴承工作表面不允许修补，非工作表面允许修补，修补后应符合上述技术条件。

(5)整体式橡胶尾轴承的装配间隙要求，参照表 6.2.1—26。

3)轴承的橡胶材料及机械性能

目前制造轴承的橡胶材料常采用耐温、耐油的丁腈橡胶(NBR)、氯丁橡胶(CR)。

橡胶材料的物理机械性能应符合表 6.2.1—29。

表 6.2.1—29 **制造轴承的橡胶物理机械性能**

名称		单位	数值
扯断强度	不小于	MPa	15.69
扯断伸长率	不小于	%	400
扯断永久变形	不大于	%	40
硬度(邵氏 A 型)		—	66～76
磨耗量(阿克隆)	不大于	$cm^3/1.61km$	0.40
老化系数(90℃×24h)	不大于	—	0.75

5.3.6 滚动式尾轴承

图 6.2.1—51 为滚动式尾轴承尾管装置图。滚动式尾轴承多数采用 13000 型中宽系列双列向心球面滚子轴承(装在紧定套上)。

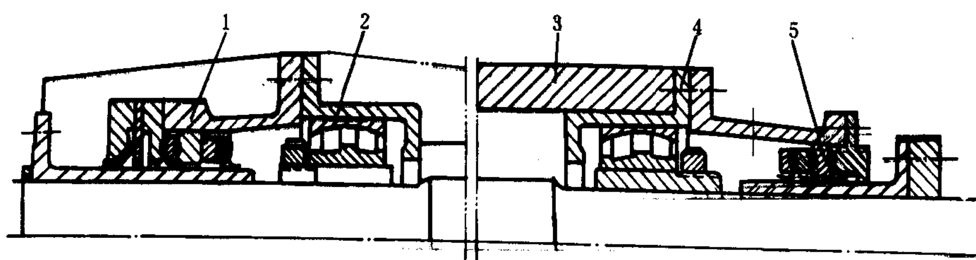


图 6.2.1—51 滚动式尾轴承尾管装置

1—尾端密封；2—尾端轴承；3—尾管；4—首端轴承；5—首端密封

滚动式尾轴承可采用油脂润滑或滑油润滑。轴承外圈与尾管内孔应采用动配合。

采用这种尾轴承时，螺旋桨轴首端必须采用可拆联轴器或液压联轴器。

滚动式尾轴承一般用于小型船舶。

5.4 尾管密封装置

5.4.1 填料函式尾管密封装置

1)基本结构

填料函式密封装置的基本结构如图 6.2.1—52 所示。它由填料压盖 7、压盖衬套 6、填料 5、分油杯 4、油环 3 等组成。滑油经油杯、分油环而进入填料进行润滑。这种型式密封装置主要用于尾管首部密封。

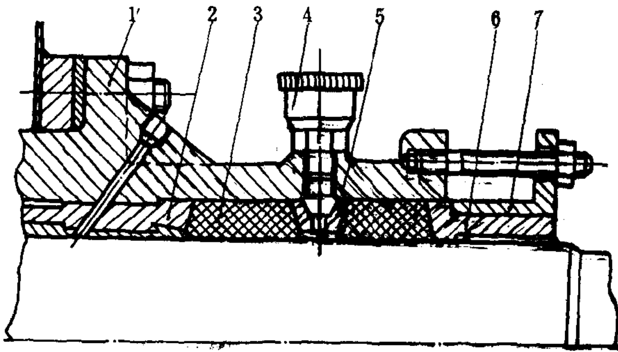


图 6.2.1—52 填料函式密封装置

1—尾管;2—前尾轴承;3—油环;4—分油杯;5—填料;6—压盖衬套;7—填料压盖

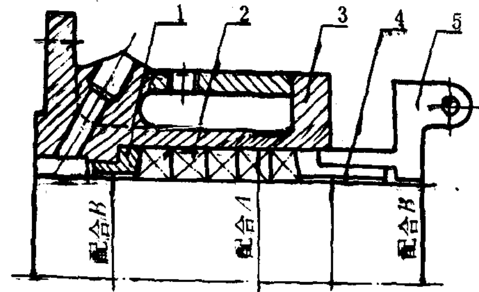


图 6.2.1—53 填料函式首部密封装置

1—衬套;2—填料;3—填料函本体;4—压盖衬套;5—填料压盖

图 6.2.1—53 是用于橡胶轴承的首部密封装置。进水管引入冷却水对橡胶轴承进行润滑、冷却和冲刷。

2)材料及加工要求

填料函密封装置零件材料及加工要求见表 6.2.1—30。

3)填料函装配要求

(1)加装填料时,每圈的长度应使两端刚好接拢,各道填料搭口应相互错开。

(2)填料压盖前后移动应灵活。

(3)填料装妥后,压盖法兰与尾管凸缘平面的距离应相等。

(4)压盖衬套内孔不准与轴有接触,力求上、下、左、右方向的间隙对等。

(5)填料函各部分的装配间隙及极限间隙应符合表 6.2.1—31 的要求。

表 6.2.1—30 **填料函密封装置零件材料与加工要求**

零件名称	材　料	加 工 要 求
填料压盖	HT20—40,ZG25	(1)内外圆同轴度为 0.10mm(借偏心除外)内外圆圆度、圆柱度为 0.05mm 端面与轴心线垂直度为 0.25mm/m (2)剖分式压盖平面应通过轴心线,两平面间在 80%长度上应接触。
压盖衬套分油环、配水环	铜	
填　料	渗油脂棉麻绳	

4)密封填料函营运使用要求

(1)营运中密封填料函使用要求见表 4.2.1—32。

(2)轴承用舷外水润滑时，航行时应将填料放松，允许有少量水流出，停泊时应将填料压紧。

表 6.2.1—31 **填料函各部分装配间隙与极限间隙** (mm)

轴颈直径 d	分油环、分水环、填料压盖与填料函本体之间隙 A	分油环、分水环、填料压盖与轴之装配间隙 B	极限间隙	
			A_j	B_j
<100	0.10～0.15	2.00～2.50	0.80	5.0
100～180	0.15～0.25	2.50～3.00	0.90	6.0
180～260	0.20～0.35	3.00～3.50	1.00	7.0
260～360	0.25～0.40	3.20～3.70	1.10	8.5
360～500	0.30～0.45	3.50～4.20	1.20	10.0
500～600	0.35～0.50	4.00～4.80	1.25	12.0

表 6.2.1—32 **密封填料函使用要求**

分类	营运中使用情况	使用极限温度℃
水润滑填料函	允许有少量尾管内的水流出	60
油润滑填料函	一般不应漏油，允许每分钟漏油量不超过 6～10 滴	75

5.4.2 皮碗式尾管密封装置(Simplex 型密封装置)

1)基本结构

皮碗式尾管密封装置的结构示于图 6.2.1—54。它是依靠斜皮碗式密封环的唇部，在受到水压、油压、橡胶弹性及弹簧夹紧力的作用下，与防磨衬套间保持接触进行密封。

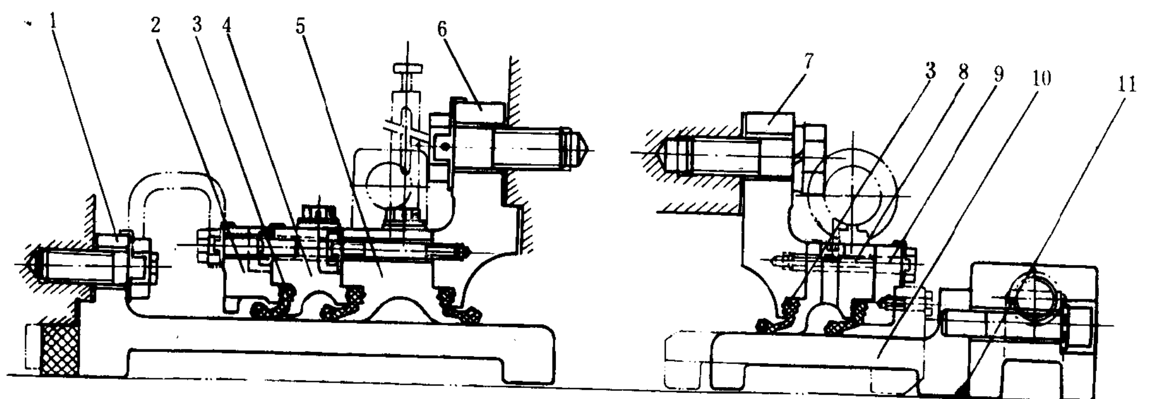


图 6.2.1—54 皮碗式尾管密封装置

1—防磨衬套；2—后压盖；3—密封环；4—托环；5—中间托环；6—后壳体；7—前壳体；8—中间托环；9—密封前盖；10—首部密封防磨衬套；11—O 形密封圈

2)主要部件的制造和换修要求

防磨衬套及橡胶密封环加工制造和换修要求见表 6.2.1—33。

3)部件装配及试验要求

(1)防磨衬套、中间托环、压盖、法兰等，与其相配装部件两平面接触应良好，不允许漏油。

(2)油压试验的压力：

①对回油管在水线以上的船舶，以油从回油管回油起继续泵油 3min。

②对回油管在水线以下的船舶，泵油压力为轴系中心线至船舶重载水线间距的 1.5 倍，一般不得大于 0.1MPa

③油压试验时，密封装置不准有滑油漏泄。在坞内试验时允许微微转动轴系进行检查。

④试车检查首部密封装置时，允许有滑油渗出密封环唇 U，并偶有滑油滴落。

5.4.3 集油式尾管密封装置(改进的 Simplex 型密封装置)

1)基本结构与集油原理

该密封装置是皮碗式尾管密封装置的一种型式,如图 6.2.1—55 所示。其集油原理如图 6.2.1—56 所示,所有润滑油系统都可分两个步骤进行集油:

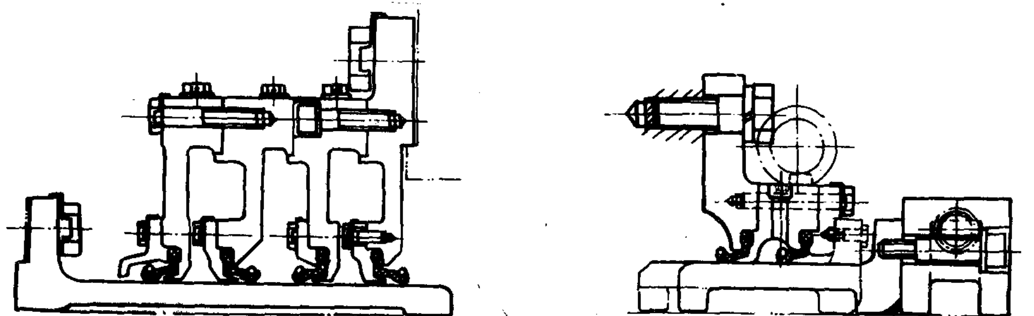


图 6.2.1—55 集油式尾管密封装置

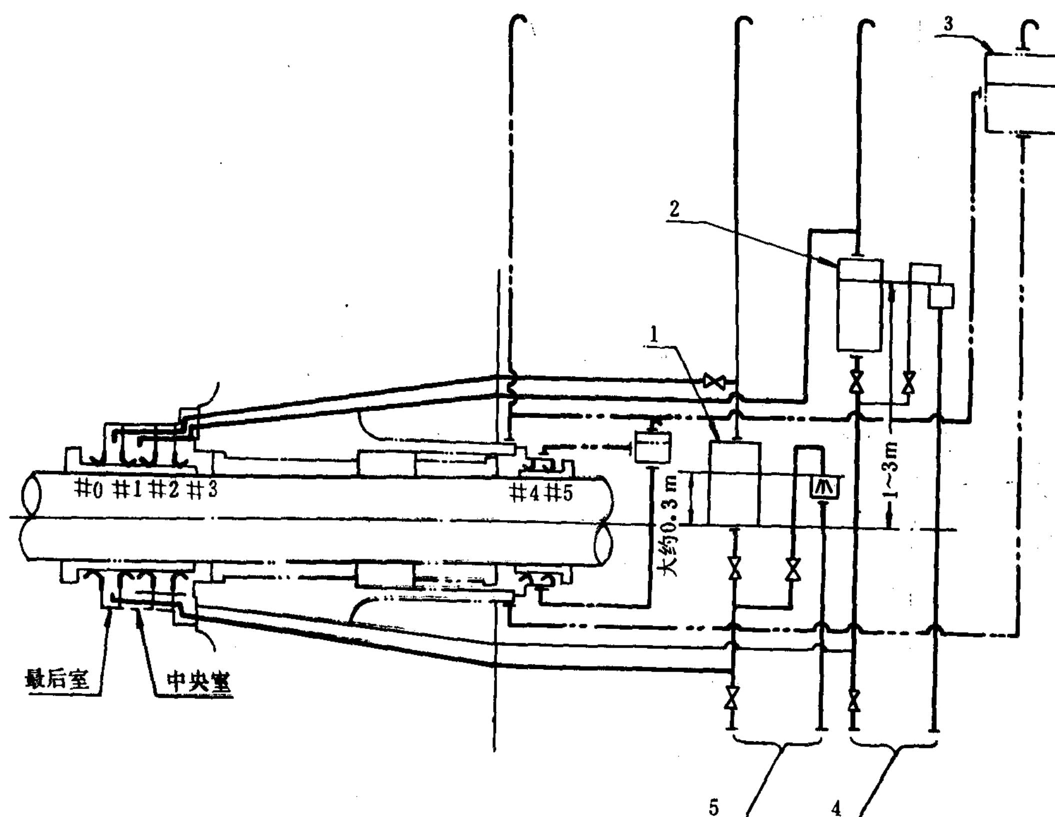


图 6.2.1—56 集油式尾管密封装置润滑系统

1—最后室润滑油箱;2—中央室润滑油箱;3—尾管润滑油箱;4—中央室集油管道;5—最后室集油管道

(1)当 3 号密封环发生故障时,滑油即自 1 号和 2 号密封环之间溢出,收集到船内。

(2)当 1 号密封环发生故障时,滑油即自 0 号和 1 号密封环之间溢出,收集到船内。

2)故障检修

集油式尾管密封装置故障检修和检查项目列于表 6.2.1—34。

表 6.2.1—33　　**防磨衬套和密封环制造与换修要求**

部件名称	材料	制造要求	换修要求
防磨衬套	不锈钢钢质镀铬铜	(1)工作面粗糙度0.2～0.8 (2)内外圆同轴度为0.05mm (3)法兰端面与内圆轴心线垂直度为0.10mm/m (4)0.2MPa水压试验合格	(1)凡经修理光车后外圆尺寸小于标准密封环产品要求，应予修换 (2)凡经光车后尚可继续使用，应适当收紧密封环弹簧，增加唇边压力
密封环	丁腈橡胶 氟化橡胶	(1)产品应符合设计要求，应在使用限期内 (2)装配前应仔细检查唇边，应无裂纹、缺口、毛边等缺陷	凡属下列情况则应换新： (1)密封环碎裂损伤 (2)唇边硬化裂纹 (3)唇边较严重磨损 (4)密封环橡胶老化

表 6.2.1—34　　**故障检修与检查项目**

	检查项目	检查周期	不正常	原因	修理
1	尾管轴承或尾管润滑油的温度	每天1次	尾管轴承温度超过70℃或润滑油温度超过60℃	尾管轴承损坏	降低桨轴转速(停泊时换修)
				润滑油变质	滤净或更换润滑油。
2	滤净器	每月1次	出现大量的海水(允许有少量海水)	润滑油系统或油冷却器故障	检修故障的部件
3	尾管内的润滑油油位	每天1次	油位每天降低12L以上	3号密封环损坏或渗进杂物	关闭中央室集油管道或通过中央室集油管道收集润滑油
4	尾部密封装置中央室的油位	每天1次	不进海水时，油水平每天升高12L以上。		偶尔要更换润滑油，净离混水油如果渗入大量海水，即关闭中央室集油管道
			进海水时，油位上升	O号密封环损坏以及最后室集油管路堵塞	
			油位平每天下降12L以上		
5	尾部密封装置最后室的油位和海水渗进情况	每月1次 (每天1次)*	不进海水时，油位每天上升12L以上	1号密封环损坏或渗进杂物	通过最后室集油管道收集润滑油偶尔要更换润滑油并净离混水油如果大量海水渗入时，即关闭最后室集油管道
			进海水时，油位迅速升高(进少量海水时，并非不正常)	0号密封环损坏或渗进杂物	
6	尾管润滑油	每天1次	尾管出现大量的海水(允许出现少量海水)	0号及2号密封环损坏	偶尔要抽除尾管内的海水
7	首部密封装置的油位	每天1次	油位每天上升12L以上	4号密封环损坏或渗进杂物	用5号密封环暂时关闭首部尾管密封装置之油管路，检除杂物或更新密封环
8	首部密封装置的油温或铸件温度		油温度于90℃或铸件温度高于85℃	尾管轴承损坏	降低桨轴转速(停泊时更换或修理尾管轴承)

注：两集油管道关闭时，如有大量海水渗入最后室和中央室，每天检查一次。否则每月检查一次。

5.4.4 新型尾管密封装置

该密封装置的结构与图6.2.1—54所示装置基本相同。

该新型密封环具有唇口斜置、双向回流、球鼻形头部等结构特点。通过实船试验，该密封环具有以下优点：

1)漏油率低，约 0.5～3.5g/h；

2)磨损小，摩擦扭矩比一般密封环小 30%；

3)寿命长，使用寿命达 4 年以上。

此密封装置已获中国专利，专利号 85204243。

5.4.5 端面密封装置

图 6.2.1—57 为机械式端面密封装置。

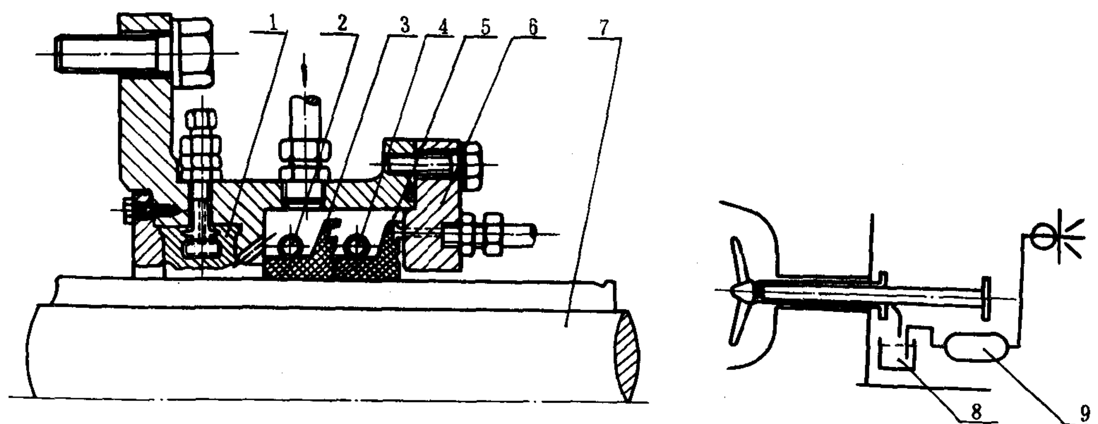


图 6.2.1—57 端面密封装置

1—气刹胎；2—卡簧；3—备用动环；4—卡簧；5—动环；6—静环；7—螺旋桨轴；8—集水柜；9—泵

该密封装置主要用于尾管首部密封。在机舱中单独设置专门的集水柜，把从轴封漏入的水收集后排至舷外，避免与舱底水混合。

5.4.6. 深水型弹性环式端面密封装置。

图 6.2.1—58 为深水型弹性环式端面密封装置。图 a)为水润滑尾管轴承首部密封装置；图 b)为油润滑尾管轴承尾部密封装置；图 c)为油润滑尾管轴承首部密封装置。

图中“Ω”形弹性环对静环与动环起预紧作用，端面比压初始为 0.1～0.11MPa，随吃水深度增加，弹性环会自动进行压力调节，对轴向窜动和磨损补偿量为±4mm。

主要部件材料：

1)弹性环　　蒙乃尔合金

2)动环　　耐磨镍合金

3)静环　　MANETEX Ⅰ塑料

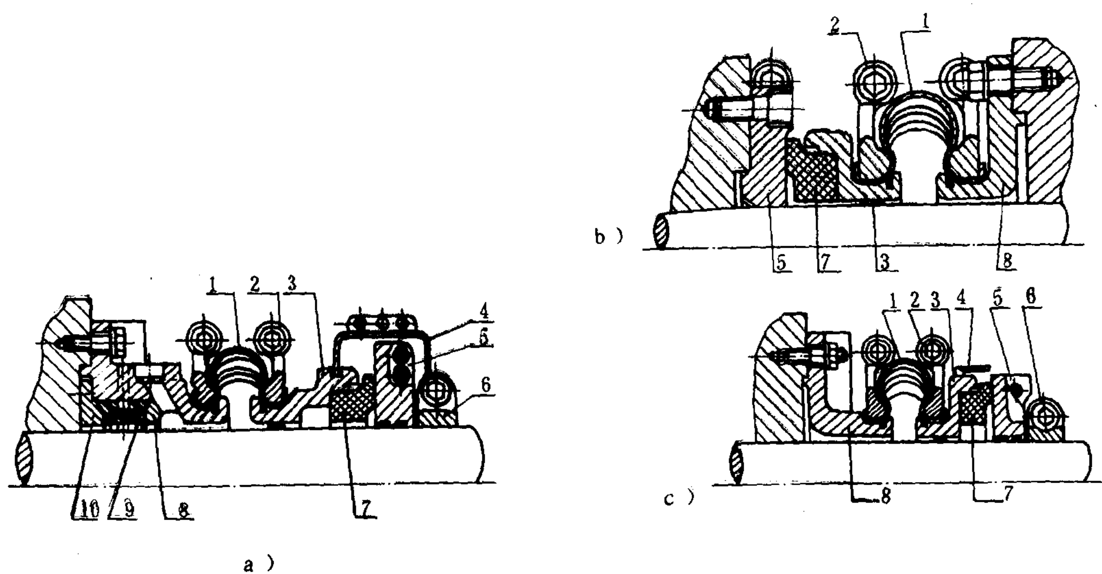


图 6.2.1—58　深水型弹性环式端面密封装置

1—弹性环；2—主卡环；3—滑动架；4—挡板；5—动环；6—驱动卡环；7—静环；8—固定环；9—气刹胎；10—附加环

5.4.7　端面密封——唇口密封组合装置。

该装置为深水型密封装置，它将弹性环端面密封和唇口密封组合使用，防止滑油外漏，如图 6.2.1—59 所示。

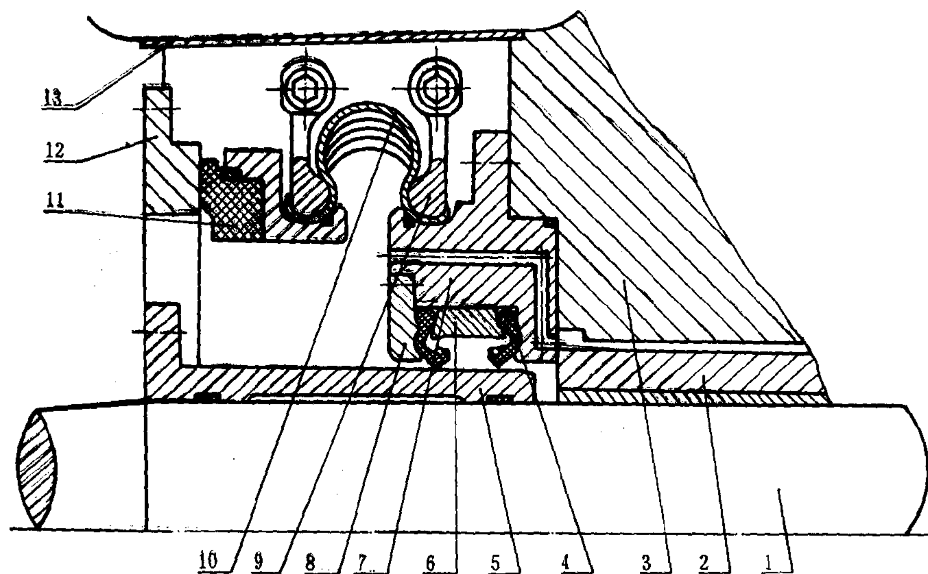


图 6.2.1—59　端面密封——唇口密封组合装置

1—螺旋桨轴；2—尾管轴承衬套；3—尾柱；4—唇口密封环；5—耐磨衬套；6—隔离环；7—固定环；8—压板；9—主卡环；10—弹性环；11—静环；12—动环；13—防护罩

5.5　尾管装置的润滑

5.5.1　尾管装置的润滑油系统

1)润滑油系统型式

(1)重力式自然循环润滑油系统

如图 6.2.1—60 所示。

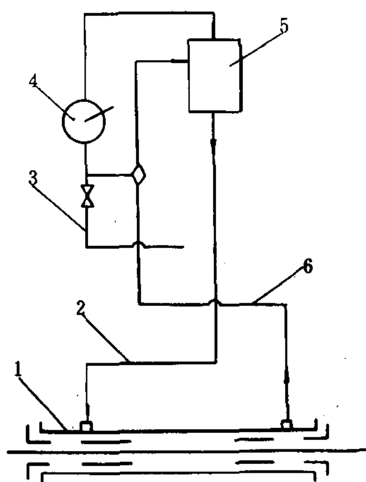


图 6.2.1—60 自然循环润滑油系统

1—尾轴管装置；2—进油管；3—补给油管；4—手摇泵；5—重力油柜；6—回油管

(2)间歇循环润滑油系统

如图 6.2.1—61 所示。

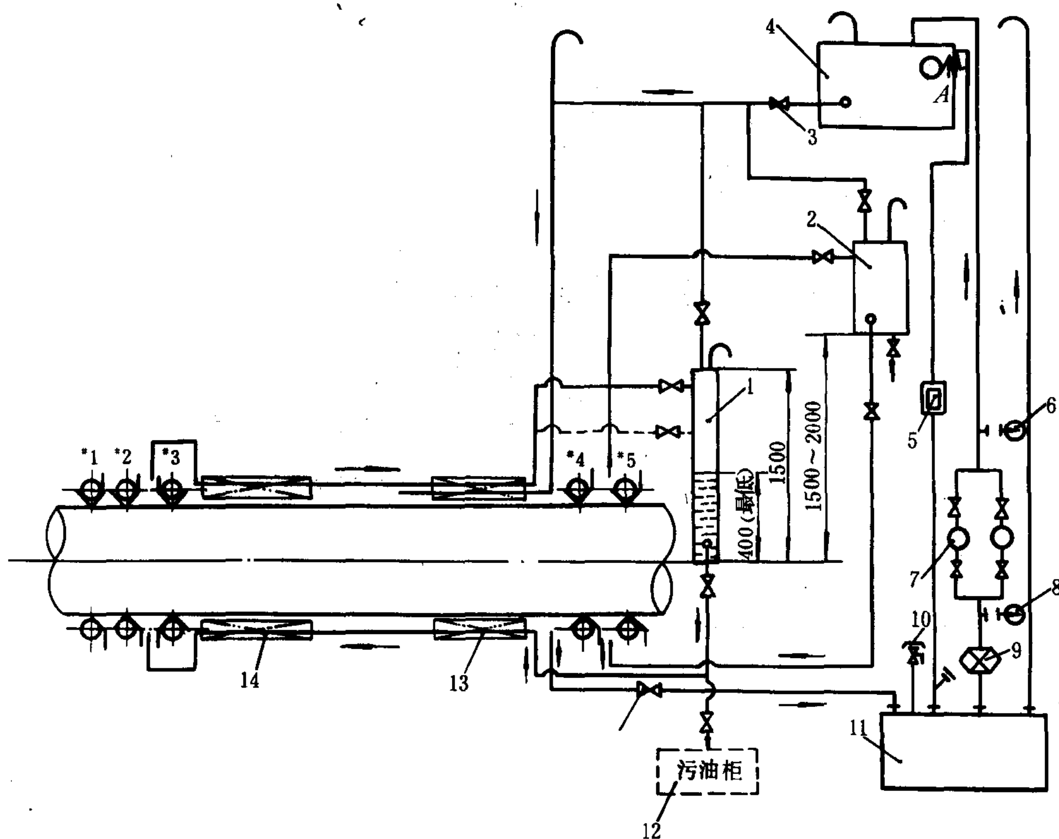


图 6.2.1—61 间歇循环润滑油系统

1—后密封油柜；2—前密封油柜；3—截止阀；4—重力油柜；5—视流器；6—压力表；7—循环油泵；8—真空表；9—过滤器；10—测深自闭旋塞；11—下油柜；12—污油柜；13—前尾轴承；14—后尾轴承

(3)强制循环润滑油系统

如图 6.2.1—62 所示。

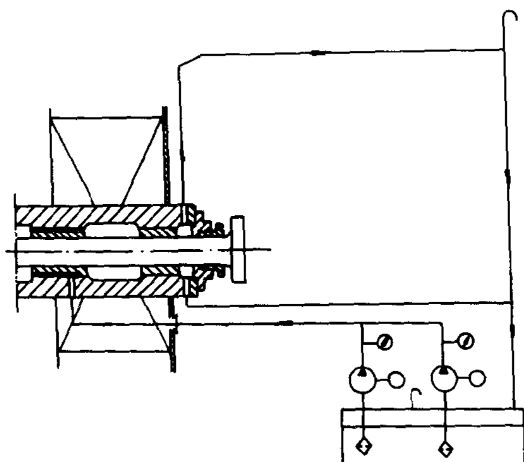


图 6.2.1—62 强制循环润滑油系统

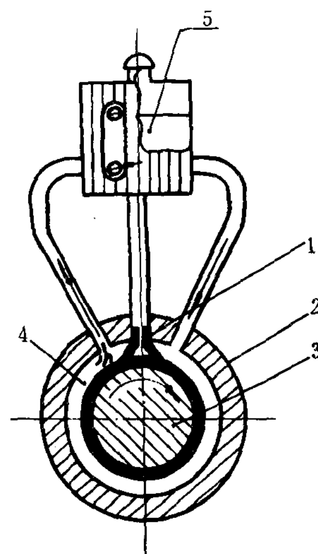


图 6.2.1—63 装循环器的润滑油自循环系统

1—循环器;2—中间支承环;3—螺旋桨轴;

4—润滑油;5—低位循环油箱

2)供油压力

通常供油压力为:船舶吃水压力+(0.02～0.03)MP_a。

5.5.2 润滑油循环器

如图 6.2.1—63 所示,在皮碗式首部密封油腔装循环器,形成润滑油自循环系统,润滑和冷却密封环唇口。

图 6.2.1—64 所示曲线为 KSL950 型及 HDW800/330 型循环器的循环油量与轴的圆周速度的关系。

循环器油箱的液位距轴心线的高度约 400～500mm。

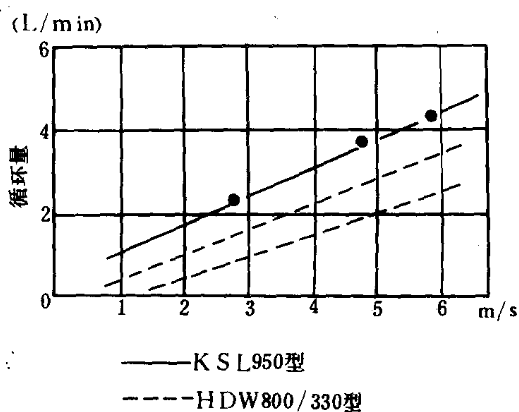


图 6.2.1—64 循环油量与轴的圆周速度关系

5.6 尾管装置的保养和维修

5.6.1 尾管装置的保养

1)水润滑尾轴承,首部采用填料函密封装置时,在开航前应适当松开填料压盖,保持良好润滑,停航时应将填料压盖压紧,防止海水漏入舱内。

2)油润滑尾轴承,航行时应定时、定量向填料函密封装置加注润滑油。

3)采用重力式油润滑的尾轴承,应经常保持油箱内的油面在规定的高度。

5.6.2 尾管装置的维修

正常航行时，通常每隔3年必须在坞内进行拆检。

1.尾轴承

(1)在坞修中，拆下密封装置和螺旋桨后，用200mm以上长塞尺测量螺旋桨轴或尾管轴与前尾轴承间上、下、左、右四个部位的径向间隙。正常情况下，下部间隙应等于零，上部间隙应小于极限间隙，左、右两侧间隙应各小于极限间隙的40%～60%。

(2)不同材料的尾轴承极限间隙，见表6.2.1—26。

(3)尾轴承故障及修理，见表6.2.1—35。

2)尾管

(1)尾管的故障及修理，见表6.2.1—36。

(2)就地偏心镗削尾管时，安装衬套部位的最薄壁厚不得小于新制最小值的80%。

3)尾管密封装置

表6.2.1—35 **尾轴承的故障与修理**

项目	故障	修理
白合金尾轴承	1.超过极限间隙	重新浇注白合金
	2.裂纹、烧熔、擦痕、剥落及局部过度磨损	修补或重新浇注
	3.轻度擦痕	就地修光
铁梨木及层压板尾轴承	1.超过极限间隙，而板条厚度在允许范围	板条背部衬以整张铜皮，或轴套换新(新制轴套的厚度应为原设计厚度的1.25倍)
	2.部分板条松弛	板条之间垫薄铜皮
	3.全部板条松弛干裂严重	板条全部换新
	4.板条磨损到极限厚度	换新
	5.部分板条严重裂纹和开裂	板条局部换新
	6.轴线变化	偏心镗削尾轴承，最薄处板条的厚度应满足表6.2.1—31规定的新制最小厚度值
橡胶尾轴承	1.超过极限间隙	应予更换
	2.橡胶老化或脱壳严重	应予更换
	3.板条式橡胶轴承间隙增大，但未超过极限间隙	上下板条对换使用

表6.2.1—36 **尾管的故障与修理**

部件	故障	修理
尾管	1.裂纹、局部渗漏	焊补或填补塑料，修补后应作0.2MPa水压试验
	2.局部腐蚀或凹陷(深度不超过该处壁厚的1/2，直径不大于外径的1/6)	堆焊修理，但修补处不得多于3处
	3.钢质尾管中部局部锈蚀(直径小于外径的1/3)	切掉锈蚀部分，焊补外复板，但仅限1处修补

(1)填料函式密封装置的填料磨损过大时，应及时更换填料。填料装配要求参照本章5.4.1。

(2)皮碗式密封装置在坞修时，一般只需换新密封环(按表 6.2.1—33)。防蚀衬套的磨损量未超过规定值时，可将其外圆车小继续使用；

超过规定值时，防蚀衬套应换新。防蚀衬套通常可以使用 2 次坞修期的时间。

6 隔舱填料函

6.1 一 般 要 求

1)在传动轴通过隔舱填料函时，不论轴系转动与否，应能承受一定的水压不发生泄漏。

2)拆装方便，能在舱壁的一侧调整其松紧。

3)外形尺寸小，结构简单，重量轻。

4)正常工作温度不应超过 60℃。

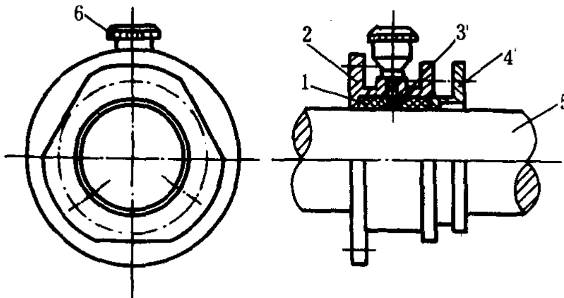


图 6.2.1—65 整体式隔舱填料函

1—填料；2—填料函本体；3—分油环；4—填料函压盖；5—轴；6—油杯

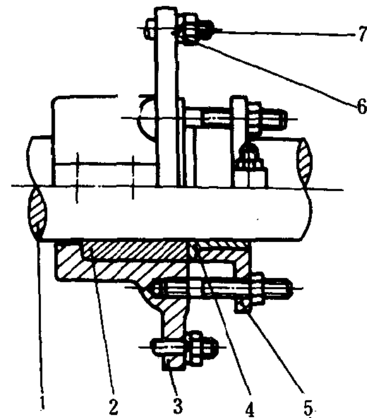


图 6.2.1—66 正圆型剖分式隔舱填料函

1—中间轴；2—填料；3—填料函本体；4—填料压衬；5—压盖；6—垫圈；7—螺栓

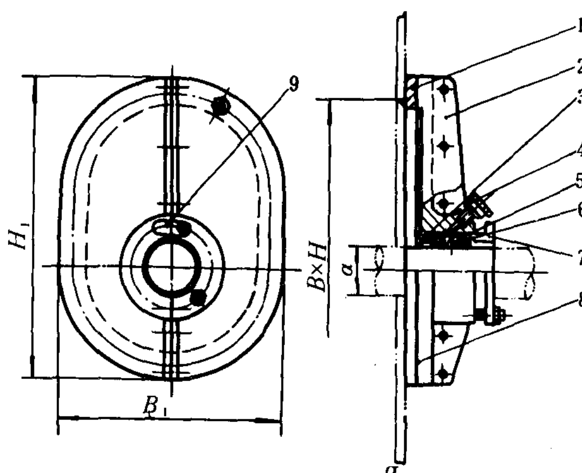


图 6.2.1—67 椭圆形隔舱填料函

1—座板；2—填料函本体；3—填料座；4—油杯；5—分油环；6—填料；7—填料压盖；8—垫片；9—连接板

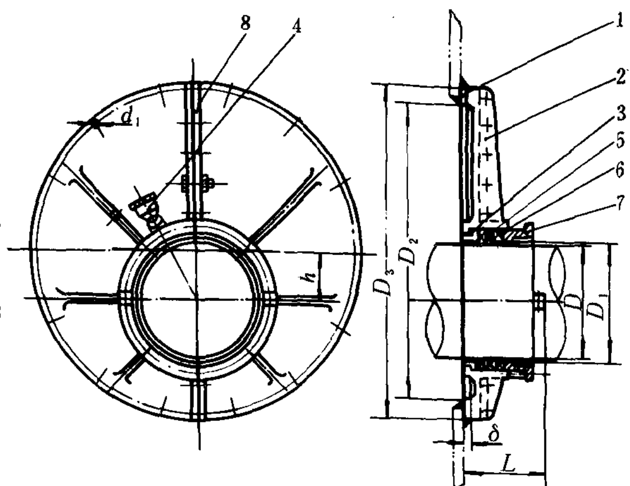


图 6.2.1—68 正圆偏心式隔舱填料函

1—座板；2—填料函本体；3—填料函座；4—分油环；5—填料；6—填料；7—填料压盖；8—夹紧凸缘。

6.2 结构型式

6.2.1 整体式隔舱填料函

如图 6.2.1—65 所示。主要用于轴端有分离式联轴器轴系的快艇及小型船舶。

6.2.2 剖分式隔舱填料函

1)正圆型剖分式隔舱填料函(见图 6.2.1—66);

2)椭圆形隔舱填料函(见图 6.2.1—67);

3)正圆偏心式隔舱填料函(见图 6.2.1—68)。

6.3 技术要求

6.3.1 主要零部件的加工要求

1)正圆形隔舱填料函零件内外圆应同心,同轴度为 0.10mm;各端面与内孔轴心线垂直度为 0.20mm/m。

2)剖分式填料函本体与压盖,剖分平面应位于轴孔轴心线上,偏差小于 0.20mm,两接合面间 80%以上,应接触良好,0.05mm 塞尺插不进。

3)相配两半的接合面,应该用不少于 2 只精密螺钉或定位销定位。

4)填料函各部分装配间隙参照表 4.2.1—32 的数值。

6.3.2 装配要求

1)隔舱座板平面应光洁,应与轴系中心线垂直,允许用中间垫片来校正垂直度,垂直度为 0·50mm/m。

2)座板厚度应足以座入双头螺栓,内河船舶允许采用贯穿螺栓连接,但螺栓应加装防漏敷料后装配。

3)填料函本体装于隔舱壁上时,应在接合面间衬以涂红粉白漆帆布垫。

4)装配填料及压盖时,应按本章 5.4.1 中的有关要求。

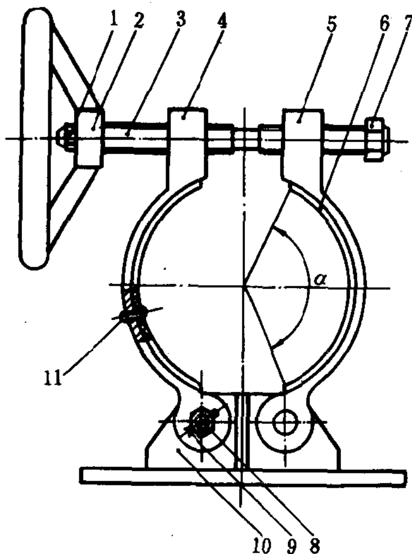


图 6.2.1—69 箍式手动制动器

1—螺母;2—手轮;3—螺杆;4—制动环;5—制动环;6—制动带;7—螺母;8—螺栓;9—开口销;10—支座;11—铆钉

7 轴系制动器

7.1 制动器的功用

制动器的功用即把传动轴刹住,使其保持静止状态。

对于下列情况将使用制动器:

1)船舶在航行或在急流中必须修理主机、离合器、齿轮箱或推力轴承等零、部件时;

2)河船锚泊于急流河道;

3)机动船舶被其它船舶拖带航行;

4)多轴系装置船舶只利用部分轴系工作,而其它轴系需停止转动时;

5)航行船舶遇紧急情况或必须加快实现倒车时。

7.2 制动器的结构

7.2.1 箍式手动制动器(见图 6.2.1—69)

7.2.2 气动制动器(见图 6.2.1—70)

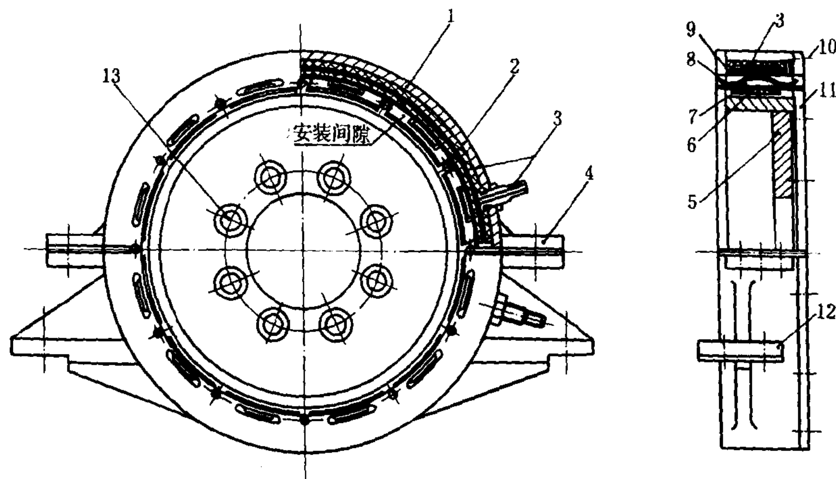


图 6.2.1—70 气动制动器

1—刹车外壳;2—撑柱;3—气胎及进气管接头;4—连接座板;5—刹车飞轮;6—制动带;7—刹车压板;8—弹簧板;9—中间垫板;10—螺栓;11—端盖;12—支座;13—连接孔

7.3 制动力矩

制动力矩 M_s 按下式估算

$$M_s = 0.05\rho \frac{A}{A_d} \cdot \frac{H_p}{D_p} \cdot D_p^3 \cdot V^2 \quad N \cdot m \tag{6.2.1—37}$$

式中: ρ ——水的密度,海水:1020 $N \cdot S^2/m^4$

河水:980 $N \cdot s^2/m^4$

A/A_d ——螺旋桨盘面比;

H_p/D_p ——螺旋桨螺距比;

D_p ——螺旋桨直径,m;

V ——制动器工作时舰船最大航速,m/s。

7.4 制动器的计算

7.4.1 箍式制动器

1)制动力

制动带与轴(或联轴器法兰)外圆面接触时的制动力 F_s:

$$F_s = \frac{2M_s \cdot 1000}{D_s} \quad N \tag{6.2.1—38}$$

式中: M_s——制动力矩,按式(6.2.1—37)计算 N·M;

D_s——轴或法兰外圆直径,mm。

2)正压力

制动带在轴或法兰上的正压力 p_s

$$p_s=\frac{F_s}{f} \quad N \tag{6.2.1—39}$$

式中：f——摩擦系数：

对于钢带与轴或法兰 f=0.15～0.18；

对于石棉带与轴或法兰，f=0.32～0.35；

对于橡胶石棉带与轴或法兰，f=0.4～0.44。

作用在一对摩擦副上的正压力为 $p_s/2$。

3)平均单位压力

制动带表面平均单位压力 p：

$$p=360\times10^3\frac{M_s}{D_s^2 b_s \pi f \alpha} \quad MPa \tag{6.2.1—40}$$

式中：b_s——制动带的宽度 mm；

α ——箍的接触角，取 α=120°

4)许用压力值

箍式制动器的许用压力值[p]：

[p]=(4～6)MPa

7.4.2 气动制动器

制动带对刹车飞轮外圆面所产生的正压力 p_s：

$$p_s=2\pi R\cdot B\cdot C(p_2-p_1) \quad N \tag{6.2.1—41}$$

式中：R——刹车飞轮半径，mm；

B——制动带宽度，mm；

C——有效接触系数，取 0.9；

p_2——贮气瓶空气压力，取(0.7～1)MPa；

p_1——制动带与刹车飞轮外圆面间接触时所需的气压，取(0.03～0.07)MPa。

摩擦力矩 M_m：

$$M_m=p_s\cdot f\cdot R\times10^{-3} \quad N\cdot m \tag{6.2.1—42}$$

且要求

$$M_m\geqslant M_s$$

8 轴系传动效率

轴系传动效率见表 6.2.1—37。

表 6.2.1—37 **轴系传动效率**

序号	传动装置型式	传动效率
1	直接传动与调距桨	取 1
2	齿轮减速器	0.94～0.98
3	液力或气压离合器	0.94～0.96
4	液力偶合器	0.96～0.98
5	电力传动	0.81～0.92

9　轴系负荷及应力的确定和检验

9.1　轴承负荷的限制

为确保船舶轴系运转的可靠性，对于支承轴系各种轴承上的负荷应予以限制，即规定允许负荷的范围，作为评价轴系校中质量的主要指标和检验的依据。

9.1.1　轴承受力分析

轴系运转时，轴承承受正向(垂直向下)负荷、水平方向负荷、反向(向上)负荷和由于轴在轴承中倾斜时产生的"边缘负荷"。实验证明，用油或水润滑的滑动轴承，能承受高于设计负荷的正向均匀负荷；若承受反向负荷或过大的水平负荷、边缘负荷，则会破坏轴承的正常工作状态，加剧轴承的振动。

9.1.2　对负荷限制的基本要求

对轴承负荷及全轴系负荷分配的基本要求为：

1)轴承衬上的压强应符合规定；

2)轴承必须承受正向负荷，不允许承受反向负荷、过小的正向负荷或脱空；

3)轴承应不承受水平负荷，或将水平负荷减到最小程度；

4)全轴系各个轴承上的负荷应尽可能地均匀分配。

9.1.3　轴承允许负荷的规定

9.1.3.1　最大允许负荷

对于油润滑轴承，轴承衬上的最大允许负荷可按下式计算[20]：

$$[R_{max}]\leqslant[p]\cdot d_s\cdot l \qquad (6.2.1—43)$$

式中：$[R_{max}]$——最大允许负荷，N；

$[p]$——轴承衬材料的允许压强，MPa；

d_s——轴颈外径，cm；

l——轴承衬有效长度，cm。

对轴承衬的允许压强，一般规定如下：

白合金尾轴管轴承：$[p]\leqslant0.5$MPa；

铁梨木尾轴管轴承：$[p]\leqslant0.3$MPa；

桦木层压板尾轴管轴承：$[p]\leqslant0.4$MPa；

白合金中间轴承：$[p]\leqslant0.6$MPa；

推力轴支撑轴承：$[p]\leqslant2.8$MPa；

齿轮箱大齿轮轴轴承：$[p]\leqslant1.0$MPa。

9.1.3.2　最小允许负荷

轴承衬上的最小允许负荷按下式计算[20]：

$$[R_{min}]\geqslant(Q_{前}+Q_{后}+\Sigma P)\times20\% \qquad (6.2.1—44)$$

式中：$[R_{min}]$——轴承上最小允许负荷，N；

$Q_{前}$、$Q_{后}$——该轴承前、后两跨轴的自重，N；

ΣP——该轴承前、后两跨轴上外载荷之和，N。

9.1.3.3　最大允许水平负荷

轴承上最大允许水平负荷，可取为最大允许垂直负荷的 25%[21]。

9.1.3.4 轴承间的允许负荷差

轴系有关轴承之间的负荷差，应作如下限制：

1）推力轴前后两个支撑轴承上的负荷应尽可能地相等，允许的负荷差一般应小于此两轴承跨距间轴及推力盘重量和的 20%。

2）齿轮箱大齿轮轴前后两个轴承上的负荷应尽可能相等，允许的负荷差应符合制造厂家的规定；如无规定时，允许的负荷差一般应小于大齿轴及大齿轮重量和的 20%。

9.2 轴颈倾斜度的限制

为保证尾轴或螺旋桨轴轴颈与轴承衬良好贴合，尽可能地减少边缘负荷，对轴颈在轴承中的允许倾斜度（截面转角）规定如下：

$$[\theta_{max}] \leqslant 3\times 10^{-4} \qquad (6.2.1—45)$$

式中：$[\theta_{max}]$——最大允许转角，°。

对于长江及内河船舶，因尾轴的韧性较大，最大允许转角可比公式（6.2.1—45）计算值大 50%。

9.3 轴上弯曲应力的限制

轴系在自重和外力作用下会产生弹性弯曲，在安装时由于各个轴承不同轴，亦会产生弹性弯曲，在轴上造成弯曲应力。过大的弯曲应力会造成轴的损伤，应予限制。根据船舶建造规范和船厂资料，对轴系任一截面上的最大弯曲应力规定如下[3]：

螺旋桨轴：$[\sigma_p]\leqslant 19.6$MPa；

尾轴：$[\sigma_t]\leqslant 19.6$MPa；

中间轴：$[\sigma_i]\leqslant 19.6$MPa；

推力轴：$[\sigma_m]\leqslant 15.0$MPa；

大齿轮轴：$[\sigma_G]\leqslant 10.0$MPa；

对于低速大功率柴油机，其功率输出轴连接法兰上允许的弯矩及剪力，应符合制造厂的规定。

9.4 轴承负荷计算方法

轴系用多个轴承支撑，由于轴承间的跨距不等，以及各轴承所处的位置不同，故各轴承上的负荷不相等；但轴承上所承受的总负荷，应等于轴系轴的自重和外力之和。

各种轴承上的负荷计算是静态计算，计算方法较多。

9.4.1 平均设计负荷计算法[21]

此算法适于计算中间轴承上的平均负荷。计算时，认为中间轴系的自重及其上的外载荷，由支承此中间轴系的各轴承平均负担，即：

$$p=\frac{Q}{n} \qquad (6.2.1—46)$$

式中：p ——中间轴承上的平均设计负荷，N；

Q——中间轴系的自重及其上外载荷之和，N；

n ——中间轴承数。

9.4.2 力矩分配计算法[23]

力矩分配法属于位移法类型的一种渐近计算法。应用此法计算轴系负荷时，将轴系视为受均布载荷的连续梁，按各支承的位置将梁划分为若干个节点。因连续梁在载荷的作用下，会产生弯曲变形，在节点上则产生不平衡力矩。求出各节点上的不平衡力矩，并算出各节点的分配系数，加上外力矩，进行力矩重新分配(分配力矩等于分配系数乘以不平衡力矩)。力矩分配重复进行多次，直至各节点上的力矩完全平衡为止。此时将各节点每边的弯矩相加，其代数和即所求的弯矩总和。由所求得的各节点上的弯矩，则可求出各节点上的支反力(轴承负荷)。

9.4.3 三弯矩计算法[22]

三弯矩法属于一种力的求解方法。应用此法计算轴承负荷时，将轴系视为放置在多个刚铰支上的连续梁，并按各支承位置、外力作用点，及梁截面有变化处等处，将梁划分为若干节点。应用三弯矩理论列出一组线性方程。求解此线性方程组，可求出各节点上的弯矩及挠度，进而求出各支承上的支反力(轴承负荷)。此算法是目前计算轴系负荷、应力、支承合理位移等应用较多的一种算法，将在本章 10.3 节中较详细地介绍。

9.4.4 迁移矩阵计算法[22]

迁移矩阵算法是适于用电子计算机的一种数值解法。应用此法进行轴承负荷计算时，将轴系视为一系列弹性部件(元件)的链状结合，将其结合点(即节点)作为考察点，列出结合点处的状态矢量：弯矩、挠度、转角、反力。再应用弹性系统各部件之间的传递关系，列出迁移矩阵，并利用弹性系统各部件之间的边界条件，求解各结合点上的矢量值。

9.4.5 有限元计算法[22]

有限元算法是应用有限元算法中的位移法求解的一种方法。应用此法计算轴承负荷时，亦将轴系视为连续梁，划分为若干个有限梁段，每一梁段称为一个单元，各单元的连接点称为节点。先用位移法求解各节点上的位移，再按节点上的位移求出各节点上的剪力、弯矩、支反力(轴承负荷)。

9.5 轴承负荷的检验

9.5.1 轴承实际负荷的测量

船舶轴系在校中时，或在安装后，对应检验实际负荷的轴承，进行实际负荷测量，作为轴系校中质量检验的依据。

9.5.2 弹簧测力计测量负荷法

适用场合：

1)校中时测量尚未紧固的中间轴承的垂直及水平负荷；

2)测量尚未紧固的推力轴承或齿轮箱的负荷。

9.5.2.1 弹簧测力计的结构及测力原理

有碟形弹簧测力计及环形弹簧测力计两种，前者较常用，其结构见图 6.2.1—71。

测力时，将测力计装在中间轴承的螺栓孔中，并在测力计壳体下端拧上调力搬手。轴承的负荷作用在测力计壳体上，壳体通过一组碟形弹簧与顶杆相连，顶杆下端支撑在轴承基座上，顶杆上端与紧固在壳体上的百分表量头接触。轴承上的负荷通过壳体使碟形弹簧压缩，弹簧变形度与轴承负荷大小成正比，而弹簧变形度可由百分表测出，即由预先标定的百分表读数，以确定轴承实际负荷大小。

9.5.2.2 测力计在轴承上安装

用弹簧测力计测轴承负荷时，轴系已全部连接好，并用中间轴承支持，但轴承尚未与基座固紧。在每个中间轴承上对称地装两个测力计，在另外的两个螺栓孔中对称地装两个调节螺栓，见图 6.2.1—72 。测力时，用调节螺栓可调整轴承的位置，松开调节螺栓，则测力计承受轴承负荷。

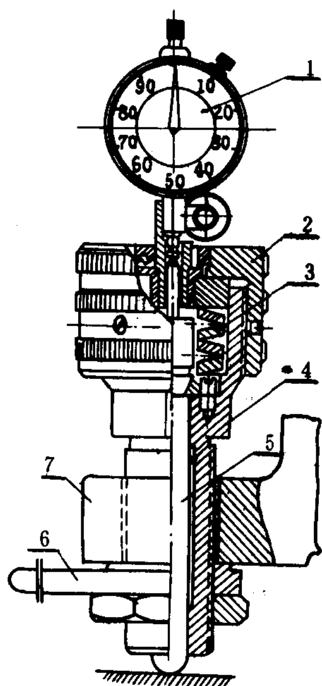


图 6.2.1—71　碟形弹簧测力计

1—百分表；2—压盖；3—碟形弹簧组；4—壳体；5—顶杆；6—调力搬手；7—中间轴承

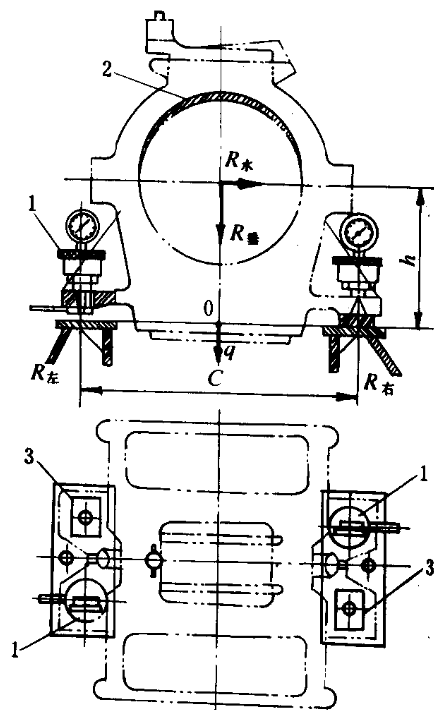


图 6.2.1 —72　测力计在轴承上安装

1—测力计；2—软垫片；3—调节螺栓

9.5.3 电子测力计测量负荷法

电子测力计由压力传感器和数字式称重仪组成。压力传感器是测力计的受力元件，其结构见图 6.2.1—73 a)。传感器本体是一个类似车轮的弹性体，在其轮幅的中性面上粘贴电阻。应变片，并接成全桥电路，见图 6.2.1—73b)。测力时，轮 幅上产生与外力大小成正比的切应力，其上的应变片则感受应变，电桥失去平衡，输出电讯号 Δu 。由数字称重仪完成模数变换，得出传感器受力的数值。

校中测力时，将传感安装在被测轴承下面，此时轴承与基座尚未紧固，并用调节螺栓支撑。传感器在轴承下有两种安装方式：1)在轴承下对称地装 2 个传感器，如图 6.2.1—74a)；2)在轴承一侧下面装 1 个传感器，另一侧用 2 个调节螺栓支撑，如图 6.2.1—74b) 。采用后种方式安装传感器时，应保证传感器支点与调节螺栓支点至轴承纵中剖面的距离相等。($l_1=l_2$)，以免影响测量精度。

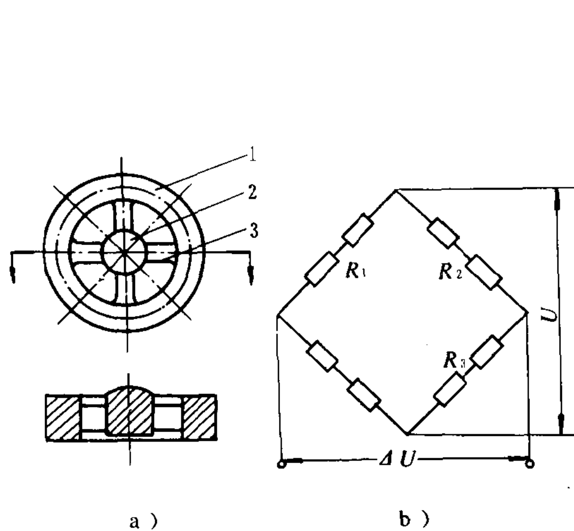


图 6.2.1—73　GYL—2 型压力传感器结构及其电桥接线

1—轮箍；2—轮毂；3—轮幅

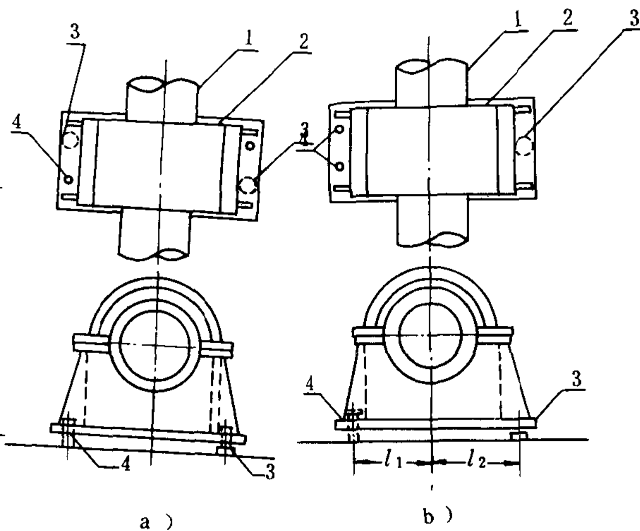


图 6.2.1—74　压力传感器在被测轴承下的安装

1—中间轴；2—中间轴承；3—压力传感器；4—调节螺栓

9.5.4　液压千斤顶顶举测负荷法

此法简称顶举法，是一种较新的测量轴承实际负荷的方法。由于使用设备简单、操作方便，已为国内许多船厂采用。

9.5.4.1　顶举法测负荷原理

采用顶举法测量轴承负荷时，要被测轴承附近安放 1 个液压千斤顶，用它将轴逐步顶起，直到轴颈与轴承完全脱空。在顶起轴过程中，用百分表记录轴的升高量，并同时记下千斤顶与升高量相对应的负荷值，绘制顶举曲线，见图 6.2.1—75，以求得用千斤顶代替被测轴承千斤顶的负荷，此负荷乘以顶举系数，即可求得被测轴承上的实际负荷。

顶举时，千斤顶应尽可能地靠近被测轴承。

9.5.4.2　千斤顶负荷的确定

1)绘制顶举曲线。按顶举时所记录的轴的位移及相应的千斤顶负荷，可绘制如图 4.2.1—75 所示的曲线。图中，oab 为泵油顶升轴阶段，cdo 为泄油轴下降阶段。曲线 oab 及 cdo 均由一段曲线及一段直线组成。曲线 oa 表示从轴顶起到与轴承脱空的过程，do 表示轴颈下降时从开始与轴承接触到千斤顶负荷为零的过程。直线 ab 及 cd 是在被测轴承脱空情况下轴颈继续上升及开始下降直到与轴承开始接触的过程，这两段直线真实地反映出千斤顶负荷与轴颈位移之间的线性关系。

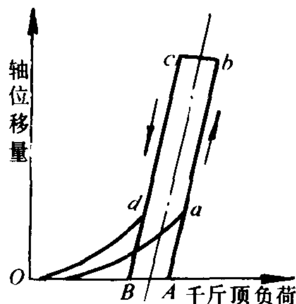


图 6.2.1—75　顶举曲线

2)千斤顶负荷 R_{oj}的确定。R_{oj}系被测轴承保持原位(位移为零)时，用千斤顶代替被测轴承支撑轴系时的负荷。由顶举曲线可求得 R_{oj}：向下延长直线段与横座标轴相交，其交点 A、B (见图 6.2.1—75)即为轴颈位移为零时用千斤顶代替被测轴承时的负荷 R_A' · R_B'千斤顶负荷 R_{oj}取其平均值，即：

$$R_{oj}=\frac{R_A'+R_B'}{2} \qquad (6.2.1—47)$$

式中：R_{oj}——千斤顶负荷，N。

9.5.4.3 轴承实际负荷计算

被测轴承的实际负荷 R_B，可按下式计算：

$$R_B=K\cdot R_{cj} \quad N \qquad (6.2.1—48)$$

式中：K——被测轴承负荷顶举系数，由轴承负荷影响系数求出，详见本章（10.3.3.2）。

9.6 轴颈应力的检验

9.6.1 应变片测点的选择及粘贴

轴颈应力常用在轴颈上粘贴电阻应变片测量。在测点上粘贴应变片，测点应选择轴系上有较大集中力处或轴承附近。贴片时必须严格保证质量。应变片常用 502 胶水粘贴在轴颈上后，并用防潮胶或蜡封好以防潮。贴好的应变片与轴表面的绝缘电阻应大于 200MΩ

9.6.2 应变片接桥方式

轴系每一测点上粘贴应变片的数量及位置，均与接桥方式有关。接桥方式有：

1）单片半桥接线法，见图 6.2.1—76a）。

此时，须粘贴 1 片温度补偿片 R′，以消除环境温度变化的影响。单片半桥接法测量精度低，很少采用。

2）双片半桥接线法，见图 6.2.1—76b）。在测量截面相对称位置上各粘贴了 1 片测量应变片，测得的应变值比单片扩大一倍，两块应变片互作温度补偿片用，测量精度有所提高。

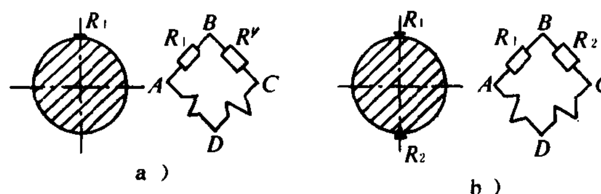


图 6.2.1—76 单、双片接桥法

a）单片半桥接法；b）双片半桥接法

3）四片全桥接线法，见图 6.2.1—77。此接线法四块应变片能起温度自补偿作用，测得的应变值为单片半桥接法的 4 倍。此电桥的一个对角 AB 为输入电压 u，另一对角 CD 为输出端。轴转动后应变片所感受的应变量（应变片电阻值的变化量）表现为输出电讯号 Δu。由于应变量很小，输出电讯号 Δu 通常只有 100～1000uv，故应采用电子放大器将此讯号放大，再由指示表或记录器显示。

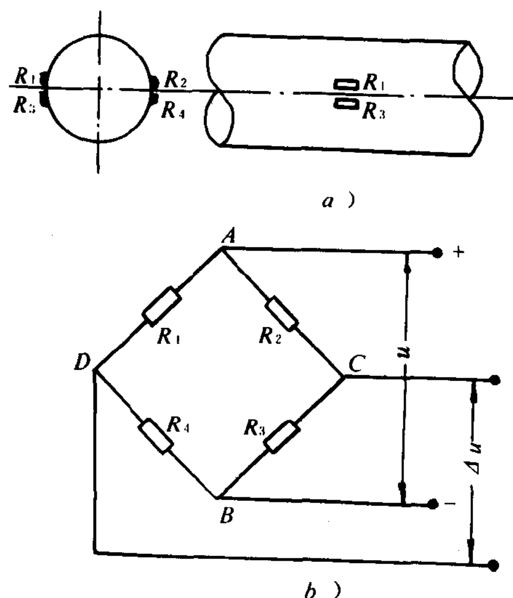


图 6.2.1—77 四片全桥接法

a）应变片粘贴位置；b）应变片接线图

9.6.3 应变量测量过程

在轴系各测点上贴好应变片并用电吹风将粘贴液烘干后，将轴系先后按顺车及倒车各转 2～3 圈，以消除贴片过程中形成的内应力。

应变测量的步骤：

1）转动轴系，使测点的主测量片 R_1（见图 6.2.1—76 及图 6.2.1—77）置于垂直或水平位置；

2）将应变仪各测点调零平衡（此时应变片已与应变仪用导线接好）；

3）将轴顺车转至 90°、180°、270°、360° 并分别测量各测点的应变量；

4)将轴系倒车转至 270°、180°、90°、0°，亦分别测量各测点的应变量。

9.6.4 应变值的计算

由轴系顺、倒车旋转所测得的应变量数值，按下式可计算出测点在垂直或水平方向的应变值：

$$\Sigma_z=\frac{\Sigma_{180^\circ}-\Sigma_{0^\circ}}{2}$$

$$\Sigma_y=\frac{\Sigma_{90^\circ}-\Sigma_{270^\circ}}{2} \qquad (6.2.1\text{—}49)$$

式中： Σ_z ——测点在垂直平面的应变值；

Σ_y ——测点在水平平面的应变值；

Σ_{0°、Σ_{90°、Σ_{180°、Σ_{270° ——分别为主应变片 R_1 位于 0°、90°、180°、及 270°时，所测得应变量的平均值。

9.6.5 测点应力及弯矩的计算：

测点所在截面弯曲应力由下式计算：

$$\sigma=\pm E\Sigma\beta^\circ/A \qquad (6.2.1\text{—}50)$$

测点所在截面的弯矩由下式计算：

$$M=\pm W\sigma=\pm WE\Sigma\beta/A \qquad (6.2.1\text{—}51)$$

式中： σ ——测点弯曲应力，MPa；

M ——测点弯矩，MN · cm；

Σ ——测点的应变值，在 Σ_z 及 Σ_y 中取绝对值大者；

E ——轴材料的弹性模数，MN/cm^2；

W ——轴的截面模数；cm^3；

β ——线路修正系数；

A ——桥臂系数。

10 轴 系 校 中

10.1 轴系校中及其对轴系运转的影响

10.1.1 轴系校中的含义

所谓轴系校中（俗称轴系对中、轴系找正），就是按校中计算的要求和方法，将轴系装成某种状态（直线或曲线），处于这种状态的轴系，其各轴段内的应力和各轴承上的负荷，均应处在允许范围之内，或具有最佳的数值，以保证轴系及与之相连接的机械（如主机曲轴、齿轮箱等）能持续正常地运转。

10.1.2 轴系安装

轴系校中是轴系安装工程中的主要部分。轴系安装工程包括的基本内容及施工顺序，如框图 6.2.1—78 所示。

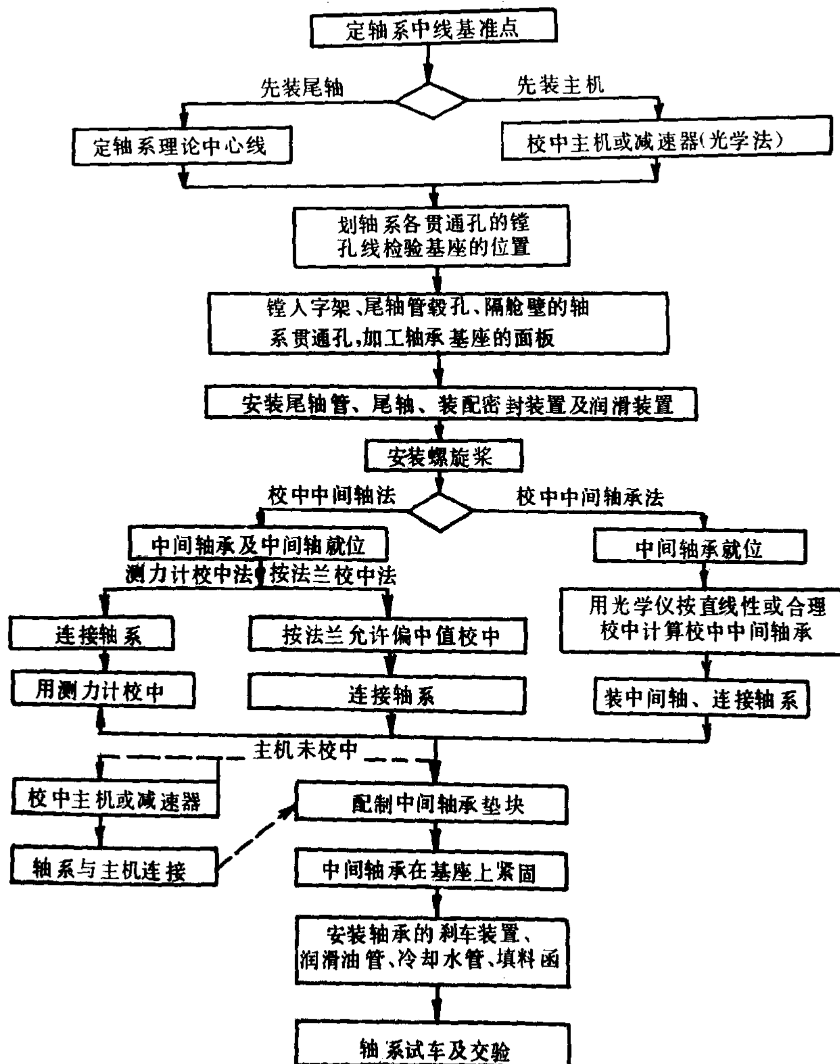


图 6.2.1 78 轴系安装的基本内容及施工顺序框图

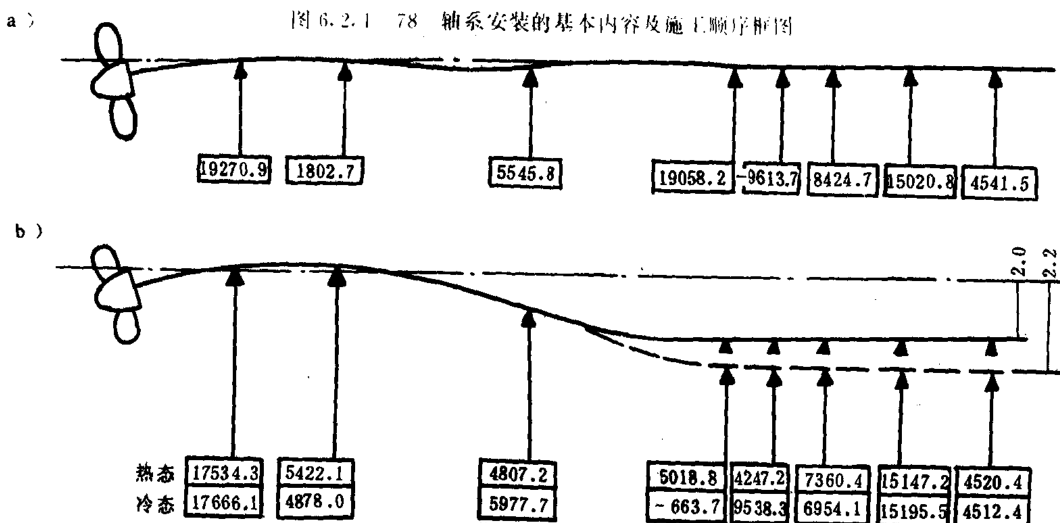


图 6.2.1 79 16000D. W. T. 远洋货轮轴系不同校中状态时轴承上负荷分配

a)直线校中状态;b)合理校中状态

10.1.3 轴系校中质量对轴系及船舶运转的影响

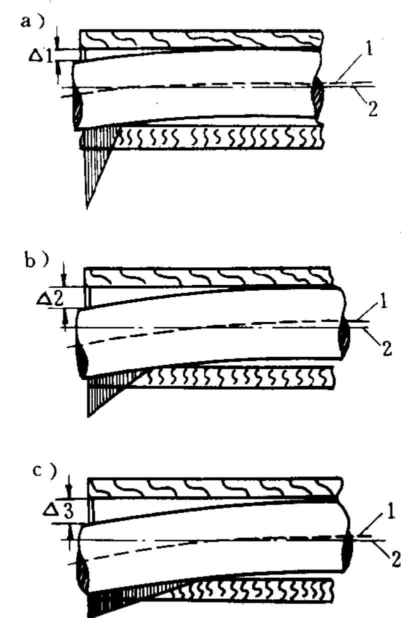


图 6.2.1—80 尾轴管后轴承因边缘负荷产生不均匀磨损失

1）对轴系各轴承上实际负荷的影响

轴系校中状态直接影响全轴系上轴承的负荷分配。图 6.2.1—79 所示为一般国产 16000D. W. T 远洋货轮轴系，在两种不同的校中状态下——直线校中或合理校中时，全轴系上各轴承负荷分配的两种情况。当轴系按直线校中时，各轴承上的负荷分配极不均匀，尾管后轴承负荷很大，尾管前轴承负荷很轻，尤其是第 5 号轴承为反向负荷，即轴瓦上盖受力。当按合理校中时，全轴系上的负荷分配有很大的改善，后轴承负荷下降，前轴承负荷增加，第 5 号轴承由反向负荷变为受正向负荷。

2）对尾轴管后轴承磨损的影响

轴系末端的螺旋桨使尾轴在尾管轴承中成弯曲状态，轴颈与轴承衬沿轴线不均匀地接触，即在尾管后轴承后边缘附近成局部接触，形成“边缘负荷”，造成该轴承局部迅速磨损。同时使尾管尾部密封迅速磨损导致漏油。图 6.2.1—80 所示为一般 12000D. W. T. 货轮尾管后轴承上因“边缘负荷”造成局部磨损的发展情况。磨损造成安装间隙急剧增大。轴系合理校中能减轻后尾轴承的边缘负荷。

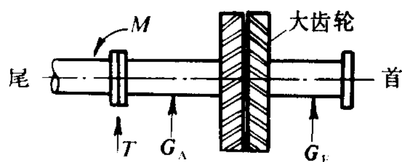


图 6.2.1—81 轴系校中不良时大齿轮前后轴承负荷状况

3）对减速齿轮箱齿轮正常啮合的影响

主机通过齿轮箱传动的轴系，通常是用法兰与大齿轮轴相连接。如轴系校中不良，在该法兰连接处则产生弯矩 M、剪力 T，见图 6.2.1—81。在此弯矩的作用下，造成大齿轮前、后两轴承上的负荷不相等，即 $G_A \neq G_B$；当大小齿轮啮合运动时，此负荷差则造成大齿轮轴轴心线偏斜，致使大小齿轮啮合不良，出现噪声、齿面不均匀磨损、甚至产生齿击，而影响齿轮箱的正常工作。

4）对螺旋桨及船体振动的影响

螺旋桨激励是船体振动的主要激励源。这种激励常分为通过水的传递作用在船体表面上的激励，和通过轴系振动传递到船体的激励。后者系指由于轴系振动引起的船体振动。由实船测试证明，当轴系合理校中时，螺旋桨轴振动的振幅则显著地减小，船体振动的振幅和振动频率也随之降低，见图 6.2.1—82。

10.2 轴系校中方法

轴系校中方法分类见图 6.2.1—83。

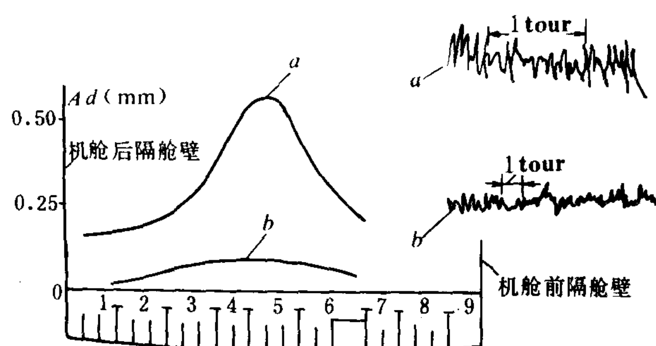


图 6.2.1—82 船体振动曲线

a)轴系合理校中前船体振动振幅和频率;

b)轴系合理校中时船体振动振幅和频率

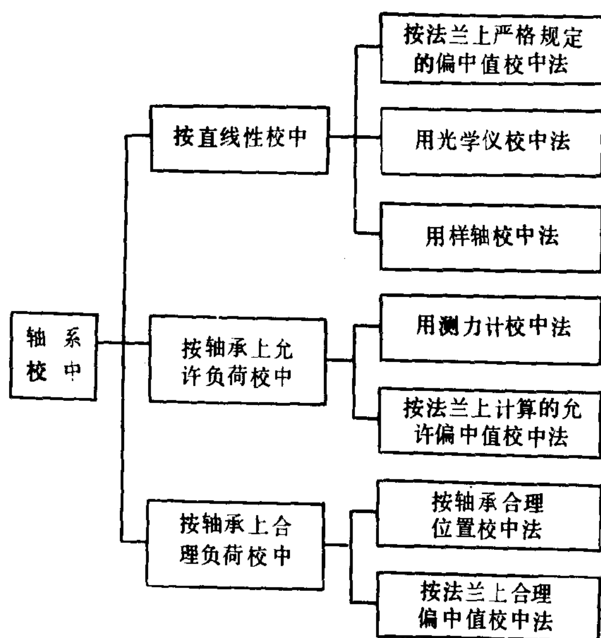


图 6.2.1—83 轴系校中分类

10.2.1 按连接法兰偏移、曲折校中法

轴系是由各轴段用法兰连接而成。由于每根轴在制造时都要求其法兰外圆与轴颈应同轴，法兰端面与轴心线应垂直。显然当毗邻的两根轴以其法兰相连接时，两轴的连接法兰如同轴，则此两根轴可视为同轴(忽略加工误差及轴的挠度等影响)；反之，若两连接法兰不同轴，则两根轴亦不同轴。连接法兰不同轴的偏差，用偏移、曲折表示。按法兰偏移、曲折校中，就 是对法兰的不同轴偏差作出规定数值，以此调整轴的位置，达到校中目的。

10.2.1.1 按法兰上严格规定的偏移及曲折值校中法

1)“偏移”、“曲折”的含义。

偏移(常用符号 δ 表示)，系指两连接法兰的轴心线不重合，但彼此平行，见图 6.2.1—84,a)。

曲折(常用符号 φ 表示)，系指两连接法兰的轴心线相交成一定角度，见图(6.2.1—84,b)。

校中时常用“开口”代替曲折，当 $S_1>S_2$ 时为上开口，$S_2>S_1$ 时为下开口(见图 6.2.1—84,c)。

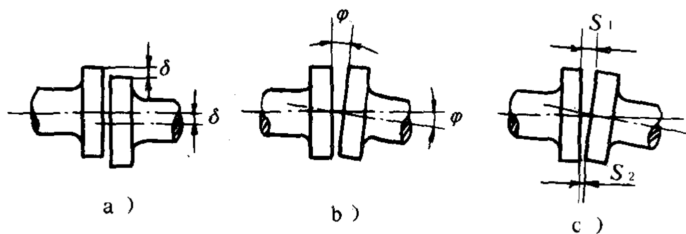


图 6.2.1—84 连接法兰上的偏移及曲折

2)偏移、曲折测量方法。

连接法兰上的偏移、曲折，通常采用直尺和塞尺测量，当两法兰直径不相等时，可采用两对指针测量。图 6.2.1—85 所示为用直尺及塞尺测量偏移曲折，此时，两法兰未用法兰螺栓紧固，且两法兰端面之间应留出 0.5～1.0mm 的间隙。测量曲折时，用塞尺依次在法兰端面上、下、左、右等 4 个部位测量端面间隙值 $b_N \cdot b_D \cdot b_L \cdot b_R$。

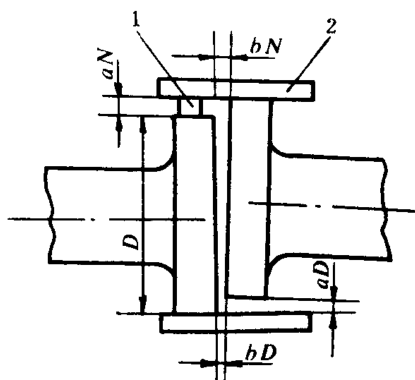


图 6.2.1 85 用直尺及塞尺测量连接法兰偏移曲折

1—塞尺；2—直尺

两连接法兰在垂直平面的曲折为：

$$\varphi_Z = \frac{b_N - b_D}{D} \tag{6.2.1—52}$$

两连接法兰在水平平面的曲折为：

$$\varphi_Y = \frac{b_L - b_R}{D} \tag{6.2.1—53}$$

式中：φ_Z——连接法兰在垂直平面的曲折，mm/m；

φ_Y——连接法兰在水平平面的曲折，mm/m；

D——连接法兰直径，m。

当 φ 值为负时，表示两连接法兰为下开口，或向右舷开口。

测量偏移时，用直尺依次在一连接法兰外圆的上、下、左、右等 4 个部位上紧贴，同时用塞尺测量直尺与另一法兰外圆表面之间的间隙值：a_N、a_D、a_L、a_R 等① (见图 6.2.1—85)，则：

法兰在垂直平面的偏移为：

$$\delta_Z = \frac{a_N + a_D}{2} \tag{6.2.1—54}$$

法兰在水平平面的偏移为：

$$\delta_Y = \frac{a_L + a_R}{2} \tag{6.2.1—55}$$

式中：δ_Z、δ_y——连接法兰在垂直平面、水平平面上的偏移，mm。

3)校中时，对偏移、曲折允许值的严格规定。

在很长一段时期内，国内外在校中轴系时，为使轴系安装成直线状态，对连接法兰的偏移、曲折允许值作了严格的规定：更早时规定极严，即：$\delta \leqslant 0.05$mm；$\varphi \leqslant 0.05$mm/m。实践证明，这种严格规定是没有必要的，在校中施工时也是难以达到的。目前一般规定为：$\delta \leqslant 0.1$mm，$\varphi \leqslant 0.15$mm/m。

4)本校中方法的应用及优缺点。

本校中法简单易行，目前仍为许多船厂所采用。但此方法的出发点是要求将轴系安装成直线，对允许的偏移、曲折值作了严格的规定，故不是一种科学合理的方法。在理论上和实践中都证明，将轴系安装成直线，尤其是对于短轴系，会造成全轴系负荷不合理的分配。此校中方法用于内河小船轴系和中型船舶的长轴系校中，还是可行的。

10.2.2 按法兰上计算的偏移及曲折允许值校中法

1)偏移及曲折允许值范围的计算。

根据轴承上的允许负荷范围，可导出计算偏移及曲折允许范围的公式[2]，即：

① 测量 a_N、及 a_D 时，如直尺贴靠在同一法兰上，则 a_D 为负值；同理，a_R 为负值。

$$|\varphi|+\frac{2000}{3b}|\delta|\leqslant\frac{1}{3}K \qquad (6.2.1\text{—}56)$$

或：

$$|\varphi|+\frac{2000}{3b}|\delta|\leqslant\frac{2}{3}K \qquad (6.2.1\text{—}57)$$

式中：b—— 轴系 4 个毗邻轴承的平均跨距，在轴系中应取最小的平均跨距，cm；

K—— 轴系韧性系数，$K=3.75\frac{b^3}{10^8d^2}$，d 为轴颈直径，cm。

公式(4.2.1—56)，适用于每根中间轴用一个中间轴承支撑的轴；公式(6.2.1—57)则适用于每根中间轴用 2 个轴承支撑时。

2)计算实例

长江某轮长轴系，轴颈直径 d＝35cm，轴承最小平均跨距 b＝420cm，每根中间轴用 1 个轴承支撑。此轴系校中时，其每对连接法兰上的偏移及曲折允许值的范围计算如下：

由：

$$K=3.75\times\frac{420^3}{10^5\times35^2}=2.27$$

则：

$$|\varphi|+\frac{2000}{3\times420}|\delta|\leqslant\frac{1}{3}\times2.27$$

得：

$$|\varphi|+1.59|\delta|\leqslant0.76$$

设 $\varphi=0$，则 $\delta\leqslant0.48$mm($\delta_{max}=0.48$)；

设 $\delta=0$，则 $\varphi\leqslant0.76$mm/m($\varphi_{max}=0.76$)。

按 δ_{max} 及 φ_{max}，可以绘出偏移及曲折允许范围线图，见图 6.2.1—86。

3)本校中方法的应用及优缺点。

本校中方法的出发点是保证校中时各轴承上的负荷不超过允许范围，故连接法兰上的偏移及曲折应在允许范围内。在确定偏移及曲折的允许范围时，考虑了轴系的结构特点和轴承的允许负荷，较上述按严格规定偏移及曲折允许值的方法要合理。缺点是偏移及曲折允许值的计算是很近似和不严格的，全轴系每对法兰的偏移及曲折允许值范围都一样，对尾轴管轴承及主机有关轴承的负荷无法控制。故此校中方法仅适用于长轴系，不宜用于短轴系。因长轴系韧性好，中间轴的偏中对尾轴管后轴承及主机轴承的影响较小。

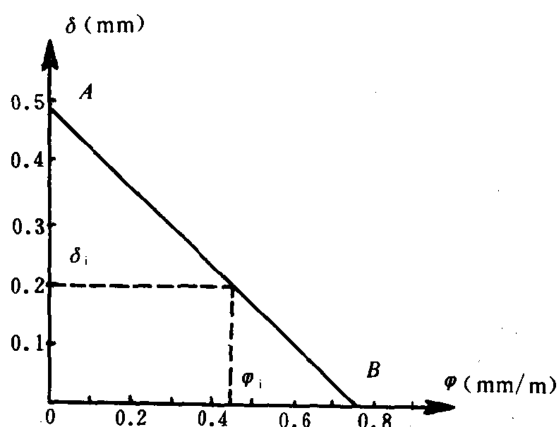


图 6.2.1—86 长江某轮长轴系允许"δ—φ线图"

10.2.3 测力计校中法

轴系采用测力计校中时，应先将轴系连接好，并与主机或齿轮箱连接起来，但支撑轴系的轴承暂不与基座紧固。在每个轴承的支脚孔中对称地装 2 个测力计和 2 个调节螺栓(参见图 6.2.1—72)。用调节螺栓预调中间轴承的垂直及水平位置，放松调节螺栓，使测力计承受轴承负荷 。这时，可用测力计的扳手继续调节轴承的位置，使各个中间轴承的实际负荷都处在允许范围之内为止。

本校中方法是在生产中所使用的方法之一，优点是，能确保轴系各中间轴承上的实际负荷都处在允许范围之内。长轴系采用此法校中能获得较好的校中质量。但此法不能测量尾轴管前后轴承和主机有关轴承上的实际负荷，校中时不能保证这些轴承上的负荷处在允许范围之内；校中时要使用专门的测力计，故此校中方法目前较少使用。

10.2.4 光学仪校中法

采用光学仪校中轴系，是利用光直线传播的特性，将光学仪器先按轴系中线的基准点定位，使光学仪的主光轴代表轴系中线。然后在需校中的轴系各部件中孔内安装对光靶，按仪器的主光轴调节这些部件的位置，进行定位，达到校中目的。

校中时，所应用的光学仪有光学准直望远镜（见图 6.2.1—87）及光学投影仪（见图 6.2.1—88）两种。准直望远镜为用眼睛观测目标，投影仪则为用光源将仪器的主光轴投射在目标上。

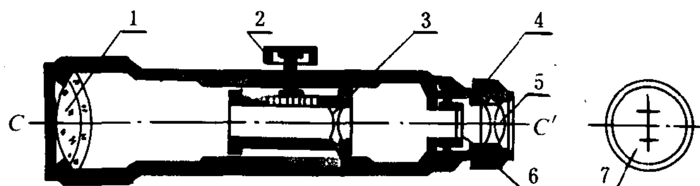


图 6.2.1—87 光学准直望远镜

1—物镜；2—调焦距机构；3—聚焦透镜；4—调焦距螺母；5—目镜；6—十字线网格板；7—十字线放大像

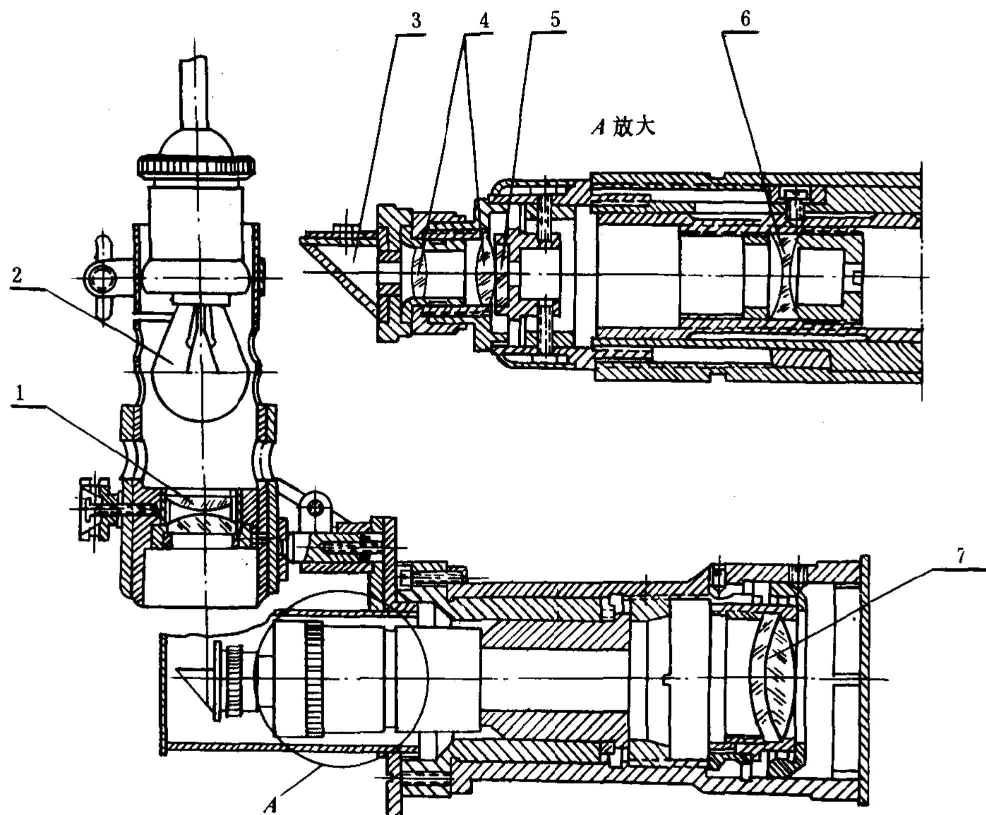


图 6.2.1—88 光学投影仪

1—凸透镜组；2—光源；3—反射棱镜；4—目镜；5—十字线网格板；6—调焦距透镜；7—物镜

校中时，所应用的对光靶如图 6.2.1—89 所示，由刻有十字线的有机玻璃靶芯及调节螺钉组成校中时，将对光靶装在需定位的轴承、填料函、人字架等部件的中孔内，并予先调节好光靶位置，使其中心（十字线交点）与部件孔的孔心线重合。按轴系中线基准点调节好投影仪的位置，其主光轴与轴系中线重合后，将主光轴投射到需校中的目标上，按它调节目标的位置，达到校中的目的。

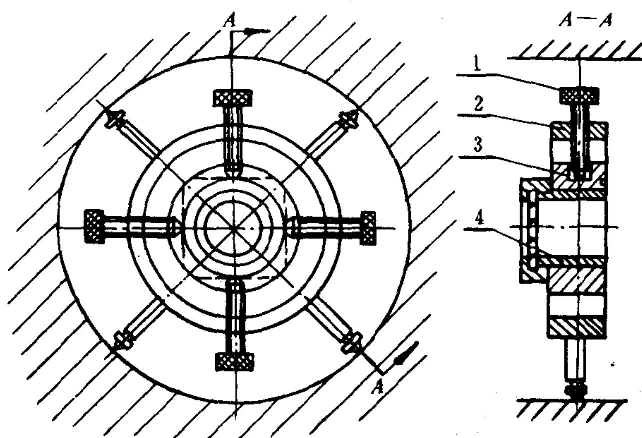


图 6.2.1—89　对光靶及在校中部件中的安装

1—微调螺钉；2—光靶体；3—光靶芯；4—有机玻璃板

10.2.4.1　用光学仪校中中间轴承法

校中时，先在装中间轴承的基座上装1个夹具(可调支架)，见图 6.2.1—90。此夹具包括2个可调节支架，支架座板，和装在支架中的1根中空样轴。样轴两端孔中各装1个对光靶，其中心与样轴轴心线应重合。将中间轴承套在样轴上，按已定位好的投影仪主光轴调节支架，使样轴两端对光靶中心与主光轴重合(用活动支架调节)，以达到轴承的孔心线与轴系中线重合。考虑到轴承的油隙，则样轴对光靶的中心应较主光轴高轴承油隙的一半。

10.2.4.2　用光学仪校中中间轴法

对于中空的中间轴，可采用光学仪和对光靶进行校中。此时，每节中间轴用2个中间轴承(或1个中间轴承1个临时支承)支持，在中间轴两端的中孔中各装1个对光靶，并予先调节好光靶使其中心与轴心线重合。校中时，按已定位好的光学仪的主光轴，通过调节轴承使中间轴两端的对光靶中心与主光轴重合。此时，中间轴则准确地装在轴系中线上。

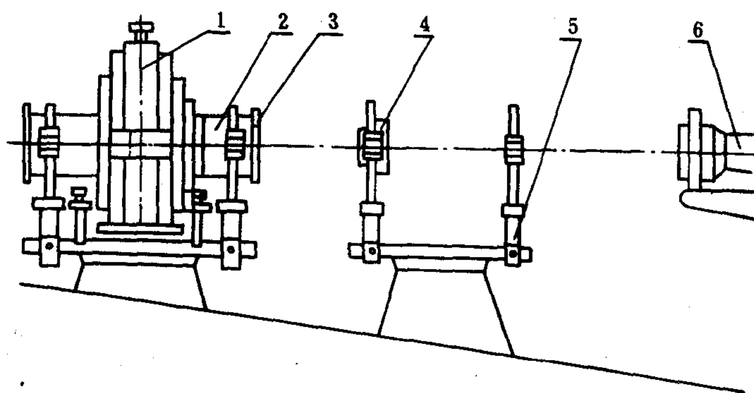


图 6.2.1—90　用光学仪校中中间轴承

1—中间轴承；2—空心样轴；3—对光靶；4—可调节支架；5—支架座板；6—光学投影仪

10.2.3.3　本校中方法的应用及优缺点

由于光的直线性好，系用光学仪校中轴系部件能获得较高的定位精度，适用于批量建造中、小型船舶；尤其是适用于校中以滚动轴承作中间轴承的轴系，因此类轴系易损伤的部件不是轴承而是轴，以避免轴系因安装弯曲而在轴内引起的过大的弯曲应力。

10.3　轴系合理校中

10.3.1　轴系合理校中的含义

轴系合理校中，即全轴系轴承负荷合理分配校中法，是70年代中期在造船生产中开始应用的一项新技术。合理校中的实质是，在遵守规定的负荷、应力、转角等限制条件下，通过校中计算确定各轴承的合理位移(垂向)，使轴系安装成规定的曲线状态，以达到全轴系各轴承负荷

合理分配，轴颈上的应力及轴颈在轴承中的斜度均符合限制条件。

10.3.2　轴系合理校中计算

合理校中计算分为静态计算和动态计算。

10.3.2.1　静态合理校中计算

静态合理校中计算，仅计入轴系的自重、轴系上的静载荷、以及主机或齿轮箱工作时轴心线的热膨胀量等静态因素，并将轴承作为刚性铰支座，将轴系视为放置在多个刚铰支上的连续梁。应用本章 9.4 中所介绍的算法进行计算，是目前在建造大、中型海船中的实用方法。

10.3.2.2　动态合理校中计算

动态合理校中计算时，除计入上述静态因素外，还要计入螺旋桨水动力、齿轮箱齿轮啮合力、轴承油膜弹性及其支座的结构刚度、船体变形、振动等动态因素，并将轴承作为弹性支承对待。动态合理校中计算更符合轴系实际运转状况，但此计算法目前在生产中尚未使用。

10.3.3　轴系静态合理校中计算内容及步骤

10.3.3.1　建立校中计算模型

1)轴系结构要素的处理。

(1) 轴系上的集中载荷，作为加在梁上的集中力；

(2)各轴段的自重作为梁上的均布载荷；

(3)每个轴承作为梁的 1 个支点。支点的位置，尾管后轴承取为距该轴承后边缘(1/3～1/5)L 处(L 为轴承衬长度)；其他轴承取为轴承中点。

2)建立计算模型

将轴系作为连续梁，梁的左端为螺旋桨轴末端，右端取至主机曲轴第 2 拐前主轴颈，见图 6.2.1—91，a)；对通过齿轮箱传动的轴承，右端取至大齿轮轴的首端。将轴系的每个轴承作为 1 个刚铰支座。将不同直径的轴段作为不等截面的梁段。将梁按支点、集中力作用点、截面变化处划分为若干截面(节点)，各截面处若有轴承则为实支座，无轴承则设一个虚支座。

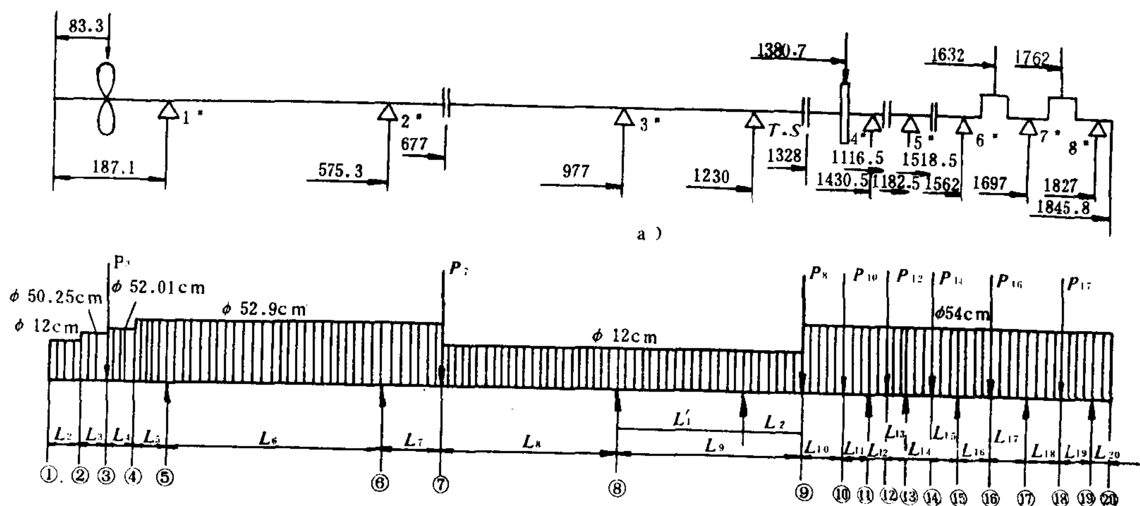


图 6.2.1—91　16000D.W.T. 货轮轴系结构及其计算模型

图 6.2.1—91，a)为 16000D.W.T，远洋货轮轴系的结构示意图，图 b)为此轴系的计算模型，共划分为 20 个截面。图中“Δ”为轴承位置，“T.S.”为临时支承，为在校中时测量偏移、曲折而设。

10.3.3.2　建立计算式求解校中参数

用三弯矩计算法，建立校中计算基本的计算式，求解校中计算所要求的参数：截面弯矩、挠度、转角及反力，轴承负荷影响数，轴承合理位移、轴承合理负荷等。过程如下：

1）按三弯矩理论及边界条件，建立线性方程组，求出连续梁各截面的弯矩 M 及挠度 Y。

2）按 M 及 Y 由三弯矩方程求连续梁各截面的转角 θ 及各实支座（轴承）的反力 R。

3）计算轴承负荷影响系数。所谓轴承负荷影响系数，是指轴系中某一轴承位移一单位量时，造成本轴承及其他轴承上负荷的增量，常用符号 A_{ij}表示。脚标 $i=1\sim n, j=1\sim n$（n 为轴承数）。A_{ij}则表示第 i 轴承因第 j 轴承产生一单位位移所引起的负荷增量。

4）确定轴承的合理位移及轴承合理负荷 。因轴承负荷是轴承位移的函数，其关系式如下：

$$R_i = R_{oi} + \sum_{j=1}^{n} A_{ij} \cdot Y_j \tag{6.2.1—58}$$

式中： R_i ——第 i 轴承的负荷，N；

R_{oi} ——第 i 轴承相对轴系中线无位移时的负荷，N；

A_{ij} ——轴承负荷影响系数，N/mm；

Y_j ——第 j 轴承相对轴系中线的位移，mm；

n ——轴承数。

由公式（6.2.1—58）知，只要已知轴承位移，则可求得相应的轴承负荷。轴承位移可由如下两种方法确定：

（1）用试凑法确定轴承合理位移法

所谓试凑法，就给出一组轴承位移后，可求出一组相应的轴承负荷。将这组轴承负荷与负荷的限制条件相比较，若全符合允许值，且负荷分配又较合理，则可认为所给定的这一组轴承位移为合理位移；否则，须重新给定一组轴承位移，再求出轴承负荷判断是否合理，直至试凑到合理为止。

此法适用于轴承数较少的短轴系。

（2）用优化法确定轴承的合理位移法

轴系有 n 个轴承时，需确定其最佳位移 $y_1\sim y_n$ 和相应的最佳负荷 $R_1\sim R_n$，是一个具有线性约束的最优化问题，即：在满足诸约束条件的前提下，对给定的目标函数求极大值或极小值。为此，可将求轴承最佳位移及最佳负荷，处理成标准的线性规划问题求最优解。

①目标函数 。校中计算时，常将尾管后轴承负荷作为目标函数，求其极小值，即：

$$R_1 = -(A_{11}y_1 + A_{12}y_2 + \cdots\cdots + A_{1n}y_n + R_{01}) \tag{6.2.1—59}$$

式中： R_1 ——尾轴管后轴承的最小负荷，N；

R_{01} ——尾轴管后轴承在轴系直线校中时的负荷，N；

$y_1\sim y_n$ ——第 1 至第 n 轴承的最佳位移，mm；

$A_{11}\sim A_{1n}$ ——第 1 至第 n 轴承对第 1 轴承的负荷影响系数，N/mm。

②约束集。可根据保证轴系持续正常运转的各种限制条件列出若干个约束方程组成约束集。这些限制条件包括：对轴承负荷的限制、对轴颈应力的限制、对相邻轴承位移差的限制，等等。例如，限制第 i 轴承最大负荷及最小负荷的约束方程分别为：

$$A_{i1}y_1 + A_{i2}y_2 + \cdots\cdots + A_{in}y_n + R_{oi} \leqslant [R_{imax}]$$

$$A_{i1}y_1 + A_{i2}y_2 + \cdots\cdots + A_{in}y_n + R_{oi} \leqslant [R_{imin}]$$

式中：$[R_{imax}]$——第 i 轴承最大允许负荷，N；

$[R_{imin}]$——第 i 轴承最小允许负荷，N；

其余符号同前。

③常采用单纯形法解约束方程组，求出最佳轴承位移时的最佳负荷分配。

10.3.3.3 校中施工参数——连接法兰上允许偏移曲折值的计算

为校中施工方便，应将校中计算时所确定的轴承合理（最佳）位移，换算成轴系各对连接法兰上的允许偏移δ及曲折φ（或开口S）。换算时，应计入轴系在未用法兰连接螺栓连接情况下，各轴的连接法兰因自重、外载荷等引起的下垂量。

一对连接法兰允许偏移δ、曲折φ的组成如图6.2.1—92所示。图中，F_l 及 F_r 为左、右两法兰分别相对轴系中线的偏移；θ_l 及 θ_r 为左、右两法兰的转角。

10.3.3.4 校中检验参数——轴承负荷顶举系数计算

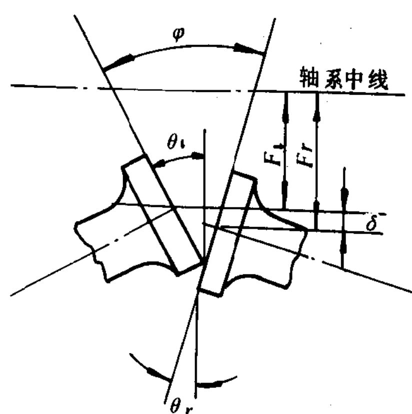


图6.2.1—92 连接法兰上偏移、曲折的组成

当采用液压千斤顶顶举法检验轴承实际负荷时，由所测得的千斤顶负荷乘以轴承负荷顶举系数K即可求得被测轴承的实际负荷。K值可由被测轴承和千斤顶的负荷影响系数求出。

10.3.3.5 绘制轴系校中状态图

为便于轴系校中的施工，按校中计算的结果，绘制成轴系校中状态图。图上按比例表示轴系实际中线的安装状态，各轴承距轴系理论中线的合理位移，以及各对连接法兰的允许偏移、曲折数值。

图6.2.1—93为前图6.2.1—94所示16000D.W.T.远洋货轮轴系合理校中的状态图[24]。

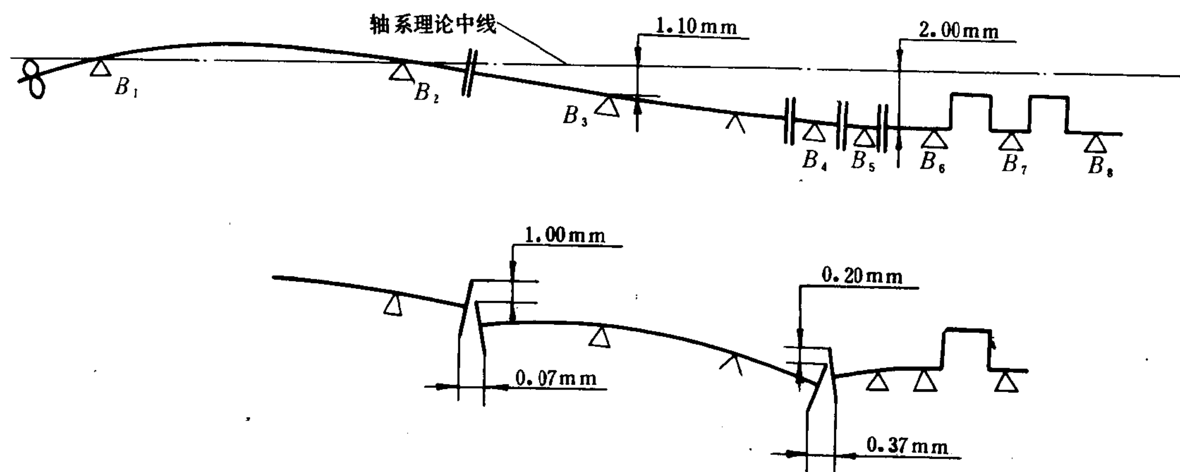


图6.2.1—93 16000D.W.T.远洋货轮轴系合理校中状态图

10.4 轴系失中

10.4.1 轴系失中的含义

船舶航行一段时期后，由于船体变形、轴承磨损等原因，使轴系原校中状态发生了变化，主要表现为：尾轴与发动机功率输出轴（或齿轮箱大齿轮轴）之间产生了较大的同轴度偏差，中间轴承产生了过大的位移等，以致影响轴系、主机或齿轮箱不能正常地工作，这种情况称为“轴系失中”。

轴系失中后，需重新校中进行修复。此时需确定尾轴与主机功率输出轴同轴度偏差的数值，以决定是否需要移动主机或尾轴。

10.4.2　尾轴与功率输出轴同轴度偏差的确定

10.4.2.1　尾轴与功率输出轴同轴度偏差的表示法

两轴同轴度偏差，是以尾轴轴心线与功率输出轴（曲轴或大齿轮轴）轴心线的交叉角 α 及两轴心线在首端（常取曲轴第 1 拐的中点）的偏移 f 表示，见图 6.2.1—94 。通常，可以功率输出轴尾法兰端面中心至尾轴轴心线的垂直距离 **b** 代替 **f**。目前惯用符号 $\varphi_{总}$（总曲折）表示 α，用 $\delta_{总}$（总偏移）表示 b

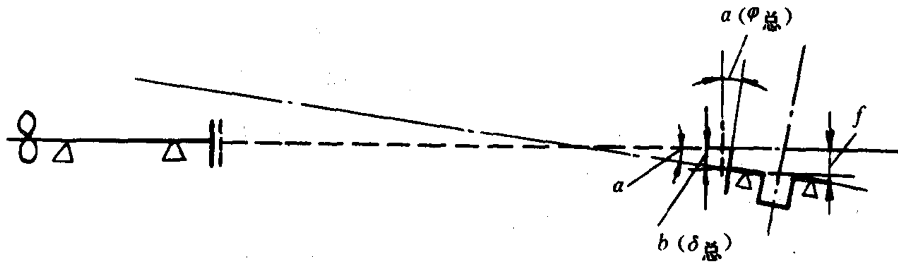


图 6.2.1—94　尾轴与功率输出轴同轴度偏差的表示法

10.4.2.2　尾轴与功率输出轴同轴度偏差的测量方法

1）平轴测量法

（1）测量方法。将轴系的法兰连接全松开，并松开中间轴承与基座的连接，在每个中间轴承的螺栓孔中对称地装 2 个调节螺栓，以调节轴承位移。以尾轴法兰为基准，由尾至首逐根调节中间轴，使之与尾轴同轴，即每对连接法兰上的偏移 δ 及曲折 φ 为零，见图 6.2.1—95。然后，测出最首 1 根中间轴（或推力轴）的前端法兰与功率输出轴尾法兰的总偏移 $\delta_{总}$ 及总曲折 $\varphi_{总}$。

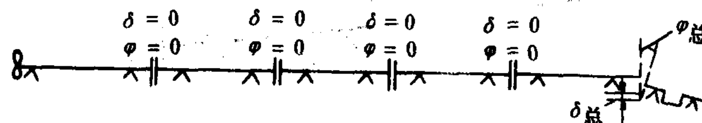


图 6.2.1—95　用平轴法测量尾轴与功率输出轴的失中

测量时，应使各法兰因自重的下垂量为最小，否则会影响测量偏移、曲折的准确度。

（2）按连接法兰偏中计算法

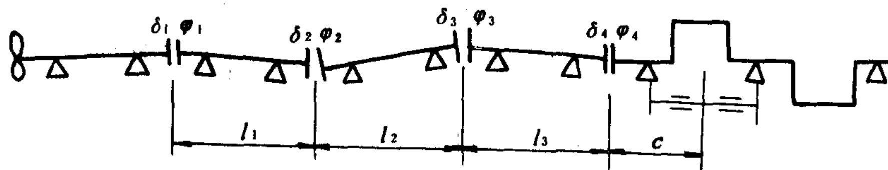


图 6.2.1—96　按法兰上的偏移、曲折值计算尾轴与功率输出轴失中

先将法兰的全部连接松开，测量每对连接法兰的偏移及曲折值，见图 6.2.1—96。再按下式计算尾轴与功率输出轴同轴度偏差，即：

$$\varphi_{总}=\varphi_1+\varphi_2+\cdots\cdots+\varphi_n+\varphi_{n+1} \qquad (6.2.1—60)$$

$$\delta_{总}=\varphi_1(l_1+l_2+\cdots\cdots+l_n)+\varphi_2(l_2+l_3+\cdots\cdots+l_n)+\cdots\cdots+\delta_1+\delta_2+\cdots\cdots+\delta_{n+1} \qquad (6.2.1—61)$$

式中：　　$\varphi_{总}$——总曲折，mm/m；

$\delta_{总}$——总偏移，mm；

φ_1、φ_2……φ_{n+1}——各对连接法兰上的曲折值，(上开口为正)，mm/m；

δ_1、δ_2……δ_{n+1}——各对连接法兰上的偏移(后法兰高于前法兰为正)，mm；

l_1、l_2……l_n——各根中间轴的长度，m；

n——中间轴数量。

在测量连接法兰上的偏移、曲折值时，应使法兰因自重的下垂量最小。

2)光学仪测量法

(1)光学仪在发动机轴上定位

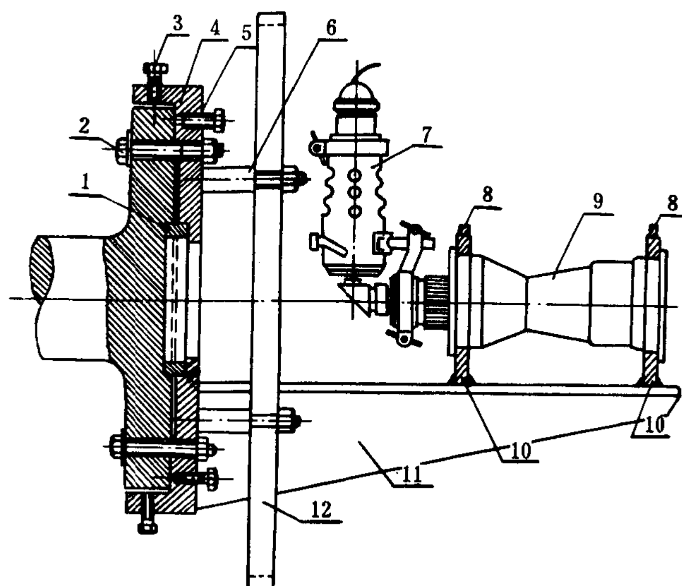


图 6.2.1—97　光学投射仪在发动机轴法兰上的安装

1—定位环；2—紧固螺栓；3—偏移调节螺钉；4—夹具盘；5—曲折调节螺钉；6—盘车拨杆螺栓；7—光源；8—压盖；9—投射仪；10—支架；11—托架；12—盘车拨杆

采用光学仪测量时，应先将全部中间轴拆除。将光学投射仪用安装夹具装在发动机轴的尾法兰上，见图 6.2.1—97。在尾轴法兰端面上贴一张白纸。调节投射仪，使仪器主光轴(十字线交点)与发动机轴轴心线的延长线在白纸上重合，其操作方法为：将仪器的十字线投射到白纸上，用笔记下十字线交点 A，如图 6.2.1—98。转动发动机轴(光学器随同旋转)180°，此时如光学仪的主光轴与发动机轴轴心线不重合，则仪器十字线在白纸上投影的十字线交点为 B。连接 AB 线并平分得 C 点，用笔记在白纸上。用安装夹具调节仪器在法兰上的位置，使仪器所投影的十字线交点与 C 点重合。拧紧夹具后再将发动机轴旋转 180°，若此时仪器所投影的十字线交点与 C 重合，则说明仪器的主光轴与发动机轴轴心线在尾轴法兰端处重合。然后取下白纸，在法兰端面上装刻有十字线的对光靶，光靶中心应与法兰中心重合。

(2)测量两轴轴心线不重合偏差。

将投射仪的十字线投影在尾轴法兰端面的对光靶上，在两轴心线不重合情况下，投射仪主光轴(它代表发动机轴轴心线)1 与对光靶中心 2(它代表尾轴轴心线)则不重合，如图 6.2.1—99，a)。测出两中心在垂直及水平平面上的偏差 a 及 a′。然后将投射仪用安装夹具装在尾轴法兰上，并按上法进行投射仪在尾轴上的定位；将对光靶安装在发动机轴法兰上。同理可测出两轴心线在垂直及水平平面上的偏差 b 及 b′。

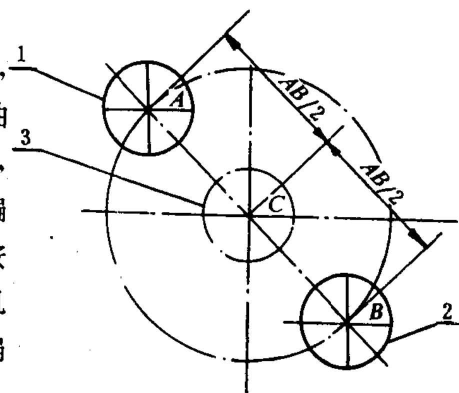


图 6.2.1—98　光学仪在曲轴上定位

(3)$\varphi_{总}$及$\delta_{总}$的计算

尾轴与发动机轴轴心线的倾角 α 即 $\varphi_{总}$ 为：

$$\varphi_{总}=\alpha=\frac{a+b}{L} \tag{6.2.1—62}$$

$$\varphi'_{总}=\alpha'=\frac{a'+b'}{L} \tag{6.2.1—63}$$

尾轴与发动机轴轴心线的总偏移 b 即 $\delta_{总}$ 为：

$$\delta_{总}=b，或 f=b+\alpha C \tag{6.2.1—64}$$

$$\delta'_{总}=b'，或 f=b'+\alpha' C \tag{6.2.1—65}$$

式中： L ——尾轴与发动机轴法兰平面间的距离，m；

f——见图 c)，mm；

a、b ——见图 c)，mm，当光靶十字线中心在仪器十字线中心之下时为正；

a'、b' ——见图 d)，mm，当光靶十字线中心在仪器十字线中心的右舷时为正。

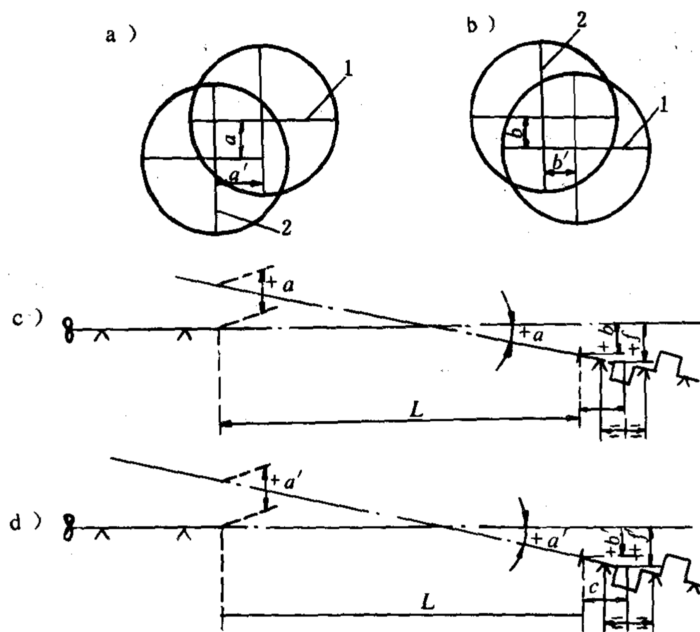


图 6.2.1—99 用光学投射仪测量尾轴与发动机轴的同轴度偏差

用光学仪测量尾轴与发动机轴的不同轴，可获得较前述测量方法为高的准确度。但应用此法时，应注意安装光学仪法兰的下垂量，此下垂量大于 0.05mm 时，应在轴颈处装临时支承，校正因仪器重量造成的法兰下垂量。

10.4.2.3 尾轴与发动机轴允许的同轴度偏差

当尾轴与发动机轴不同轴值过大时，在尾轴上则产生弯矩 M_1，发动机轴上产生弯矩 M_2，见图 6.2.1—100。由于 M_1 的作用，在尾轴前轴承上则产生附加负荷 R_1，在 M_2 的作用下，发动机轴的尾端轴承上产生附加负荷 R_2，并在尾轴及发动机轴上产生附加应力。M_2 的作用，还会造成曲拐臂距差值增大，或使齿轮箱大小齿轮啮合变坏。为此在修船中，对尾轴与发动机轴不同轴偏差应予以限制，即规定允许的同轴度偏差，方法如下。

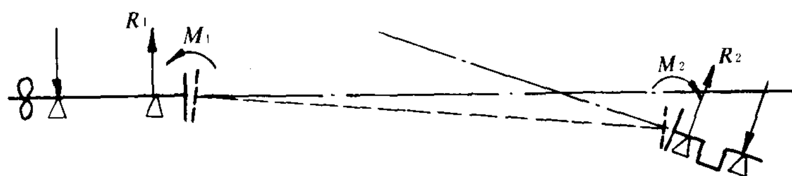


图 6.2.1-100 轴系失中造成的弯矩及附加负荷

1)查表法[21]

修船中,表 6.2.1—38 规定了尾轴与发动机轴(或大齿轮轴)同轴度的允许偏差值。当两轴不同轴度偏差符合此表规定时,即 $\varphi_{总}$ 及 $\delta_{总}$ 在允许偏差以内时,可以在不移动主机或尾轴情况下安装中间轴,校中时将 $\varphi_{总}$ 及 $\delta_{总}$ 较均匀地分配到中间轴的每对连接法兰上;若 $\varphi_{总}$ 及 $\delta_{总}$ 超过允许偏差时,则应考虑移动主机,或偏装尾轴(偏镗尾轴管),以修正尾轴与发动机轴的不同轴。

2)计算法

按尾轴与发动机轴不同轴度偏差大小,绘制两轴轴心线状态图,由图按比例确定发动机轴轴承相对轴系中线(或尾轴轴承相对轴系中线)的位移量,按此位移量应用本章 10.3.3 所述的校中计算方法,进行计算求出全轴系有关截面上的弯曲应力、轴承负荷、轴颈在轴承中的倾角等。将计算求得的这些数值与本章 9.1～9.3 中所规定的允许值相比较。在超过允许值时,则应对尾轴与发动机轴的不同轴进行修正。

表 6.2.1—38 **修船中尾轴与发动机轴(或齿轮箱大齿轮轴)同轴度允许偏差**

轴系计算长度 L m	总偏移 $\delta_{总}(\varphi=0)$ mm					总曲折 $\varphi_{总}(\delta=0)$ mm/m				
	中间轴直径 mm					中间轴直径 mm				
	≦100	>100 ≦150	>150 ≦300	>200 ≦300	>300 ≦400	≦100	>100 ≦150	>150 ≦200	>200 ≦300	>300 ≦400
≦5	1.25	0.85	0.65	0.42		0.42	0.28	0.21	0.14	
>5—≦10	5.20	3.50	2.60	1.70	1.30	0.78	0.51	0.39	0.26	0.20
>10—≦15	11.70	7.80	5.80	3.90	2.90	1.17	0.78	0.58	0.39	0.29
>15—≦20	20.80	13.90	10.40	6.90	5.20	1.56	1.04	0.78	0.52	0.39
>20—≦30	46.80	31.20	23.40	15.60	11.70	2.34	1.56	1.17	0.78	0.58
>30—≦40	83.20	55.50	41.60	27.70	20.80	3.12	2.07	1.56	1.04	0.78
>40—≦50		86.70	65.00	43.30	32.50		2.59	1.95	1.30	0.97

10.4.2.4 尾轴与发动机轴不同轴的修理

当两轴的同轴度偏差超过允许值时,可采用下列方法修正。

1)移动主机位置,即按轴系合理校中状态进行主机的重新定位。此时,需重新更换主机机座的全部垫块,且新制垫块的厚度应符合厚度的规定。若过厚或过薄,则应考虑移动尾轴。

2)移动尾轴的位置,即按新确定的轴系中线,重新确定尾轴毂孔的位置(原镗孔用堆焊方法填补),使尾轴安装的新位置与发动机轴达到同轴度要求。

3)同时移动主机及尾轴的位置。

当尾轴与发动机轴不同轴过大,不可能用仅移动主机或仅移动尾轴的位置以修正两轴不

同轴时，可采用同时移动主机及尾轴方法修正。此时，新确定的轴系中线应兼顾主机曲轴与尾轴新位置的要求。

参考文献

[1] 船用机关研究グループ。船用机关データ便览，成山堂书店，1986年

[2] 关西造船协会造机研究委员会：商船机部轴系，海文堂，昭和42年11月

[3] 朱树文：船舶动力装置原理与设计，国防工业出版社，1980年9月

[4] 陈国钧：舰艇柴油机动力装置，中国人民解放军海军工程学院，1985年2月

[5] 大连海运学院船机工艺研究室：船机检修技术，人民交通出版社，1983年5月

[6] 崔朗然：舰船柴油机动力装置(修订本)，国防工业出版社，1986年6月

[7] 上海船厂等：船舶轴系、螺旋桨和舵系修理技术标准(JT4160～4173—77)，人民交通出版社，1979年5月

[8] 中华人民共和国船舶检验局：钢质海船入级与建造规范，人民交通出版社，1983年

[9] 中华人民共和国船舶检验局：长江水系钢船建造规范，人民交通出版社，1978年

[10] 黄钟骅等：舰用柴油机动力装置装修，中国人民解放军海军工程学院1981年6月

[11] 《修造船资料手册》编写组：修造船资料手册轮机分册，人民交通出版社，1978年

[12] 简明学：船舶轮机管理学，湖北科学技术出版社，1986年4月

[13] 杨黎明等：机械零件设计手册，国际工业出版社

[14] 《船舶钳工工艺》编写组：船舶轴系及螺旋桨的修造与安装，人民交通出版社1981年11月

[15] 关东造机研究会轴系小委员会：推进轴系标准，昭和43年2月

[16] 武汉水运工程学院船机工艺教研室：船舶机械制造与修理工艺学，人民交通出版社，1987年6月

[17] 张德鑫：艉柱轴毂孔的加工和艉轴管装配过盈量及压力选择，造船技术1982年第1期

[18] 柯永久编译：液压安装无键螺旋桨的应用，上海船舶设计研究院船舶动力装置译文集第三辑，1984年10月

[19] 全国船标技委：CB*/Z338—84 船舶推进轴系校中

[20] гармацев：монтАж судового механецеского обрудовАния，судпромгиз 1975年

[21] 周继良等：船舶轴系校中原理及其应用，人民交通出版社，1985年6月

[22] 张乐天：民用船舶动力装置，人民出版社，1985年6月

[23] 周继良等：船舶轴系校中计算及计算程序SCPS—A1，武汉水运工程学院学报，1983年第1期

[24] 全国船标技委：CB★769—86 船用整体式橡胶轴承

第2章 轴系振动

1 概 述

1.1 轴系振动

在发动机、传动部件及受功部件(螺旋桨或发电机等)的周期性激励下,船舶轴系会出现下述振动:

扭转振动——周向交变运动及相应变形;

纵向振动——轴线方向周期性位移和变形;

回旋振动——在悬臂端带有螺旋桨的多点支承转轴的进动运动及其相应变形。

此外,尚存在上述振动间的耦合振动现象,如扭转——纵向耦向振动。

1.2 激励与响应

在各种激励下产生的轴系振动,又是一种继发性激励,引起船上有关设备与结构振动。图6.2.2—1表示跟轴系振动相关的激励、响应关系。

1.3 危 害 性

轴系振动是产生轴系疲劳破坏的主要原因,且会形成继发性激励,导致机械振动、故障及船体振动,并使噪声加剧。

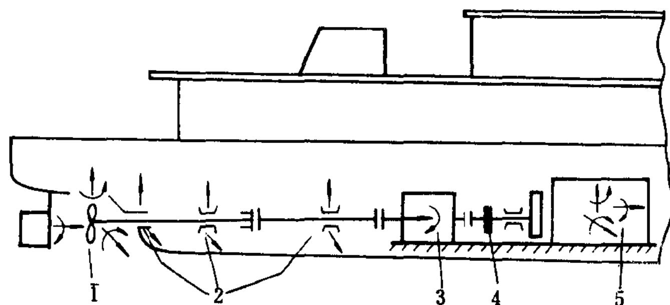


图6.2.2—1 跟轴系振动相关的激励、响应关系图
1—螺旋桨;2—轴承;3—推力轴或齿轮箱;
4—弹性联轴节;5—发动机

扭转振动可能引起以下危害:

1)使曲轴、传动轴及凸轮轴产生过大的交变切应力,甚至导致疲劳折损;

2)使传动齿轮间产生撞击现象,引起齿面点蚀,乃至断齿;

3)使橡胶联轴器橡胶件撕裂、螺栓折断;

4)使刚性联轴器出现振动松动,螺栓折断;

5)发动机零部件磨损加快,地脚螺栓折断;

6)柴油机——发电机组输出不允许的电压波动;

7)引起扭转——纵向耦合振动;

8)产生继发性激励,激起柴油机机架、齿轮箱的横向振动,并通过双层底引起机舱构件局部振动、上层建筑振动及船体振动;

9)使机舱噪声加剧。

纵向振动能引起下述危害：

1)使曲轴曲柄销处产生过大的交变弯曲应力和拉压应力，甚至产生疲劳破坏；

2)使传动齿轮轮齿产生过大的交变负荷，加速齿面破坏，甚至断齿；

3)使推力轴承产生过大的交变负荷；

4)产生继发性激励，激起柴油机机架纵向振动，并通过双层底、推力轴承引起机舱构件局部振动，上层建筑纵向振动及船体垂向振动。

回旋振动主要引起船舶尾部危害：

1)尾管后轴承早期磨损，使间隙过大而导致轴衬套的腐蚀，密封装置的损坏；

2)产生螺旋桨轴端螺母松动，桨在锥部上振跳现象；

3)螺旋桨轴锥形大端产生过大的交变应力，并因轴端螺帽松动，桨的振跳现象而加剧，导致锥形大端出现龟裂、折损等弯曲疲劳破坏；

4)螺旋桨轴联轴节螺栓折断；

5)引起船体尾部结构局部振动。

1.4 检验要求

鉴于轴系振动是船舶机械故障重要原因，构成对安全航行的严重威胁，故在船舶建造、修理与管理中应对轴系振动问题加以预测，采取措施，防止有害振动的产生。

由于柴油机功率不断提高，动力装置日益复杂，轴系扭转振动引起的故障，仍时有发生，各国船级社的验船规范均对轴系扭转振动问题作出明确规定。我国制定的《钢质海船入级与建造规范》[1]、《长江水系钢船建造规范》[2]也对它作了相应规定，并于1984年颁布了指导性文件《船舶柴油机轴系扭振特性计算及有关问题》[3]。

随着船舶大型化，主机功率相应增大，柴油机气缸数有所增多，而船尾刚度相对下降，70年代中期，国外有些船级社的规范相继对轴系纵向振动计算和测量提出了要求，并颁布了包含轴系纵向振动和回旋振动内容的指导性文件[4]、[5]、[6]、[7]。中国规范[1]也对轴系纵向振动作了相应规定。轴系纵振衡定标准也在探讨中[8]。1986年颁发的指导性文件《船上有害振动的预防》[9]包含了轴系扭振、纵振和回旋振动的内容。

为预防产生有害的轴系振动，在船舶设计建造中，应作轴系振动计算，并报船舶检验部门。送检计算资料一般应包括下列内容：

1)原始资料

轴系布置图；

主机参数：型号、冲程数、气缸数、缸径、V型夹角、活塞行程、额定功率、最低稳定转速、额定转速、平均有效压力、最高爆发压力、机械效率、往复运动件质量、连杆长度、发火顺序；

弹性联轴器：扭转动刚度、轴向动刚度、两端圆盘转动惯量和质量、额定扭矩、允许变动扭矩、损失系数；

传动齿轮：总速比、正/倒车各级速比、各对大/小齿轮惯量与质量、各连接轴的扭转与轴向刚度；

减振器：两端圆盘转动惯量与质量、扭转与轴向刚度，阻尼因子或损失系数；

螺旋桨：形式、是否可调螺距、导流管型号、直径、叶片数、螺距、盘面比、极转动惯量、径向转动惯量、质量及相应附连水系数。

2)当量系统及示意简图

扭振系统：各集中点转动惯量、轴段扭转刚度。

纵振系统：各集中质量、轴段纵向刚度。

回旋振动系统：螺旋桨质量、极转动惯量和径向转动惯量、各轴段直径和长度，轴承位置、质量和刚度。

3)自由振动计算结果

各节点固有频率、相对振幅(振型)。

对扭振与纵振尚应提供质点总惯性力矩(或力)、相对振幅矢量和。

4)响应计算结果

回旋振动目前尚不要求提供响应计算。

纵向振动应提供第1质量振幅，并与衡准值比较，判定是否在允许范围内。

对于扭振，尚需提供各轴段切应力、弹性联轴器振动扭矩、齿轮振动啮合力矩、发电机转子振幅，并与规范规定值比较，判断是否安全。

对装有弹性联轴器、齿轮传动装置的轴系，尚应提交一缸不发火的扭振响应计算结果。对发电机装置及燃烧劣质重油的柴油机轴系，建议进行此种计算。

同类型第一艘船舶，应进行轴系振动测量，提交测试报告，所包括内容详见本章第5.5节。据目前计算精度，对传动装置比较简单的轴系扭转振动，若计算应力、扭矩值在允许值的70%以下，则经船舶检验部门同意，可以不进行测试。

未经考虑对轴系振动的影响，不得更改轴系部件或尺寸。当需作更动时，必须进行轴系振动计算与测量，并报船舶检验部门审查。当备用螺旋桨的尺寸与原来工作的螺旋桨相差较大时，应对轴系单结点扭振、回旋振动重新进行计算。装减振器的轴系，使用中应检查有无不正常现象。

1.5 预防措施

当轴系振动特性计算与测试中发现问题时，应采取防振措施。常见方法概括如下：

1)调频

合理选取轴系部件的质量(或惯量)、刚度，使有害的轴系振动共振转速不在常用转速范围内出现，达到避振目的。

2)减小激励

减小发动机、螺旋桨激励并使其合理配合，以及改善轴系校中状态，回转部件平衡等，以减小输入轴系的振动能，降低振动级。

3)安装减振器

在调频作用的同时，利用阻尼消耗振动能或产生跟激励反向的力或力矩，以减小振动。

4)抗振

加大有关部件的尺度或改善其材料，提高强度，避免振动破坏，增强抗振能力。

1.6 计算方法

轴系振动计算的目的是，检查轴系固有频率和船上有关的激励频率之间是否出现共振，并计算其强烈程度，以判断其危害性。

关于轴系振动计算有多种方法，但按指导性文件[2]、[9]给出的方法进行计算，船舶检验时可免去对计算方法的审查。

几种常用计算方法简介如下：

1)经验公式

设计初期，用于粗略估计轴系振动特性。最后仍需进行更精确的计算。

2)霍尔茨表法

这是计算轴系振动特性的最著名的方法，适用于自由振动计算和响应计算。计算方法简单，物理意义明确。指导性文件[9]推荐使用于扭振与纵振计算。

3)传递矩阵法

这是轴系振动的基本计算方法之一，易用于计算机计算。对于有限自由度的离散系统，它与霍尔茨表法是等价的。指导性文件[9]推荐应用于回旋振动计算。

4)特征方程求解

采用 QR 法、Jacobi 法等求解齐次微分方程组的特征方程，进行自由振动计算。这些方法计算量比较大，但对复杂的多分支系统的计算，能避免漏根及奇异点等。

相应地可采用高斯消元法等求解非齐次微分方程组，进行响应计算。

5)有限元法

此法的基本思想是，将连续体看成有限个基本单元在结点处彼此相联结的组合体，使问题变成有限自由度的力学问题，从而借助线性代数方程组求解。这是一种有效的数值计算方法，能计及轴系的所有参数，对于轴系所有振动现象，都能获得圆满处理。

2 扭 转 振 动

2.1 简　　述

2.1.1 物理现象及定义

轴系出现的周向交变运动及其相应变形，叫做轴系扭转振动。

柴油机气缸内气体压力和往复运动部件惯性力，通过连杆作用于曲柄销上的周期性切向力所产生的扭矩，是轴系扭转振动的主要激励源。螺旋桨、发电机及齿轮等产生的周期性变化的力矩，也是轴系扭转振动的原因，其中，螺旋桨叶片数谐次的激励，应加以注意。

在船舶柴油机轴系中，扭转振动是最常见的危害最大的一种振动。低速柴油机轴系容易出现节点在传动轴中的单节点振动。中速柴油机轴系，尚易出现节点在曲轴的双节点扭振。对于长轴系及有传动齿轮的轴系，在使用转速范围内，可能有 1、2 和 3 节点的振动模态。而一缸熄火时，非主谐次的共振会变得严重，可能导致高弹性联轴器的损坏及齿轮间的撞击。采用高弹性联轴器避开主谐次共振以后，常用转速内出现的 0.5～1.5 的低谐次共振也会引起相当大的振动与危害。

2.1.2 运动方程

在讨论轴系扭转振动问题时，一般把复杂的柴油机轴系简化为有限多个集中质量的当量系统——计算模型。它由若干刚性集中质量及连接它们的无质量弹性轴组成。并假定阻尼是线性阻尼，激励力矩则采用简谐分析后的各分谐激励进行响应计算，需要时，对响应作矢量合成。

图 6.2.2—2 表示单支 n 个集中质量系统，其运动微分方程为：

$$J_k\ddot{\varphi}''_k+C_k\dot{\varphi}_k+C_{k-1,k}(\dot{\varphi}_k-\dot{\varphi}_{k-1})+C_{k,k+1}(\dot{\varphi}_k-\dot{\varphi}_{k+1})$$

$$+K_{k,k-1}(\varphi_k-\varphi_{k-1})+K_{K,k+1}(\varphi_k-\varphi_{k+1})=T_k\sin(\omega t+\psi_k)(k=1,2,3,\cdots\cdots n) \quad (4.2.2—1)$$

式中：φ_k、$\dot{\varphi}_k$、$\ddot{\varphi}_k$ ——k 质量的角位移、角速度和角加速度；

J_k ——k 质量转动惯量； C_k——k 质量阻尼系数；

$K_{k,k+1}$ ——k，k+1 质量间轴段扭转刚度；

$C_{k,k+1}$ ——k，k+1 质量间轴段阻尼系数；

T_k——作用于 k 质量的激励力矩幅；

ψ_k ——激励力矩相位角； t——时间；

ω ——激励圆频率。

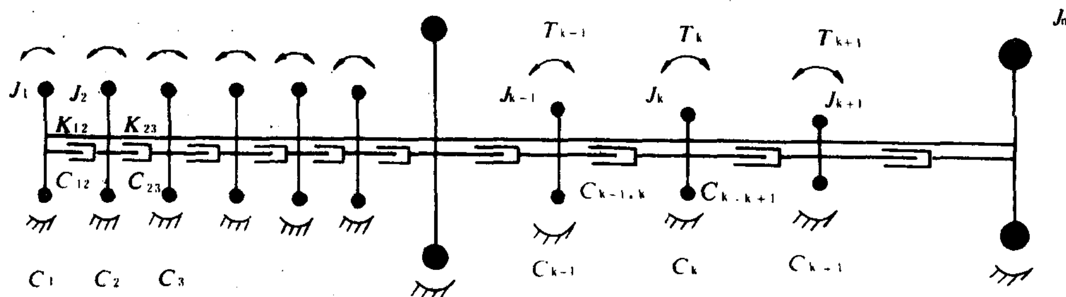


图 6.2.2—2 单支当量系统

扭振方程(4.2.2—1)还可表示为：

$$\sum_{i=1}^{k}[J_i\ddot{\varphi}_i+C_i\dot{\varphi}_i-T_i\sin(\omega t+\psi_i)]$$

$$=C_{k,k+1}(\dot{\varphi}_k-\dot{\varphi}_{k+1})+K_{k,k+1}(\varphi_k-\varphi_{k+1})(k=1,2,3\cdots\cdots n) \quad (6.2.2—1a)$$

上式左端表示 k 质量前各质量的惯性力矩、阻尼力矩、激励力矩之总和，叫做质点总力矩。右端表示 k、k+1 质量间轴段弹性力矩，迟滞阻尼力矩之和，叫做轴段力矩。方程表示，对 k 质量，质点总力矩与其后相接的轴段力矩相平衡。

图 6.2.2—3 表示分支当量系统的一个例子。对分支系统，非分支点的质量运动方程跟方程(6.2.2—1a)一样，分支点 K 的运动微分方程为：

$$J_k\ddot{\varphi}_k+C_k\dot{\varphi}_K+\sum_{j=1}^{r}[C_{kj}(\dot{\varphi}_k-\dot{\varphi}_j)+K_{kj}(\varphi_k-\varphi_j)]=T_K\sin(\omega t+\psi_k)$$

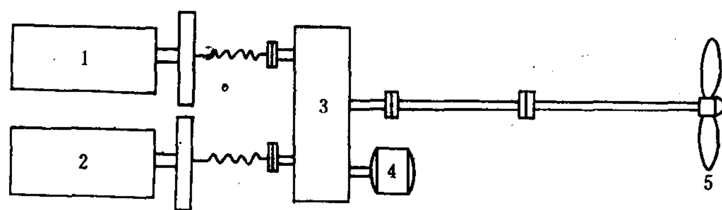
$$(k=1,2,3,\cdots\cdots) \quad (6.2.2—2)$$

式中：r——与 k 质量相接的轴数；

C_{kj}——与 k 质量相接的 j 轴阻尼系数；

K_{kj}——与 k 质量相接的 j 轴扭转刚度；

φ_j，$\dot{\varphi}_j$——j 轴段另一端质量的角位移、角速度；



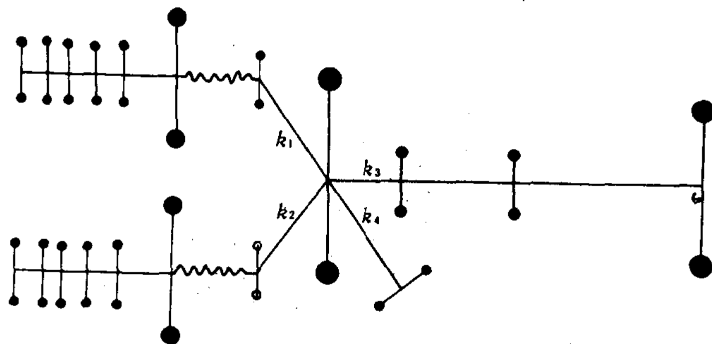


图 6.2.2—3 分支当量系统

1—发动机 1；2—发动机 2；3—传动齿箱；4—输出机械；5—螺旋桨

扭转振动的解由通解和特解组成。由于阻尼的作用，通解(瞬态振

动)很快就消失了,故工程实践中,只对特解(稳态振动)感兴趣。特解可表示为:

$$\varphi_k = A_k\sin(\omega t+\theta_k) = A_{sk}\sin\omega t + A_{ck}\cos\omega t\ (k=1,2,3\cdots\cdots n) \qquad (6.2.2—3)$$

将它代入方程(6.2.2—1)或(6.2.2—2)可以得到2n个联立代数方程,从而可确定A_k、θ_k。

2.1.3 影响计算分析精度的主要因素

1)计算模型(当量系统)与实际系统的符合程度。这主要指系统转化的合理性,惯量、刚度计算的精度,以使固有频率、振型与实际相吻合。它不仅影响自由振动计算,也影响响应计算、测试处理等,是最重要的因素。

2)激励、阻尼计算决定响应计算结果。

指导性文件[3]、[9]及本节给出当量系统合理的转化方法,并在实船测试基础上,给出激励、阻尼的配套经验公式,使固有频率计算误差在5%以内,响应计算误差大部控制在10%左右,最大误差在30%以内。

2.2 当 量 系 统

当量系统,就是把复杂的柴油机轴系转化成如图6.2.2—2,图6.2.2—3所示的集中质量——弹性系统。转化时要求当量系统能代表实际轴系的扭振特性,其自由振动计算固有频率与实际固有频率基本相同,振型与实际的基本相似。实测固有频率与计算值相差大于5%时,应对当量系统进行修正。

2.2.1 当量系统转化原则

1)柴油机曲轴以每一曲柄平面的中心作为单位气缸转动惯量的集中点。对并列连杆V型机也可以每个气缸中心线与轴线之交点作为集中点,而将每个曲柄转化为二个集中点。单位气缸转动惯量由旋转部件的转动惯量及转化到曲柄销半径处的往复部件的转动惯量组成。

2)以有较大质量部件的回转平面中心作为该部件质量的集中点。

3)弹性联轴器、气胎离合器、弹性扭振减振器等,其主动、从动惯性轮作为二个质量集中点,其刚度应取弹性元件的动态刚度值。

4)硅油减振器可简化为一个由其壳体惯量与惯性轮惯量之半组成的当量惯量。

5)以传动轴法兰接合面作为质量中心,轴的转动惯量平分加在相邻法兰的质量点上。

6)传动齿轮的主、从动齿轮可作为两个集中质量,并假设两者之间的刚度很大(一般可取轴系中最大刚度的1000倍)。齿轮装置轴系中,从动系统应转化为与柴油机转速相同的当量系统。转化公式为:

$$\left.\begin{aligned} J_1 &= J_2/i^2 \\ K_1 &= K_2/i^2 \end{aligned}\right\} \qquad (6.2.2—4)$$

式中: J_1、J_2 ——转化后、前的转动惯量,kg·m²;

K_1、K_2 ——转化后、前的扭转刚度,N·m/rad;

$i=n_1/n_2$ ——传动比;

n_1 ——柴油机转速,r/min;

n_2 ——从动轴转速,r/min。

7)装有液力耦合器的轴系,耦合器前后的轴系可分别作为两个独立的扭振系统处理。

8)柴油机、弹性联轴器、气胎离合器、变速齿轮装置、减振器等制造厂应提供经实验验证的扭振参数。

2.2.2 惯量计算

规则物体转动惯量,可应用一般公式进行计算。对于螺旋桨转动惯量,可按下式计算:

$$J_p = J_0 + ZJ_1 + \Delta J_p = K_B(J_0 + ZJ_1) \quad (6.2.2—5)$$

式中: J_0 ——轮毂转动惯量,kg·m²;

Z ——叶片数;

J_1 ——桨叶转动惯量,m²;

ΔJ_p——附加水惯量,kg·m²;

K_B ——附水系数。一般近似取 1.25;有导流管螺旋桨,取 1.35;对可调螺距螺旋桨,零螺距工况时取 1.1。

桨叶惯量近似公式

$$J_1 = \frac{\pi}{32}\rho D^3[0.166289A_1 + 0.255A_{0.6}] \quad (6.2.2—6)$$

式中: ρ ——材料质量密度,kg/m³;

D ——螺旋桨直径,m;

A_1 ——d/D=1,即叶梢处面积,m²;

A_2 ——d/D=0.6 处叶片截面积,m²。

附加水惯量近似公式:

$$\Delta J_p = 0.073\,\frac{\rho_1}{\pi}\frac{D^5}{Z}\left(\frac{H}{D}\right)^2\left(\frac{A_e}{A_D}\right) \quad (6.2.2—7)$$

式中: H/D ——平均螺距比;

A_e ——展开叶片面积,m²;

$A_D = \pi D^2/4$ ——盘面积,m²;

ρ_1——水质量密度,kg/m³。

2.2.3 刚度计算

2.2.3.1 直轴的刚度

对材料剪切弹性模量为 G,截面极惯性矩为 J_0,长度为 l 的轴段,扭转刚度为:

$$K = \frac{GJ_0}{l},\ \mathrm{N\cdot m/rad} \quad (6.2.2—8)$$

轴段串联工作时,总刚度为

$$\frac{1}{K} = \sum_i \frac{1}{K_i}$$

并联时 $K = \sum_i K_i$

2.2.3.2 弹性联轴器扭转刚度

对弹性联轴器,应采用动态刚度值

$$K = dK_s \quad (6.2.2—9)$$

式中:K_s ——静刚度值,N.m/rad;

d ——动态系数。

通常,制造厂应提供弹性联轴器的扭转刚度值。在缺乏资料情况下,可采用表 6.2.2—1 给出的公式。

对盖斯林格联轴器,其动态系数 dy 与振动频率 ω 有关:

$$\left.\begin{aligned} d_y &= 1 + 0.37\omega/\omega_0, & 0 \leqslant \omega \leqslant \omega_0; \\ d_y &= 1.1 + 0.27\omega/\omega_0, & \omega \geqslant \omega_0。\end{aligned}\right\} \quad (6.2.2—10)$$

式中：ω_0 为联轴器的特征频率。

橡胶联轴器的动态系数可近似地取：

$$d_y=0.03(S_h+10) \qquad (6.2.2-11)$$

式中：S_h 为邵氏硬度。

表 4.2.2—1 中，橡胶的剪切弹性模量 G 是材料的特征值，主要是硬度的函数（受材料配比、加硫条件变化等影响），关系如图 6.2.2—4 所示。而压缩弹性模量 E 随元件的形状、受载情况而变化。在轴向受压时，两端跟金属接触的圆柱橡胶，受压后成鼓形，其压缩弹性模量是硬度 α 和形状系数

$$\xi=\frac{受压面积}{自由面积}=\frac{D}{4h}$$

的函数，如图 6.2.2—5 所示。

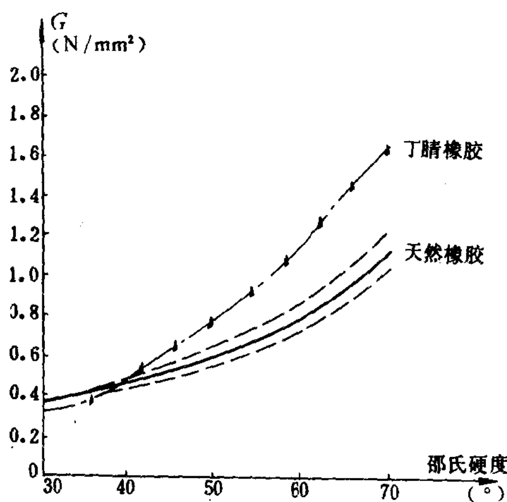


图 6.2.2—4 橡胶剪切弹性模量 G 与硬度关系

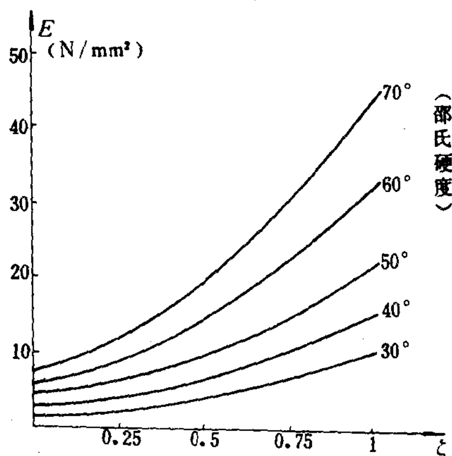


图 6.2.2—5 轴向受压下，橡胶压缩弹性模量 E 与形状系数 ξ 关系

而筒形橡胶径向受压时，弹性模量 E 与形状系数 ξ 的关系为：

$$E=G(7.5\xi-1) \qquad (6.2.2-12)$$

式中，形状系数 ξ 与 l/s 关系如图 6.2.2—6 所示。

2.2.4 柴油机扭振参数

鉴于柴油机机型有限，而曲轴形状复杂等情况，一般柴油机扭振参数不采用临时计算值，应使用制造厂提供的经校验的数值。

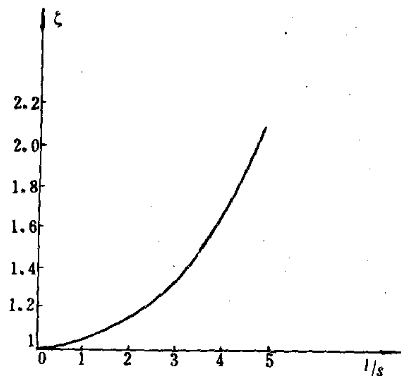


图 6.2.2—6 ξ~l/s 关系

2.3 固有频率计算

2.3.1 递推关系

图 6.2.2—2 所示多质量系统中，阻尼、激励为零时，方程（6.2.2—1a）即化为自由振动方程

$$\sum_{i=1}^{K}J_i\ddot{\varphi}_i=K_{k,k+1}(\varphi_{k+1}-\varphi_k)$$

$$(K=1,2,3,\cdots\cdots n)$$

表 6.2.2-1 **常用弹性联轴器刚度近似公式**

名称与形状	近似公式
1. 等厚度端面胶合剪切橡胶式	$K=\frac{\pi G_d}{32}\frac{D^4-d^4}{L}$ 其中 G_d——橡胶动剪切模量
2. 等强度端面胶合剪切橡胶式	$K=\frac{\pi G_d}{24}\frac{D(D^3-d^3)}{L_0}$
3. 等厚度周向胶合剪切橡胶式	$K=\frac{\pi G_d L D^2 d^2}{D^2-d^2}$
4. 等强度周向胶合剪切橡胶式	$K=\frac{\pi G_d L_i d^2}{2\ln(D/d)}$

续上表

名称与形状	近似公式
5. 塞销式橡胶联轴器	圆柱环橡胶元件 $$K=\frac{\pi(E_c+G_d)nLR^2}{\ln(D/d)}$$ 梯形环橡胶元件 $$K=\frac{\pi(E_c+G_d)mnlR^2}{D-d}$$ 其中　E_c——橡胶受压时动弹性模量 m——每只销柱上橡胶件数 n——销柱数 L——环的总厚度 l——梯形环外圆厚度
6. [illegible]压块橡胶联轴器	$$K=\frac{nE_cbLD^4}{4a}$$ 其中　a——中线弧长 b——橡胶块径向长度 L——橡胶块轴向长度 n——橡胶块数 D——中线直径
7. 经向塞式橡胶联轴器	$$\frac{1}{K}=\frac{2}{nGF}\left(\frac{1}{D}-\frac{1}{d}\right)$$ 其中　n——橡胶件数 F——橡胶件受剪面积
8. 圆柱形压缩橡胶联轴器	$$K=\frac{1}{12}(2/3E_c+E_M)nLD^2$$ 其中　n——橡胶块个数 E_c——橡胶块未变形时压缩弹性模量 E_M——橡胶块变形到填满其空隙时，压缩弹性模量 L——橡胶块长块 D——橡胶块中心直径

名称与形状	近似公式
9. 周向圆柱弹簧式 a)压缩型 b)拉伸型	$K=\frac{Gd^2nR^2}{8mD^2}$ 其中 m——弹簧有效圈数 D——弹簧圈直径 d——弹簧丝直径 n——弹簧个数 R——弹簧安装半径 G——剪切弹性模量
10. 周向套筒圈簧联轴器	$K=\frac{nbt_1^3RE(1-U^3m)}{6\pi r_1^2(1-V^3)}$ 其中 m——每组圈簧个数 n——圈簧组数 r_1——最外圈簧圆半径 b——圈簧宽度 t_1——圈簧厚度 U——相邻圈簧半径比 $U=\frac{r_i+1}{r_i}$
11. 盖斯林格联轴器 充油空腔 板簧束 充油空腔 从动件 主动件	$K=(1+0.37\frac{\omega}{\omega_0})K_s$ 当 $0\leqslant\omega\leqslant\omega_0$； $K=(1.1+0.27\frac{\omega}{\omega_0})K_s$ 当 $\omega>\omega_0$ 其中 K_s——联轴器静刚度由产品厂提供 ω_0——联轴器固有圆频率，由产品厂提供

对于振动为

$$\varphi_k=\alpha_k\sin\omega_n t$$

的情况，振幅、惯性总力矩存在递推关系：

$$\left.\begin{aligned}\alpha_k&=\alpha_k-U_k/K_{k,k+1}\\U_k&=U_{k-1}+J_k\omega^2\alpha_k\end{aligned}\right\}\qquad(6.2.2—13)$$

$$(k=1,2,3\cdots\cdots n)$$

式中，惯性总力矩

$$U_k=\sum_{i=1}^{k}J_i\omega^2\alpha_i$$

对最后一个质量 n，有 $U_n=0$。

从式(6.2.2—13)关系，当给定一个 $\omega_n{}^2$ 时，令 $\alpha_1=1$，即可递推地求出 U_1、α_2、U_2、$\alpha_3\cdots\cdots\alpha_n$、$U_n$。这样，逐渐假定 ω_n，渐近地计算到 $U_n=0$ 时，所给的 ω_n 值即为固有圆频率，相应的各振幅为相对振幅，即振型。这就是著名的霍尔茨(Holzer)表法的要点。

2.3.2 霍尔茨表法

据上述要点，列成霍尔茨表 6.2.2—2 进行固有频率计算。

计算中，先选取一个 $\omega_n{}^2$ 值，并将 J_k、$K_{k,k+1}$ 值分别填入第(1)、(6)列，第(2)列填入 $J_k\omega_n^2$，第(3)列是相对振幅，取 $\alpha_1=1$，第(4)列是 $J_k\omega_n^2\alpha_k=(2)\times(3)$，第(5)列为总惯性力矩 $U_k=\sum_{i=1}^{k}J_i\omega_n^2\alpha_i=U_{k-1}+(4)_k$。第(7)列是 $\alpha_k—\alpha_{k-1}=U_k/K_{k,k+1}=(5)/(6)$。第(8)列是轴段截面抗扭模量 $W_{k,k+1}$，对于内外直径为 d，D 的圆轴，$W_{k,k+1}=\frac{\pi D^3}{16}[1-(\frac{d}{D})^4]$。第(9)列为应力尺标 $\tau_{ok}=U_k/W_{k,k+1}=(5)/(8)$。第(3)列中，自第 2 质量起，相对振幅 $\alpha_k=(3)_{k-1}—(7)_{k-1}$。这样，自 $k=1$ 取 $\alpha_1=1$ 起循序计算，至最后质量 n 的第(5)列，得剩余力矩 U_n。当 $U_n=0$ 时，所选 ω_n 值即为轴系的一个固有频率，表 4.2.2—2 中第(3)列表示的相对振幅即为振型。

当剩余力矩 $U_n\leqslant10^{-6}$，或 U_n 符号相反的两次圆频率之差小于 10^{-4}时，则可认为所选的圆频率值即为轴系一种节点的固有频率。

通常，固有频率 $F_n=60\omega_n/2\pi$，应计算到柴油机额定转速的 16.8 倍以上。

表 6.2.2—2　　**霍尔茨表**　　$\omega_n^2=$

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	J_k	$J_k\omega^2$	α_k	$J_k\omega^2\alpha_k$	U_k	$K_{k,k+1}$	$\Delta\alpha_k$	$W_{k,k+1}$	τ_0
			$(3)_{k-1}$ $-(7)_{k-1}$	$(2)\times(3)$	$(5)_{k-1}$ $+(4)_k$		(5)/(6)		(5)/8
1			1						
2									
3									
⋮ ⋮									
n—1									
n					U_n				

2.3.3 多分支系统

随着船舶大型化及节能工作的开展，多机并联、多输出轴等复杂多分支轴系日益增多。

对多分支系统，当阻尼、激励为零时，分支点处运动方程（6.2.2—2）可写成：

$$\sum_{j=1}^{r-1}(\sum_{i=1}^{n_j}J_i\ddot{\varphi}_i)_j+K_{k,k+1}(\varphi_k-\varphi_{k+1})=0$$

并存在位移递推关系

$$\alpha_{k+1}=\alpha_k-\sum_{j=1}^{r-1}U_{n_j}x_j \qquad (6.2.2—14)$$

式中： n_j ——各分支质点数，对主支 $n_j=k$；

$Un_j=\sum_{i=1}^{n_j}j_i\omega^2\alpha_n$ ——j 分支总惯性力矩；

x_j ——j 分支端点相对振幅。

对多分支系统，固有频率计算步骤如下：

(1)选定 ω^2 值，按霍尔茨表法对各分支进行计算，得出分支点处相对振幅 α_{kj}，而主支为 α_k。

(2)据位移相容条件，j 分支端点之相对振幅 $x_j=\alpha_k/\alpha_{kj}$。

(3)按式（6.2.2—14）计算 α_{k+1}，接着按一般霍尔茨表继续计算，求出 U_n。

(4)若 $U_n\neq0$，则逐次选取 ω^2 值，迭代计算，最后求出固有频率及其它结果。

对于多机并联轴系，如图 6.2.2—7 所示，应当注意柴油机间的"同相"和"反相"振动模态。这些模态均能构成扭振破坏，切勿忽略。通常，当两个分支对称时，可将这两个分支作为一个独立系统，计算出"反相"模态下固有频率。

多分支系统中，各分支装有弹性联轴器，即在主机与减速齿轮间、以及功率输出与齿轮间安装弹性联轴器，用来缓和齿轮冲击负荷，并减少各分支间的相互动态影响。在这种情况下，振动模态很大地取决于联轴器的刚度。固有频率计算中，应注意有关功率输出分支系统可能出现的"局部"共振模态，在这种模态下，某一分支振动较大，而主支振动甚小。

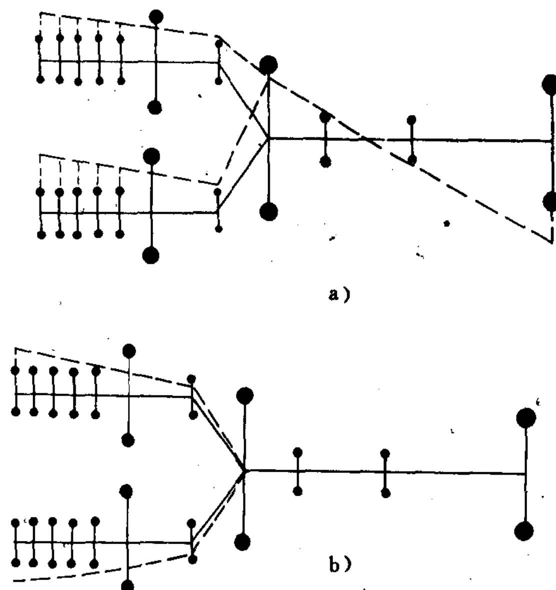


图 6.2.2—7 多分支系统的"同相"和"反相"模态
a)同相模态；b)反相模态

2.3.4 共振转速计算

对每个振动模态，扭振固有频率为：

$$f=\omega_n/2\pi, H_2 \qquad (6.2.2—15)$$

共振转速为：

$$n_c=60f/\gamma, r/min \qquad (6.2.2—16)$$

式中，γ 为简谐次数。

对四冲程柴油机，$\gamma=0.5,1,1.5,2,\cdots\cdots12$；

对二冲程柴油机，$\gamma=1,2,3,4,\cdots\cdots16$；

对螺旋桨，$\gamma=iZ_p, i=1,2,3,\cdots\cdots$，

Z_p——叶片数。

应计算的简谐次数范围，按下式确定：

$$\frac{60f}{1.4n_e}\leqslant\gamma\leqslant\frac{60f}{0.8n_{min}}$$

式中：n_e —— 柴油机额定转速，r/min；

n_{min} —— 柴油机最低稳定转速，r/min。

2.4 激 励 源

引起轴系扭振的激励力矩有：

(1)柴油机气体压力产生的激励力矩；

(2)往复运动质量产生的惯性力矩；

(3)螺旋桨、发电机等接受功率部件不能均匀吸收扭矩产生的激励力矩；

(4)齿轮装置产生的下述激励力矩：

啮合激励，其频率等于齿数乘以转速；

齿距、齿形误差，安装偏心及不平衡作用引起的激励力矩频率为齿轮轴转速；

齿轮椭圆度引起频率等于2倍齿轮轴转速激励力矩。

在计算中主要考虑前两种激励，螺旋桨叶片数谐次的激励，应予注意。

2.4.1 气体压力产生的激励力矩

柴油机气缸内气体压力产生的激励力矩是一周期函数，二冲程柴油机以一转为周期，四冲程以二转为周期。此激励可展开成：

$$T = T_0 + \sum T_\nu \sin(\upsilon\omega t + \psi_\nu), N \cdot m \qquad (6.2.2-17)$$

式中：T_0 —— 单缸平均力矩，N·m；

T_ν —— υ 谐次力矩幅，N·m；

υ —— 简谐次数；

ω —— 曲轴回转角速度，rad/s；

ψ_ν —— ν 谐次激励初相位角，rad。

υ 谐次激励力矩幅 T_ν 常表达为：

$$T_\nu = \frac{\pi D^2}{4} R C_\nu, N \cdot m \qquad (6.2.2-18)$$

式中：D —— 气缸直径，cm；

R —— 曲柄半径，cm；

C_ν —— 简谐系数。

(1)一般柴油机简谐系数 C_ν 用下式计算：

$$C_\nu = a_\nu p_i + b_\nu, N/mm^2 \qquad (6.2.2-19)$$

式中，a_ν、b_ν 为系数，由柴油机制造厂提供。

当无确切资料时，由表6.2.2—3给出。对二冲程柴油机应将 C_ν 值加倍。

表 6.2.2—3　　　　　　　　　　　**气体压力系数**

υ	a_ν	b_ν	ν	a_ν	b_ν
0.5	0.31625	0.06127	8.5	0.009625	0.01029
1	0.30705	0.13353	9	0.00875	0.00833
1.5	0.26875	0.15686	9.5	0.00820	0.00688
2	0.21125	0.14583	10	0.00770	0.00544
2.5	0.17250	0.12868	10.5	0.00713	0.00441
3	0.14000	0.11029	11	0.00650	0.00335
3.5	0.11050	0.09314	11.5	0.00600	0.00282
4	0.08500	0.07598	12	0.00550	0.00221
4.5	0.06750	0.05882	12.5	0.00510	0.00182
5	0.04850	0.04902	13	0.00470	0.00142
5.5	0.03450	0.03970	13.5	0.00440	0.00117
6	0.02625	0.03309	14	0.00410	0.00091
6.5	0.02075	0.02598	14.5	0.00380	0.00075
7	0.01675	0.02047	15	0.00360	0.00058
7.5	0.01433	0.01598	15.5	0.00340	0.00048
8	0.01138	0.01263	16	0.00320	0.00037

平均指示压力 p_i 按下述公式确定：

推进用柴油机：

$$p_i = 19100\frac{m_s P}{ZRD^2 n_e}\left[\frac{1-\eta_m}{\eta_m}+\left(\frac{n_c}{n_e}\right)^2\right], N/mm^2 \qquad (6.2.2—20)$$

发电用柴油机（$0.95 \leqslant n_c/n_e \leqslant 1.1$）：

$$p_i = 19100\frac{m_s P_g}{ZRD^2 n_e \eta_m \eta_g}, N/mm^2 \qquad (6.2.2—21)$$

空负荷运转柴油机（离合器脱开、柴油机——发电机组转速比 $n_c/n_e < 0.95$ 时）：

$$p_i = 19100\frac{m_s P}{ZRD^2 n_e}\left(\frac{1}{\eta_m \eta_d}-1\right), N/mm^2 \qquad (6.2.2—22)$$

式中：P ——柴油机额定功率，kW；

P_g ——发电机额定功率，kW；

m_s ——冲程数，四冲程 $m_s=4$；

二冲程 $m_s=2$；

n_e ——柴油机额定转速，r/min；

n_c ——计算转速，r/min；

η_m ——柴油机额定转速下机械效率；

η_g ——发电机效率，无确切数据时，取 $\eta_g=0.9$；

η_d ——从动部件效率，对发电机 $\eta_d=\eta_g$。

图 6.2.2—8 给定 $\upsilon=1,2,3,4$ 时相位角 ψ_ν 与平均指示压力 p_i 的关系，供无确切数据时查用。

(2)长冲程柴油机的简谐系数修正公式

表4.2.2—3给出的系数不适用于长冲程柴油机。这主要是由于长冲程柴油机的活塞行程S与缸径D之比S/D增大，引起示功图形状变化，使示功图之纵坐标 p_z（最高爆发压力）与 p_i 之比值 p_z/p_i 增大，示功图中“山峰”更陡削。同时，曲柄半径R与连杆长度L之比 $\lambda=R/L$ 增大，曲柄连杆机构几何形状产生变化。这些因素导致长冲程柴油机切向力波动更严重。

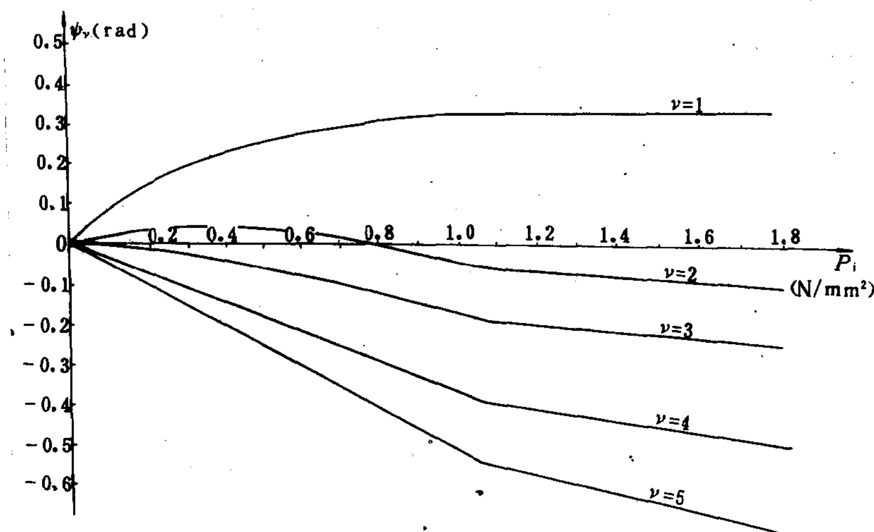


图6.2.2—8 ψ_υ—p_i 关系曲线

长冲程柴油机简谐系数修正公式为：

$$\left.\begin{aligned} C_\upsilon &= a'_\upsilon p_i + b'_\upsilon \\ a'_\upsilon &= K_\lambda K_{as} a_\upsilon \\ b'_\upsilon &= K_\lambda K_{bs} K_{bp} b_\upsilon \end{aligned}\right\} \qquad (6.2.2\text{—}23)$$

式中： a_υ、b_υ——系数，据表4.2.2—3查得；

K_λ、K_{as}、K_{bs}、K_{bp}——修正系数，由下述公式给出：

$$K_\lambda=\begin{cases} 1 & \upsilon\leqslant 4 \\ 1+\dfrac{\lambda-0.25}{0.75}\left(\dfrac{\upsilon}{9}\right)^2 & 5\leqslant\upsilon\leqslant 9 \\ 1+\dfrac{\lambda-0.25}{0.75} & \upsilon>9 \end{cases}$$

（当 $\lambda\leqslant 0.25$ 时，$K_\lambda=1$） (6.2.2—24)

$$K_{bs}=\begin{cases} 1 & \upsilon\leqslant 3 \\ 1+\left(\dfrac{S}{2D}-1.25\right)\dfrac{\upsilon}{9} & \upsilon\geqslant 4 \end{cases}$$

（当 $S/D\leqslant 2.5$ 时，$K_{bs}=1$） (6.2.2—25)

$$K_{bp}=\begin{cases} 1 & \upsilon\leqslant 2 \\ 1+\left(\dfrac{p_e}{7.5p_i}-1\right) & \upsilon\geqslant 4 \end{cases}$$

（当 $p_e/p_i\leqslant 7.5$ 时，$K_{bp}=1$，p_z/p_i 指额定转速时的比值） (6.2.2—26)

各谐次下 K_{as} 值，如表6.2.2—4所示。

表 6.2.2—4　　K_{as}值（当 S/D≤2 时，$K_{as}=1$）

υ	K_{as}	υ	K_{as}	υ	K_{as}	υ	K_{as}
1	1	4	1.3(S/2D)	7	1.75(S/2D)	10	1.2(S/2D)
2	S/2D	5	1.45(S/2D)	8	1.75(S/2D)	11	1.1(S/2D)
3	1.15(S/2D)	6	1.6(S/2D)	9	1.4(S/2D)	≥12	S/2D

2.4.2 往复惯性力产生的激励力矩

柴油机活塞、活塞杆及连杆等运动时引起的往复惯性力，在曲柄销处也产生切向力 p_{it}，及相应的激励力矩 T_I。切向力 p_{It}展开成三角函数级时，通常只考虑到四次，即

$$p_{it}=\frac{m_b\omega^2R}{\frac{\pi D^2}{4}}\cdot 10^{-4}\left[\left(\frac{\lambda}{4}+\frac{\lambda^3}{10}\right)\sin\omega t-\left(\frac{1}{2}+\frac{\lambda^4}{32}\right)\cdot\sin 2\omega t-\left(\frac{3}{4}\lambda+\frac{9\lambda^3}{32}\right)\cdot\sin 3\omega t-\left(\frac{\lambda^2}{4}+\frac{\lambda^4}{8}\right)\sin 4\omega t\right]\quad N/mm^2 \qquad (6.2.2—27)$$

式中，m_b 为往复运动质量，kg。

2.4.3 合成切向力简谐系数

同谐次的柴油机气体力与惯性力产生的合成切向力简谐系数$\overline{C}_\nu$按下式计算：

$$\overline{C}_\nu=\sqrt{C_\nu^2+\left(\frac{m_bRn_c}{D^2}d_\nu\right)^2+2C_\nu\left(\frac{m_bRn_c}{D^2}d_\nu\right)\cos\psi_\nu}\quad N/mm^2 \qquad (6.2.2—28)$$

式中，系数 d_ν 按表 6.2.2—5a)计算。

表 6.2.2—5a)　　**系 数 d_ν 值**

ν	d_ν	ν	d_ν
1	$0.35320\lambda\cdot 10^{-6}$	3	$-1.10902\lambda.10^{-6}$
2	$-0.72581\cdot 10^{-6}$	4	$-0.37238\lambda^2\cdot 10^{-6}$

2.4.4 螺旋桨激励力矩

螺旋桨引起的激励力矩可按螺旋桨轴回转角速度 ω_p(rad/s)展开成三角函数级数：

$$T_p=T_0+\sum_{k=1}^{\infty}T_{kzp}\sin(kZ_p\omega t+\psi_{kzp})\quad N.m \qquad (6.2.2—29)$$

式中：Z_p ——螺旋桨叶片数；

T_{kzp} ——kZ_p 谐次激励力矩幅，N·m；

T_0 ——平均扭矩，N·m；

ψ_{kzp} ——kZp 谐次激励力矩与桨叶中心线间的相位角，rad。

螺旋桨激励力矩幅、相位角据代表半径为 0.7R 处伴流系数 ω_a 及螺旋桨敞水特征试验得出的转矩系数 K_q 及 K'_q 确定：

$$\left.\begin{aligned}T_{kZp}&=T_0\frac{K'_q}{K_q}\frac{J_0}{1-\omega_0}\sqrt{\omega_{kZ_p}^2c+\omega_{kZ_p}^2s}\quad N.m\\ \psi_{kZp}&=\tan^{-1}(\omega_{kZ_p}s/\omega_{kZ_p}c)\quad rad\end{aligned}\right\}\qquad (6.2.2—30)$$

式中：$T_0=9549.3\frac{P}{n_p}\left(\frac{n}{n_p}\right)^2$ ——平均扭矩，N.m；

P ——额定功率，kW；

n_p ——螺旋桨额定转速，r/min；

n——运转转速，r/min；

K_q——前进系数 j_0 时扭矩系数；

$$K'_q=-\left(\frac{dK_q}{dJ}\right)j=j_0$$

$J_0=\frac{6V}{n_pD_p}(1-\omega_0)$——前进系数；

V——船速，m/s；

$D_p=2R$ ——螺旋桨直径，m；

ω_0、ω_{1c}、ω_{1s}……ωk_{Zpc}、ω_{kZps}……为伴流 ω_a 的谐调成分：

$$\omega_a=\omega_0+\sum_{\nu=1}^{\infty}\omega_{r..c}\cos\upsilon\omega_p t+\omega_{r..s}\sin\upsilon\omega_p t$$

当缺乏伴流场等数据时，螺旋桨叶片次数的激励力矩，可用下式估算：

$$T_{Z_p}=\beta T_0,N.m \qquad (6.2.2—31)$$

式中，β——经验系数，对偶数叶片桨，β=0.15～0.2；

对奇数叶片桨，β=0.03～0.07。

此时，相位角未能确定，可取 $\psi_{Zp}=0$。

2.4.5 柴油机激励力矩功

假定柴油机各缸的运动质量、燃烧状态相同，而且轴系共振时振动形式和自由振动振型相同，则柴油机 ν 谐次激励在一个振动循环内所做的功 W_{te} 为

$$W_{te}=\pi T_\nu\sum\vec{\alpha}A_1,N\cdot m \qquad (6.2.2—32)$$

式中：A_1 ——第 1 质量振幅，rad；

$\sum\vec{\alpha}$ ——相对振幅矢量和。

对直列式柴油机，相对振幅矢量和为

$$\sum\vec{\alpha}=\sqrt{\left(\sum_{k=1}^{e}\alpha_k\sin\upsilon\psi_{1,k}\right)^2+\left(\sum_{k=1}^{Z}\alpha_k\cos\upsilon\psi_{1,k}\right)^2} \qquad (6.2.2—33)$$

对 V 型柴油机，相对振幅矢量和为

$$\left(\sum\vec{\alpha}\right)_v=\sum\vec{\alpha}\cdot 2\cos\frac{\nu\xi_{1.2}}{2} \qquad (6.2.2—34)$$

式中：α_k ——第 k 缸质量点相对振幅；

Z——气缸数；

$\psi_{1,k}$——第 k 缸与第 1 缸的发火间隙角，rad；

$\xi_{1.2}$ ——两列相同编号气缸间的发火夹角，rad。

2.4.6 考虑螺旋桨激励时系统激励力矩功

如图 6.2.2—9 所示，当需要考虑螺旋桨激励时，应考虑柴油机激励力矩与螺旋桨激励力矩之间的相位关系

当谐次 $\nu=k_{Z_p}$ 时，系统激励力矩功为

$$W_T=\sqrt{W_{te}^2+W_{tp}^2+2W_{te}W_{tp}\cos\Delta\psi} \quad N\cdot m \qquad (6.2.2—35)$$

式中：$W_{tP}=\pi T_{kZp}\alpha_p A_1$——螺旋桨激励力矩功，N·m；

α_P ——螺旋桨相对振幅；

$\Delta\psi$——柴油机与螺旋桨激励力矩间的相位角，由下式确定：

$$\Delta\psi = K_{Z_p}\beta_p + \psi_{kZ_p} - (\psi_\nu + \psi_e), \mathrm{rad} \qquad (6.2.2—36)$$

其中： β_p ——桨叶中心线与柴油机第1缸(从自由端算起，下同)上止点间的夹角，rad；

ψ_{kZ_p} ——$\nu = kZ_p$ 谐次螺旋桨激励力矩与桨叶中心线的夹角，rad

ψ_ν ——ν 谐次柴油机第1缸激励与上止点间的相位角，rad；

ψ_e ——柴油机合成激励力矩与第1缸激励力矩间的相位角。

$$\psi_e = \tan^{-1}\frac{\sum \alpha_k \sin\nu\xi_{1,k}}{\sum \alpha_k \cos\nu\xi_{1,k}}, \mathrm{rad} \qquad (6.2.2—37)$$

2.5 阻尼计算

图6.2.2—9 柴油机激励力矩与螺旋桨激励力矩间的相位关系

2.5.1 轴系扭振阻尼种类

(1)部件与外界摩擦产生的外阻尼，其阻尼力矩 M_c 与阻尼系数 C_k 为：

$$\left.\begin{aligned} M_c &= -c_k\dot{\varphi}_k, \quad \mathrm{N\cdot m} \\ c_k &= \mu J_k \omega, \quad \mathrm{N\cdot m\cdot s/rad} \end{aligned}\right\} \qquad (6.2.2—38)$$

在一个振动循环内阻尼功 W_c 与单位振幅阻尼功 W_{co}($A_1=1$时)为：

$$\left.\begin{aligned} W_c &= W_{co}A_1^2 \quad \mathrm{N\cdot m} \\ W_{co} &= \pi\mu\omega^2 J_k \alpha_k^2 \quad \mathrm{N\cdot m/rad} \end{aligned}\right\} \qquad (6.2.2—39)$$

式中：μ——为阻尼因子。

(2)材料内部扭转变形产生的迟滞阻尼，其阻尼力矩 M_c 与阻尼系数 $C_{k,k+1}$ 为：

$$\left.\begin{aligned} M_c &= -C_{k,k+1}(\dot{\varphi}_k - \dot{\varphi}_{k+1}), \quad \mathrm{N\cdot m} \\ C_{k,k+1} &= \psi K_{k,k+1}/2\pi\omega, \quad \mathrm{N\cdot m\cdot s/rad} \end{aligned}\right\} \qquad (6.2.2—40)$$

阻尼功 W_c 与单位振幅阻尼功 W_{co} 为：

$$\left.\begin{aligned} W_c &= W_{co}A_1^2, \quad \mathrm{N\cdot m} \\ W_{co} &= \frac{1}{2}\psi K_{k,k+1}(\alpha_k - \alpha_{k+1})^2, \quad \mathrm{N\cdot m/rad} \end{aligned}\right\} \qquad (6.2.2—41)$$

式中：ψ——为损失系数。

(3)磁场阻尼，如发电机转子受到的阻尼，可表达为外阻尼形式。

2.5.2 各部件单位振幅阻尼功

(1)柴油机阻尼功 W_{ce}

$$W_{ce} = \mu_e \pi\omega^2 \sum_{k=1}^{z} J_k \alpha_k^2, \quad \mathrm{N\cdot m/rad} \qquad (6.2.2—42)$$

式中： μ_e——阻尼因子，由柴油机制造厂提供，或典型装置实验得出。无确切数据时，一般取 $\mu_e = 0.04$；对直列式柴油机轴系的双节和三节振动取 $\mu_e = 0.025$；

$\sum_{k=1}^{z} J_k \alpha_k^2$——各缸转动惯量与相对振幅平方积之和。

(2)减振器阻尼功 W_{cd}

i)硅油减振器阻尼功

$$W_{cd} = \mu_d \pi\omega^2 J_d \alpha_d^2, \quad \mathrm{N\cdot m/rad} \qquad (6.2.2—43)$$

式中：μ_d——阻尼因子，由制造厂提供。在最佳谐时，$\mu_d=0.5$；

J_d——惯性轮惯量，$kg\cdot m^2$；

α_d——减振器相对振幅。

ii)阻尼弹性减振器阻尼功

$$W_d=\frac{1}{2}\psi_d K_d(\Delta\alpha_d)^2 \qquad N\cdot m/rad \qquad (6.2.2-44)$$

式中：ψ_d——减振器损失系数，由制造厂提供；

K_d——减振器刚度，$N\cdot m/rad$；

$\Delta\alpha_d$——减振器主、从动端相对振幅差。

(3)螺旋桨阻尼功

$$W_{cp}=3140a\frac{P_p}{n_e^3}\nu n_c^2\alpha_p^2, \qquad N\cdot m/rad \qquad (6.2.2-45)$$

式中：P_p——额定转速时螺旋桨吸收功率，kW；

n_e——发动机额定转速，r/min；

α_p——螺旋桨相对振幅；

a——系数，其值可据盘面比 A_e/A_c、螺距比 H/D_p 及力矩系数 A_g 确定。

力矩系数 A_g 系数 a 按下式计算：

$$A_g=33.985\cdot 10^{16}\frac{P}{n_p^3 D_p^5} \qquad (6.2.2-46)$$

$$a=5\frac{A_e}{A_0}\frac{H}{D_p}\left[\frac{H/D_p+0.5}{0.0066(A_g+\frac{2A_e}{A_0})(\frac{A_e}{A_0}+\frac{1}{2Z_p})}+V\right] \qquad (6.2.2-47)$$

若 $a<19.5$，取 $a=19.5$。若 $a>51$，取 $a=51$。

式中：n_p——螺旋桨额定转速，r/min；

D_p——螺旋桨直径，cm；

H——螺距，cm；

Z_p——桨叶数；

A_e——桨叶展开面积，cm^2；

$A_0=\pi D_p^2/4$——盘面积，cm^2；

当 $Z_p=4$时，$V=1$。

当 $Z_p=3,5$时，$V=4/3$。

在缺乏资料时，近似地取 $a=30$。

(4)轴段阻尼功

$$W_{cS}=0.032\sum K_{k,k+1}(\alpha_k-\alpha_{k+1})^2, \qquad N\cdot m/rad \qquad (6.2.2-48)$$

式中，Σ包括除曲轴、弹性联轴器等弹性元件以外的所有轴段。

(5)弹性联轴器阻尼功

$$W_{cr}=\frac{1}{2}\psi_r K_r(\Delta\alpha_r)^2, \qquad N\cdot m/rad \qquad (6.2.2-49)$$

式中：ψ_r——损失系数，由制造厂提供或典型装置试验得出；

K_r——联轴器刚度，$N\cdot m/rad$；

$\Delta\alpha_r$——联轴器主、从动端相对振幅差。

(6)水力测功器阻尼功

$$W_{cw}=3140b\frac{P_w}{n_e^3}\nu n_c^2\alpha_w^2 \qquad N\cdot m/rad \qquad (6.2.2—50)$$

式中： b ——系数，制造厂提供，在缺乏资料时可取 b=5.5；

P_w ——额定转速时测功器吸收功率，kw；

α_w ——测功器相对振幅。

(7) 发电机阻尼功

i)直流发电机阻尼功

$$W_{cg}=\zeta_g\pi\omega\frac{T_g}{n_g}\alpha_g^2 \qquad N\cdot m/rad \qquad (6.2.2—51)$$

式中：ζ_g ——系数，S_g=125～135；

T_g——发电机轴负荷，N·m；

n_g ——发电机转速，r/min；

α_g ——发电机转子相对振幅。

ii)交流发电机阻尼功

一般情况下，交流发电机的阻尼可忽略。对装有阻尼线圈的情况，其阻尼功可按直流机公式(6.2.2—51)估算。

2.6 响应计算

2.6.1 近似计算

近似计算采用能量法，它建立在下述基础上：

1)共振时激励输入的能量完全消耗在克服系统的各种阻尼上；

2)可单独考虑与系统发生共振的谐次的激励力矩；

3)假设共振时的振动形式与频率相同的自由振动的振型相同。

这样，据激励力矩功 W_T 等于系统总阻尼功，可求出第1 质量共振振幅：

$$A_1=\frac{W_T}{W_c},rad \qquad (6.2.2—52)$$

式中，$W_c=W_{ce}+W_{cd}+W_{cs}+W_{cr}+W_{cp}+\cdots\cdots$为系统各部件总阻尼功 N·m/rad。

2.6.1.1 共振应力与力矩

(1)轴段共振应力

$$\tau_{k,k+1}=i_k\tau_0A_1 \qquad N/mm^2 \qquad (6.2.2—53)$$

式中： τ_0——应力尺标，由霍尔茨表查得；

$i_k=n_1/n_k$ ——速比；

n_k——轴段转速，r/min；

其中：

n_1——柴油机转速，r/min。

(2)齿轮啮合力矩

$$M_{ge}=\omega^2 i_{ge}\sum_{k=1}^{g_e}J_k\alpha_k \qquad N\cdot m \qquad (6.2.2—54)$$

式中：g_e——主动齿轮质量号；

i_{gc}——主动齿轮速比。

(3)弹性联轴器振动扭矩

$$M_r=\omega^{2}i_{r}^{2}A_1\sum_{k=1}^{r}J_k\alpha_k \qquad N\cdot m \qquad (6.2.2—55)$$

式中： r ——联轴器主动端质量号；

i_r ——联轴器速比。

(4)发电机转子处振动惯性力矩

$$M_g=J_g\omega^2 i_g\alpha_g A_1 \qquad N\cdot m \qquad (6.2.2—56)$$

式中： J_g ——发电机转子惯量，$kg\cdot m^2$；

α_g——转子相对振幅 ；

i_g——转子速比。

发电机转子处电角

$$\theta_g=\frac{180}{\pi}p\alpha_g A_1,(^\circ) \qquad (6.2.2—57)$$

式中，p 为发电机磁极对数。

2.6.1.2 非共振计算

在共振区附近的第1质量振幅 A'_1，轴段应力 $\tau'_{k,k+1}$可近似地按下式计算

$$\left.\begin{aligned}A'_1+A_1/\sqrt{\left[1-\left(\frac{n}{n_c}\right)^2\right]^2Q^2+\left(\frac{n}{n_c}\right)^2},rad\\ \tau_{k,k+1}=\tau_{k,k+1}/\sqrt{\left[1-\left(\frac{n}{n_c}\right)^2\right]^2Q^2+\left(\frac{n}{n_c}\right)^2}, \qquad N/mm^2\end{aligned}\right\} \qquad (6.2.2—58)$$

式中：A_1、$\tau_{k,k+1}$——共振振幅、应力；

n——计算工况转速，r/min；

n_c——共振转速，r/min；

Q——总放大系数，$Q=\frac{\pi\omega^2\sum_{k=1}^{n}J_k\alpha_k^{\ 2}}{W_c}$

2.6.2 解析法

能量法计算中，假定响应的振动形式与自由振动振型一致。这对小阻尼情况下的共振计算，有较好的近似性，加以方法简便，于是，得到广泛应用。

多机并联、多轴输出使轴系复杂化，高阻尼部件的存在，齿轮、高弹性联轴器的应用，对轴系扭振计算提出更高要求。基于振型假设的能量法在下述情况时，将引起较大误差，或不能满足需要，而应对方程(6.2.2—1)、(6.2.2—2)按解析法求解：

i)大阻尼系统；

ii)几个共振转速靠近，不能分开处理；

iii)共振转速的波坡在柴油机常用转速有明显的影响；

Ⅳ)在远离共振转速时，求齿轮、弹性联轴器等敏感元件的振动扭矩。

解析法很多，均可使用。

2.7 特殊扭转振动现象

2.7.1 滚振[11]、[12]

滚振是指轴系中各点等值同向的周向振动，轴上没有节点，不产生变形与应力，也叫零节点振动。当激励频率 ω 趋于零时，滚振振幅于无穷大。于是，发动机低转速时，滚振较大，使稳定性变差。

滚振振幅、相位可按下式计算

$$\left.\begin{aligned} A_{ro} &= \frac{\frac{\pi D^2}{4} R C_\nu (\Sigma \vec{\alpha})_{ro}}{\sqrt{(\sum_{K=1}^{n}(J_k\omega^2))^2 + (\sum_{K=1}^{n} c_k\omega)^2}} \\ \psi_{ro} &= \tan^{-1}\frac{\sum_{k=1}^{Z}\sin\nu\psi_{i,k}}{\sum_{k=1}^{Z}\cos\nu\psi_{i,k}} - \tan^{-1}\frac{\sum_{k=1}^{n} c_k}{\sum_{k=1}^{n} J_k\omega} \end{aligned}\right\} \qquad (6.2.2\text{—}59)$$

式中：$(\Sigma \vec{\alpha})r_o = \sqrt{(\sum_{k=1}^{z}\sin\nu\psi_{i,k})^2 + (\sum_{k=1}^{z}\cos\nu\psi_{i,k})^2}$；

$\psi_{1.k}$——第 k 气缸与第1缸间发火间隙角。

如图6.2.2—10所示，在扭振测试中，同时将滚振记录下来，分析时应将它扣除去。但实践表明，利用式(6.2.2—59)进行理论计算来扣除滚振影响，并不很理想。为此，用下述试验办法，可得到较满意的结果：由于滚振在轴系中任一点是等值同向的，于是轴系中两个测点的振幅差与滚振无关，即已排除了滚振的影响。设两个测点的相对振幅为 α_1、α_2，测量振幅为 A_1、A_2，则当 α_1、α_2同相时，轴段应力、力矩为

$$\left.\begin{aligned} \tau_{k,k+1} &= i_k\tau_0(A_1 - A_2)/(\alpha_1 - \alpha_2) \\ M_{K,k+1} &= i_k U_{k,k+1}(A_1 - A_2)/(\alpha_1 - \alpha_2) \end{aligned}\right\} \qquad (6.2.2\text{—}60)$$

当 α_1. α_2反相时，

$$\left.\begin{aligned} \tau_{K,k+1} &= i_k\tau_o(A_1 + A_2)/(\alpha_1 + \alpha_2) \\ M_{k.k+1} &= i_k U_{k.k+1}(A_1 + A_2)/(\alpha_1 + \alpha_2) \end{aligned}\right\} \qquad (6.2.2\text{—}61)$$

式中：i_k ——转速比；

τ_o——应力尺标；

$U_{k,k+1}$ ——相对弹性力矩。

2.7.2　一缸不发火扭振计算

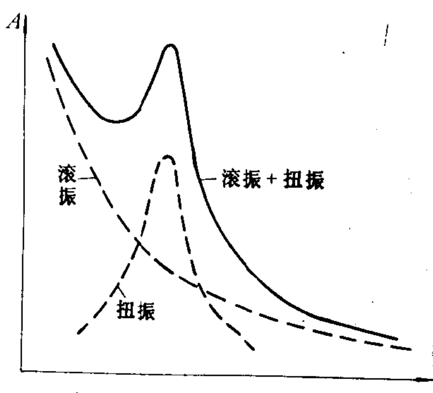


图6.2.2—10　滚振影响

这里所讨论的一缸不发火是指一个气缸停止供油，而运动部件并未拆除的情况。此时，轴系当量系统不变，但会使非主谐振动增大。

对装有弹性联轴器或齿轮传动装置的轴系，应进行一缸不发火扭振计算。对发电机装置以及燃烧劣质重油的柴油机轴系，建议进行此种计算。简单估算法

1)不发火气缸的平均指示压力近似地取零。相应的气体压力引起的简谐系数为 b_ν，它与惯性力合成切向力的简谐系数$\overline{C}_{\nu mis}$按式(6.2.2—28)计算。

2)其它气缸的平均指示压力

$$p_{imis} = \frac{Z}{Z-1}p_i, \text{N/mm}^2 \qquad (6.2.2\text{—}62)$$

式中 p_i 按式(6.2.2—20)～(6.2.2—22)计算。气体压力引起的 ν 谐简谐系数，如

$$c_{vgmis}=a\nu p_{imis}+b_v \qquad N/mm^2 \qquad (6.2.2—63)$$

它与惯性力合成切向力的简谐系数 C_{vmis} 按式(6.2.2—28)计算

3)一缸不发火的相对振幅矢量和为：

$$\Sigma\vec{\alpha}_{mis}=\sqrt{(\sum_{k=1}^{n}\beta_k\alpha_k\sin\nu\psi_{1,k})^2+(\sum_{k=1}^{z}\beta_k\alpha_k\cos\nu\psi_{1,k})^2} \qquad (6.2.2—64)$$

式中：β_k——系数，对不发火气缸

$$\beta_k=\overline{C}_{vmis}/C_{vmis}$$

其它气缸 $\beta_k=1$.

4)一缸不发火影响系数：

$$\gamma=c_{vmis}\Sigma\vec{\alpha}_{vmis}/(c_v\Sigma\vec{\alpha}_v) \qquad (6.2.2—65)$$

式中，c_v、$\Sigma\vec{\alpha}_v$ 为正常发火时的简谐系数、相对振幅矢量和。

5)振幅、应力和扭矩按下式计算

$$\left.\begin{aligned}A_{1miS}&=\nu A_1,rad\\(\tau_{k,k+1})_{mis}&=\nu\tau_{k,k+1},N/mm^2\\(M_{k,k+1})_{mis}&=\nu M_{k,k+1},N.m\end{aligned}\right\} \qquad (6.2.2—66)$$

式中 A_1、A_{1mis}、$\tau_{k,k+1}$、$(\tau_{k,k+1})mis$、$M_{k,k+1}$ $(M_{k,k+1})_{mis}$ 分别为正常发火与一缸不发火时第1质量振幅、轴段应力和部件扭矩。

2.7.3 低谐次振动

应用高弹性联轴器时，在使用转速范围内，可避开主谐次共振，但在常用转速内常出现低谐次共振。对于这些低谐次激励，理论上其相对振幅矢量和甚小，不会引起重大振动。然而，经验表明，恰恰是0.5～1.5谐次共振能引起相当大的振动。这是由于所有气缸的激励并不相等，其低谐次合成激励比理论计算结果要大得多，从而引起低谐次振动。但各缸激励的差异及其分布甚不规则，估算较困难。

改善各缸燃烧状态对减小低谐次振动是重要的。在设计阶段可用假定一缸燃烧不良进行简单估算。这样，低谐次振动相对振幅矢量和

$$\Sigma\vec{\alpha}_{low}=\sqrt{[\sum_{k=1}^{z}(\beta_k)_{low}\alpha_k\sin\nu\psi_{1,k}]^2+[\sum_{k=1}^{z}(\beta_k)_{low}\alpha_k\cos\nu\psi_{1,k}]^2} \qquad (6.2.2—67)$$

式中：$(\beta_k)_{low}$ 是燃烧不良系数，假定一缸燃烧不良取表6.2.2—5b)中数值，对其它缸，(βκ)lθω=1。

低谐次影响系数 $$\nu_{low}=\Sigma\vec{\alpha}\nu_{low}/\Sigma\vec{\alpha}_v \qquad (6.2.2—68)$$

式中，$\Sigma\vec{\alpha}_v$ 为正常发火时相对振幅矢量和。

低谐次振动的振幅、应力和扭矩按其正常发火值乘以影响系数求得。

表6.2.2—5b) **燃烧不良系数** $(\beta_K)_{low}$

气缸数	型　式	$(\beta_k)_{low}$
6	直　列	0.70
8	直　列	0.60
12	V 型 机	0.40
16	V 型 机	0.40
20	V 型 机	0.10

低谐次扭振还受调速器振荡的影响。调速系统具有转向扩大器的特性，导致弹性联轴器、减速齿轮等部件的振动负荷相当大地增加。

2.7.4 偏振[11]

偏振是发动机正常运转时，在构造完全对称的两个分支上，由于激励并不对称而造成的一侧振动大于另一侧的现象。

凸轮轴或喷油泵两侧对称布置的V型发动机潜在着偏振，可能产生喷油泵传动系统的单侧损坏。

如图6.2.2—11所示，由于主系统平行振型与分支系统的局部振动对称振型同时出现而相叠加，分支中一侧为相加，另一侧为相减。这样，导致了对称分支的偏振。

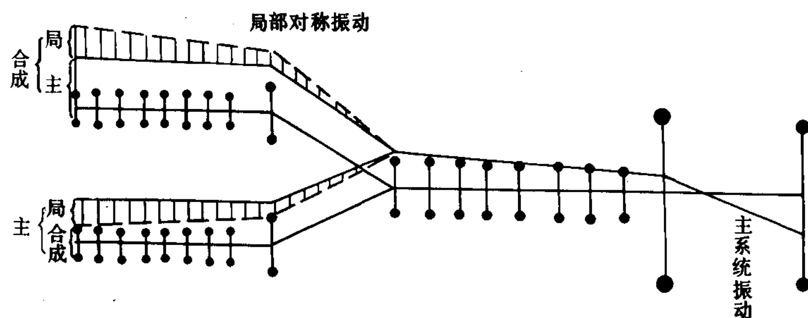


图6.2.2—11 偏振示意图

偏振只能是由于主、副分支系统上同时作用的同谐次激励引起的，即主、副系统的振动频率必须相等。

影响偏振的主要因素是：激励频率与固有频率的比值、激励简谐次数、V形面内两气缸的发火间隙角、主副系统的两个同谐次激励间的相位角等。

在设计阶段，预计偏振的步骤是：

1)计算主系统单节点，双节点固有频率；

2)计算副系统单节点固有频率；

3)选取主、副系统各同谐次共振转速及其之间的一些转速，额定转速；

4)在虑及主、副系统激励及相位下，按解析法进行响应计算，求出偏振谐阵，即副系统两侧振动与转速关系，判断是否存在危害。

2.7.5 柴油机变惯量扭转振动

在柴油机船舶轴系损坏事故中，发现有由于忽略柴油机往复运动部件的惯量变化，计算应力比实际的小，未能及时发现隐藏的问题。

在实际上，曲柄在不同转角时，往复惯量是变化的，对低速重型柴油机，低速长冲程柴油机，应加以注意。

柴油机变惯量扭振方程是变系数的二阶微分方程，属非线性方程，数学求解相当繁难。

考虑变惯量后，共振时，除了主谐次 ν 外还伴生了 $\nu\pm2$谐次的振动，即“二次振动”。这是变惯量扭振的特征。因此，在测试中，若发现 $\nu\pm2$谐次振动较大就应考虑变惯量影响的问题。

2.8 减振措施

2.8.1 常用减振措施

为避免轴系扭振造成的严重危害，通过计算，轴系应满足规范[1]、[2]要求，否则应采取预防

措施。

柴油机制造厂除应提供扭振参数外，还应对各种可能的装置进行扭振计算，以确定适应的飞轮惯量或装设减振器等。此外，发火顺序、V型夹角、曲轴结构尺寸等的确定，也应考虑扭振的影响。

实践中，常见减振、预防措施如下述。

2.8.1.1 调频

在 $n/n_e=0.9\sim1.03$转速范围内有危害的扭共振时，应采用调频或调频减振方法把共振转速移到常用转速以外，而尽可能不用阻尼减振器减小振动的办法。

一般应把 $\nu/2$谐次（四冲程）和 E 谐次的共振转速移到 $n/n_e=0.8\sim1.4$范围以外。在 $n/n_e<0.8$的转速范围内，轴段应力、部件扭矩小于规范[1]、[2]规定的瞬时允许值时，可以设置转速禁区。此时，转速表上应用红色标明禁区范围，且应校准转速表读数，使其误差在2%以内。

调频靠改变系统刚度、惯量来实现。常用措施及效用如下：

1）增大轴径可使单节点共振转速提高，并降低轴段扭振应力；减小轴径可降低单节点共振转速。

2）增大轴的长度，可降低单节点共振转速，并改变2、3节点振动振型，使中间轴上的相对振幅增大。

3）装高弹性联轴器，可有效地降低单节共振转速，缓和齿轮间的撞击。但应注意是否移动其它节点的共振转速。

4）改变飞轮惯量，或在曲轴自由端装副飞轮，或在中间轴上相对振幅较大处装附加惯量，可改变单、双节点共振转速及振型。

2.8.1.2 减小激励

减小激励使输入系统的振动能量减少，可直接降低振幅。主要方法有：

（1）改变发火顺序，可把在常用转速范围内的直列机的副谐次和V型机的主、副谐次的相对振幅矢量和减小，从而降低这些谐次的激励能。但是，应注意其它谐次相对振幅矢量和的增大。

（2）在曲轴自由端装副飞轮，调整主机飞轮惯量，可改变曲轴中节点的位置，降低主谐次相对振幅矢量和，减小其激励能。

（3）合理选择螺旋桨桨叶中心线与柴油机第1缸上止点间的夹角，使柴油机激励力矩与螺旋桨激励力矩的相位相反，而相互抵消。通常，为避免这两种激励相互叠加，及安装方便，尽量使螺旋桨叶片数与主机主谐次数相同。

2.8.1.3 减振

（1）安装弹性阻尼减振器或阻尼减振器来降低轴系扭振。减振器一般装在柴油机自由端，阻尼减振器也可装在中间轴相对振幅较大处。减振器设计制造应保证安全可靠，营运中要定期检查，以防止因其失效造成轴系部件的疲劳破坏。

（2）轴系安装高阻尼弹性联轴节，当其主、从动端相对振幅差较大时，可收到良好的减振效果。

（3）在曲轴自由端装副飞轮或增大主机飞轮惯量，可加大单节振动螺旋桨相对振幅，提高螺旋桨阻尼作用，减小单节点振动。

2.8.1.4 抗振

增大危险轴段的直径，可以直接降低其扭共振应力，同时由于轴径增大后，它比规范要求

的轴径大而有了富余尺寸，允许扭振应力相应地也提高了。另外，轴段采用抗拉强度高于430N/mm²的材料时。可以提高其许用应力$(\sigma_b+184)/618$倍。(σ_b 为材料抗拉强度，N/mm²)。若同时增大轴径并改善材料，则更可提高其抗振能力。

2.8.2 减振器

减振器主要靠调频和阻尼的作用，达到减振目的。按其作用原理，可分成动力减振器、阻尼减振器、阻尼弹性减振器等。下面介绍常用的减振器，只叙述主要原理。

2.8.2.1 硅油减振器

如图6.2.2—12所示，硅油减振器由封装外壳内的惯性环组成，两部件间的周向与侧向的很小间隙中充满着硅油。当外壳随振动轴一起扭振时，惯性环基本上保持等速转动，这样，它们存在相对扭转，使硅油摩擦而产生阻尼，消耗振动能，起减振作用。

图6.2.2—12 硅油减振器示意图
1—惯性环；2—外壳；3—硅油

硅油减振器是非调谐的，属阻尼器。它不会引起一个增加的共振，只使原系统共振转速略有降低，它使振幅减小且作用范围较广。

装了硅油减振器的轴系，当其阻尼为零(无硅油)时，不起减振作用，共振频率接近于原系统固有频率 ω_n；当阻尼为无穷大时，惯性环与外壳间相当于刚性连接，两者之间无相对扭转，不产生阻尼功，也不起减振作用，只对系统多附加了惯量，使固有频率下降至 ω_∞. 如图6.2.2—13所示，它们的共振曲线相交 p 点。理论证明，减振器各种阻尼下的共振曲线均通过 p 点，称 p 为定点。显然，以定点为峰顶的共振曲线所对应的减振器阻尼系数即为最佳阻尼。据双扭摆简化当量系统，导得定点频率

$$\omega_p^2=\frac{2}{\nu+2}\omega_n^2,\mathrm{rad/s} \quad (6.2.2—69)$$

最佳阻尼因子

$$\mu_d=\frac{c_p}{j_d\omega_n}=\frac{2}{\sqrt{2(1+\nu)(2+\nu)}} \quad (6.2.2—70)$$

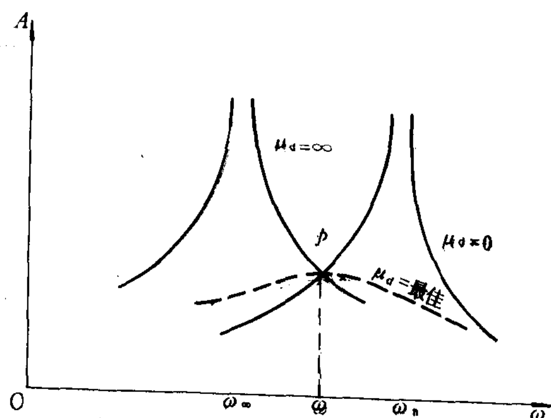


图6.2.2—13 硅油减振器机理图

式中：ω_n ——原系统固有圆频率，rad/s；

J_d——惯性环转动惯量，kg·m²；

$\nu=J_a/J_e$ ——惯量比；

$J_e=\sum_{i=1}^{Z}J_{cyl}\alpha_i^2$ —— 发动机当量惯量，从无减振器的原系统霍尔茨表确定，kg·m²。

鉴于双扭摆简化引起误差，上述公式所得最佳阻尼仅是一个近似值，尚需按多质量系统作响应计算，以确定定点 p 及最佳阻尼比 μ_d。

2.8.2.2 阻尼弹性减振器

这种减振器由跟振动系连结的主动件、惯性盘、以及连接它们的弹性元件、阻尼四个要素构成。如图6.2.2—14a)、b)、c)、d)所示，圈簧式减振器、簧片式减振器、橡胶减振器、橡胶硅油减振器等均属这类减振器，型式众多。图6.2.2—14a)、b)所示多属簧片，既具弹性又起阻尼作用，当主动件与惯性盘发生相对移动时，这些簧片由于变形差异而相互摩擦形成阻尼，起减振

作用。c)中所示橡胶减振器，橡胶变形时内部材料相互摩擦，产生内阻尼。d)中橡胶硅油减振器，尚有硅油在主动件与惯性盘间摩擦形成粘性阻尼，它比橡胶减振器的阻尼大得多。图e)所示弹簧减振器，其阻尼作用甚微，是典型的调频减振器，即动力减振器。

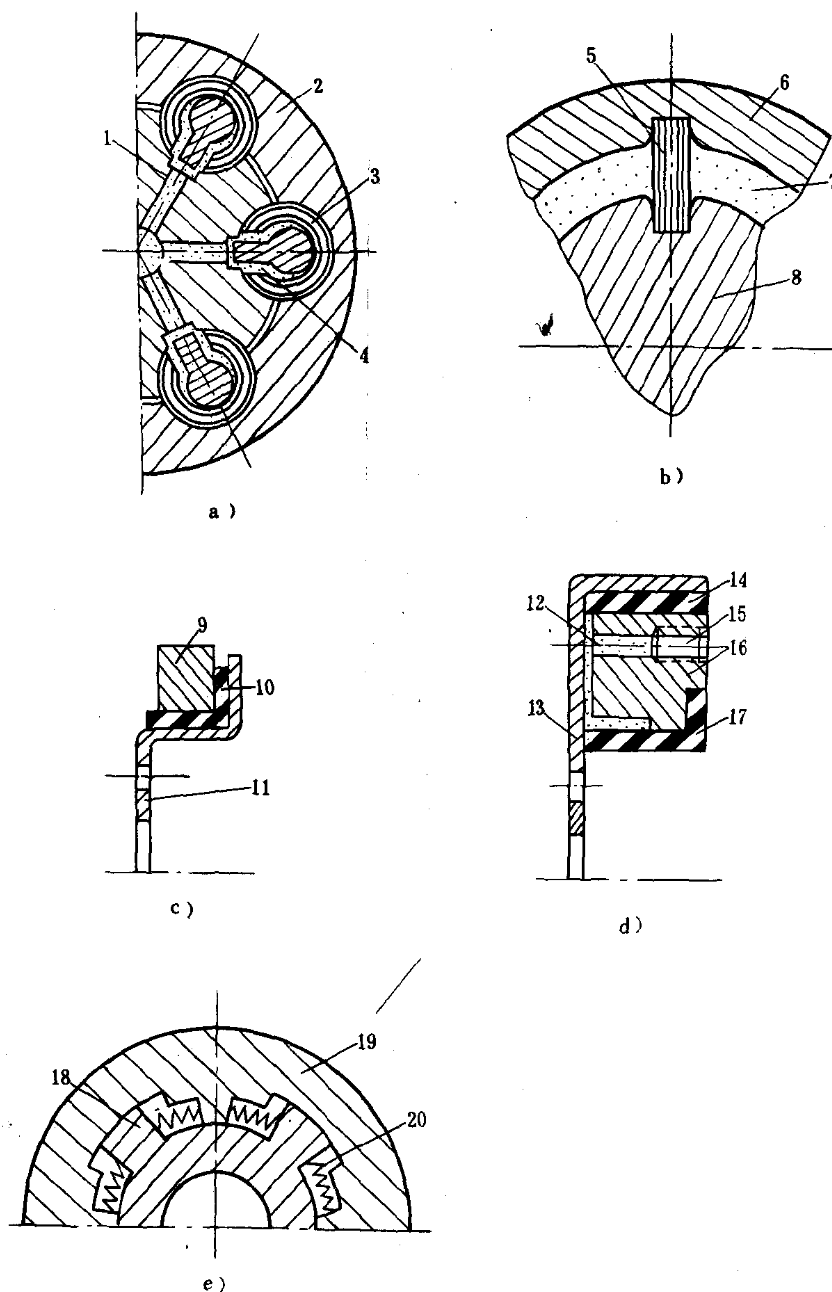


图6.2.2—14 几种减振器结构图

a)圈簧式减振器；b)簧片式减振器；c)橡胶减振器；d)橡胶硅油减振器；e)金属弹簧减振器；
1—主动盘；2—惯性环；3—圈簧；4—油；5—簧片；6—惯性环；7—硅油或压力油；8—主动盘；9—惯性环；10—橡胶；11—主动盘；12—硅油；13—外壳；14—橡胶；15—进油孔螺塞；16—惯性环；17—橡胶；18—主动盘；19—惯性环；20—弹簧

由于质量—弹性作用，当减振器装在轴系上时，系统增加一个固有频率，并使系统频率产生变化：出现一个低于而另一个高于原系统的固有频率。

如图6.2.2—15所示，当无阻尼时，若减振器固有频率 ω_d 与原系统频率 ω_e 相等，则于频率为 ω_e 时原系统振动 A_e 为零。可见，对于单一转速工作的系统，无阻尼的"动力减振器"是有效的。然而，对于变速工作的系统，由于增加了新共振区，故是不适用的。

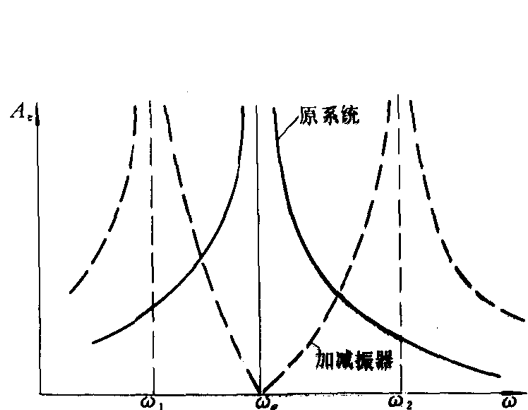


图6.2.2—15 动力减振器作用机理

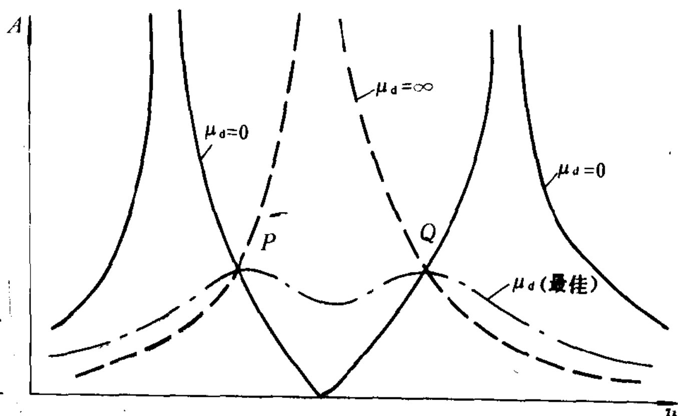


图6.2.2—16 弹性阻尼减振器作用机理

如果阻尼趋于无穷大，减振器的惯性盘与主动件粘结成一个刚体，不会使轴系增加新共振区，仅略使原系统频率降低一些。这时的振动响应曲线与无阻尼减振器时的振动响应曲线相交于P、Q二点。理论证明，对任一阻尼值之振动响应曲线均通过P、Q二点，称此二点为特定点。

如图6.2.2—16所示，合理选择减振器的惯量、刚度和阻尼，可使P、Q二点高度相等且为峰点时，就得到减振器的最佳状态。按双扭摆简化模型，推得最佳定调比：

$$\omega_d/\omega_e=1/(1+\nu) \quad (6.2.2—71)$$

最佳阻尼因子：

$$\mu_d=\frac{C_d}{J_d\omega_e}=\sqrt{\frac{3\nu}{2(1+\nu)^3}} \quad (6.2.2—72)$$

式中：ω_e ——原系统固有频率，rad/s；

$\omega_d=\sqrt{K_d/J_d}$ ——减振器特性频率，rad/s；

$\theta=J_d/J_e$ ——惯量比；

J_d ——减振器惯量，kg·m²；

K_d ——减振器刚度，N·m/rad；

$J_e=\sum_{k=1}^{Z}J_{cyl}\alpha_k^2$——按霍尔茨表计算；柴油机当量惯量，kg·m²；

C_d——减振器阻尼系数，N·m·s/rad。

上述公式是近似的，可作为初选值。最后应按多质量系统响应计算(用解析法)结果，确定最佳定调比和最佳阻尼比。

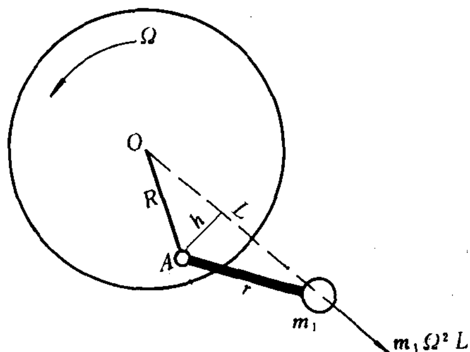


图6.2.2—17 摆式减振器示意图

2.8.2.3 摆式减振器

摆式减振器是一种动力减振器，起调频作用。如图6.2.2—17所示，它由刚性连接接于振动体上的圆盘与在圆盘上装有可来回摆动的摆锤组成。

当圆盘绕其中心回转并作扭转振动时，摆锤也绕着A点来回摆动，摆锤的离心力产生一个反力矩：

$$M_{pe}=m_1\Omega^2(R+r)h,\quad N\cdot m$$

式中：m_1——摆锤质量，kg；

Ω——圆盘回转角速度，rad/s；

$R=oA$——半径，m；

r——摆长，m；

h——离心力至A点的距离，m.

这个反力矩与在圆盘上有一个转动惯量作用一样，单摆式减振器"当量惯量"为

$$J_{pe}=m_1(R+r)^2\left[1+\frac{1}{\frac{R}{\nu^2 r}-1}\right],\mathrm{kg\cdot m^2}\qquad(6.2.2—73)$$

式中，ν为振动谐次。

从上式可见，摆式减振器的惯量随振动谐次而变化。对$\nu=\sqrt{R/r}$的谐次，其惯量趋于无穷大，从而大大地改变了系统固有频率，达到移开共振转速的目的。

单摆式减振器仅对一个谐次的共振起调频作用，为了对几个谐次起减振作用，在圆盘上可以设计组装几个摆。另外，随结构形式的差异，减振器惯量公式也有所不同。

2.8.2.4 泵室型阻尼减振器

如图6.2.2—18所示，在减振器泵室1、2、3、4中存有滑油，1、3室和2、4室分别与一个阀箱接通。阀箱的排出阀可由弹簧调整室内所能承受的油压。当内体A振动时，外壳B将由于振动而产生惯性力矩，但它受到泵室内油压的抵抗，而当振动相当大以致外壳B的惯性力矩挤压1、3(或2、4)泵室中的滑油，使其油压超过排出阀弹簧力时，油就被挤出去，而当振动回来时，又排压另两室。滑油被来回挤动，从而消耗振动的能量，达到减振目的。可以看到，当外壳B的振动惯性力矩还不足使滑油挤出泵室时，它相当于A、B相互固定的圆盘，只起增加惯量的作用。只有当振动大到一定数值以后才发生阻尼作用。

2.8.3 弹性联轴器

弹性联轴器主要部件是主、从动连接盘和弹性、阻尼元件，具有避振、减振、缓冲及放宽轴系校中要求等作用。跟减振器比较，它尚需传递功率。弹性联轴器分钢簧的和橡胶的二大类。常用的弹性联轴器及其刚度公式详见表6.2.2—1。

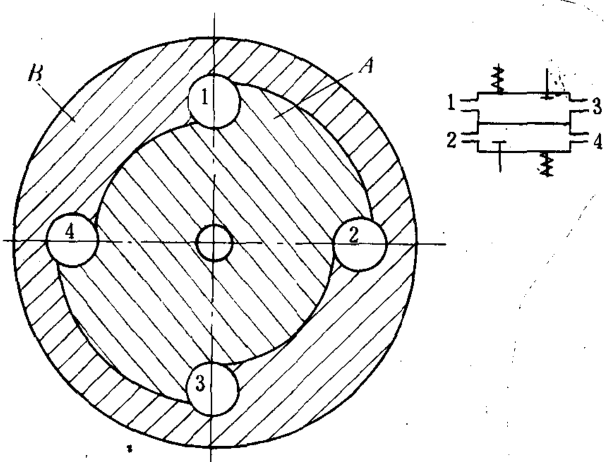


图6.2.2—18 泵室型阻尼减振器

2.8.3.1 调频、阻尼作用

弹性联轴器主要靠其弹性元件的作用，改变轴系固有频率。由于联轴器的刚度很小，相当于在柴油机与螺旋桨之间装了很长的轴，从而可较大地降低单节点固有频率，使其主要谐次的共振转速降到0.8最低稳定转速以下，达到避振目的。对装有减速齿轮的轮系，高弹性联轴器可同时降低单、双节点的固有频率。

橡胶联轴器在振动时，橡胶变形引起内

部材料相互摩擦，形成阻尼。而多层簧片联轴器则由于变形差异相互摩擦产生阻尼。这些阻尼，使轴系通过共振转速时，能适当抑制共振振幅。

盖斯林格联轴器是一种高阻尼联轴器，有良好的减振作用。如表6.2.2—1中简图所示。此种联轴器的板簧束同主、从动连接件一起形成空腔，这些空腔充满压力油。振动时，板簧束挠曲使油从一个空腔流到邻近的另一个空腔，形成高阻尼。其损失系数为：

$$\psi=\begin{cases}2\pi(0.20+0.50\frac{\omega}{\omega_0}) & 0\leqslant\omega\leqslant\omega_0\\ 2\pi\cdot 0.7 & \omega_0\leqslant\omega\end{cases} \quad (6.2.2—74)$$

式中： ω ——振动频率；

ω_0 ——联轴器特征频率。

2.8.3.2 缓冲作用

柴油机输出转矩不均衡及共振影响，引起传动齿轮啮合扭矩出现负值时，就会产生齿轮间撞击现象。设啮合扭矩为 $M_o+M_g\sin\omega t$，则当 $M_g>M_o$ 时，出现负值，产生撞击。

当柴油机和减速齿轮为刚性连接时，输出扭矩的交变部分几乎无衰减地传到齿轮，极易引起齿轮冲击。装了高弹性联轴器后，能够缓和这种冲击。按图6.2.2—19所示的简化三质量系统，分析得出啮合扭矩 M_g 与激励力矩 T_v 间的关系为：

$$M_g=aT_v \quad N\cdot m \quad (6.2.2—75)$$

式中，a 为冲击系数，由下式确定：

$$a=\frac{\frac{K_c}{J_1}(1-\frac{J_{2a}}{J_2})(\lambda_P^2-\omega^2)\sqrt{1+(\frac{\mu\omega}{\lambda_{23}})^2}}{\sqrt{(\omega^2-\omega_1^2)^2(\omega^2-\omega_2)^2+\mu^2\omega^2[\frac{J_1}{J_1+J_2}-\frac{K_p}{J_2}-(\lambda_{23}^2-\omega^2)^2]^2}} \quad (6.2.2—76)$$

当无阻尼时，$\mu=0$，有

$$a=\frac{\frac{K_c}{J_1}(1-\frac{J_{2a}}{J_2})(\lambda_p^2-\omega^2)}{(\omega^2-\omega_1{}^2)(\omega^2-\omega_2{}^2)} \quad (6.2.2—77)$$

上述二式中：ω_1、ω_2——轴系固有圆频率，rad/s；

$$\lambda_{23}^2=\frac{K_{23}(J_2+J_3)}{J_2\cdot J_3}$$

$$\mu=\frac{C_{12}(J_1+J_2)}{J_1\cdot J_2}$$

$$\lambda_p{}^2=\frac{K_p(J_{2b}+J_p)}{J_{2b}\cdot J_p}$$

$J_1=\sum J_e+J_f$ K_{12} J_{2a} $T(t)$ C_{12} J_p K_p J_{2b}

J_1 $J_2=J_{2a}+i^2J_{2b}$ $J_3=i^2J_P$ K_{12} $T(t)$ $K_{23}=i^2K_p$ C_{12}

图6.2.2—19 三质量简化系统

从式(6.2.2—76)、(6.2.2—77)看到：

(1)冲击系数 a 与联轴器刚度 K_c 成正比。安装高弹性联轴器，可降低 a 值，缓和冲击。

(2)若 $\omega\rightarrow\omega_1$或 ω_2，则 a 值激增，即共振时齿轮出现激烈撞击。如前述，高弹性联轴器能降低轴系单、双节点频率，使主谐次共振转速降到使用转速以下，有利于缓和齿轮冲击。

(3)联轴器阻尼可减轻通过共振转速时的齿击。

(4)a 与 J_1成正比，与$(1-J_{2a}/J_2)$成正比，适当增大联轴器两端转动惯量，也有利于齿轮间

的缓冲作用。

2.8.3.3 双刚度联轴器的调频作用[13]

如图6.2.2—20所示，双刚度联轴器的第一级刚度 K_I 甚小，当它扭转变形到一定角度 φ_0（初始间隙角）后，大得多的第二级刚度 K_{II} 起主要作用。对于推进轴系，柴油机平均输出转矩随转速的平方而增加，因此，低转速时，变形小仅 K_I 起作用，使轴系共振转速降到0.8最低稳定转速以下。随转速提高，联轴器变形增大，第二级刚度逐渐起作用，这样，使可能出现的共振转速提高1.15最高转速以上。于是，双刚度联轴器较单一刚度联轴器具更好的避振缓冲作用，同时，由于扭矩由两级刚度元件共同承担，故而有更高的强度。

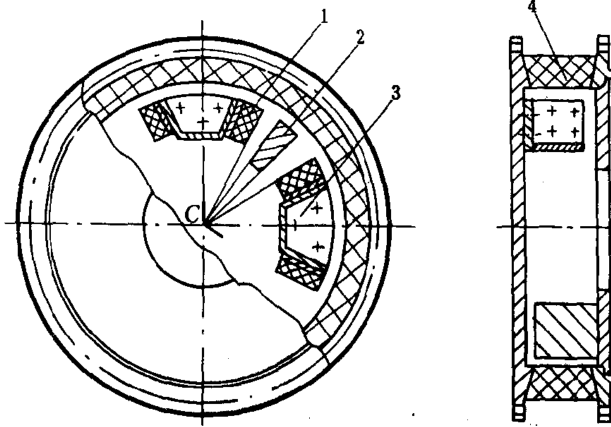


图6.2.2—20　双刚度橡胶联轴器

1—缓冲器；2—挡板；3—缓冲架；4—圆筒橡胶

对推进轴系，平均转矩 M_0 随转速平方而增大，它引起联轴器静扭角：

$$x_s=\begin{cases}M_0/K_I & \text{当 } x_s\leqslant\varphi_0\text{时}\\(M_0-K_I\varphi_0)/M_{II}+\varphi_0 & \text{当 } x_s\geqslant\varphi_0\text{时}\end{cases}\qquad(6.2.2\text{—}78)$$

振动时，联轴器扭矩与扭转角的关系为：

$$\left.\begin{cases}M=K_Ix+(K_{II}-K_I)\{[x+(x_s+\varphi_0)|_{x\leqslant-(x_s+\varphi_0)}\\+[x-(\varphi_0-x_s)]|_{x\geqslant\varphi_0-x_s}\end{cases}\right\}\quad \text{N}\cdot\text{m}\qquad(6.2.2\text{—}79)$$

此关系如图6.2.2—21所示。

式中：K_I ——第一级刚度，N·m/rad；

K_{II} ——第二级刚度，N·m/rad；

φ_0 ——初始间隙角，rad；

x ——扭转角，rad；

$x\leqslant-(x_s+\varphi_0)$ ——表示该项在 $x\leqslant-(x_s+\varphi_0)$ 时成立。

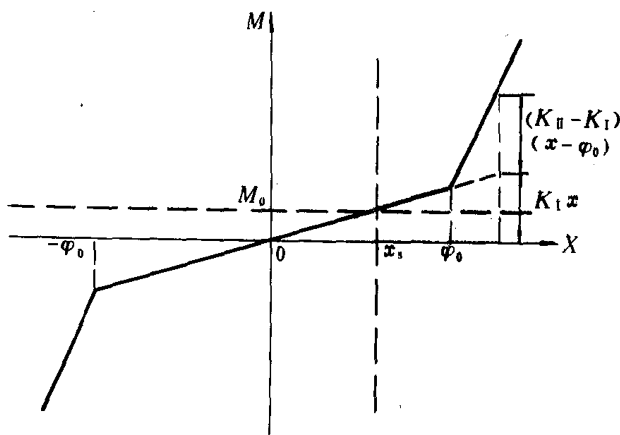


图6.2.2—21　M～x关系

装双刚度联轴器的轴系，其“自由振动”频率为：

$$\omega=\sqrt{\omega_{nI}^2+\beta G}\qquad(6.2.2\text{—}80)$$

式中：ω_{nI} ——联轴器刚度为 K_I 时固有频率，rad/s；

$\beta=(K_{II}-K_I)(J_1+J_2)/(J_1\cdot J_2)$；

J_1, J_2 ——联轴器前、后当量惯量，kg·m²；

G——影响函数。

当 $x_s \leqslant \varphi_0$ 时

$$G=\begin{cases}0 & A\leqslant \varphi_0-x_s \\ \frac{1}{2}-\frac{1}{\pi}(\psi_1+\frac{1}{2}\sin 2\psi_1) & \varphi_0+x_s\geqslant A\geqslant \psi_0-x_s \\ 1-\frac{1}{\pi}(\psi_1+\psi_2+\frac{1}{2}\sin 2\psi_1+\frac{1}{2}\sin 2\psi_2) & A\geqslant \psi_0+x_s\end{cases} \quad (6.2.2-81)$$

当 $x_s \geqslant \psi_0$ 时

$$G=\begin{cases}1 & A\leqslant x_s-\varphi_0 \\ \frac{1}{2}-\frac{1}{\pi}(\psi_1+\frac{1}{2}\sin 2\psi_1) & x_s+\varphi_0\geqslant A\geqslant x_s-\varphi_0 \\ 1-\frac{1}{\pi}(\psi_1+\psi_2+\frac{1}{2}\sin 2\psi_1+\frac{1}{2}\sin 2\psi_2) & A\geqslant x_s+\varphi_0\end{cases} \quad (6.2.2-82)$$

式中：A—联轴器扭转角振幅，rad；

$$\left.\begin{aligned}\psi_1&=\sin[(\varphi_0-x_s)/A]\\ \psi_2&=\sin[(\varphi_0+x_s)/A]\end{aligned}\right\} \quad (6.2.2-83)$$

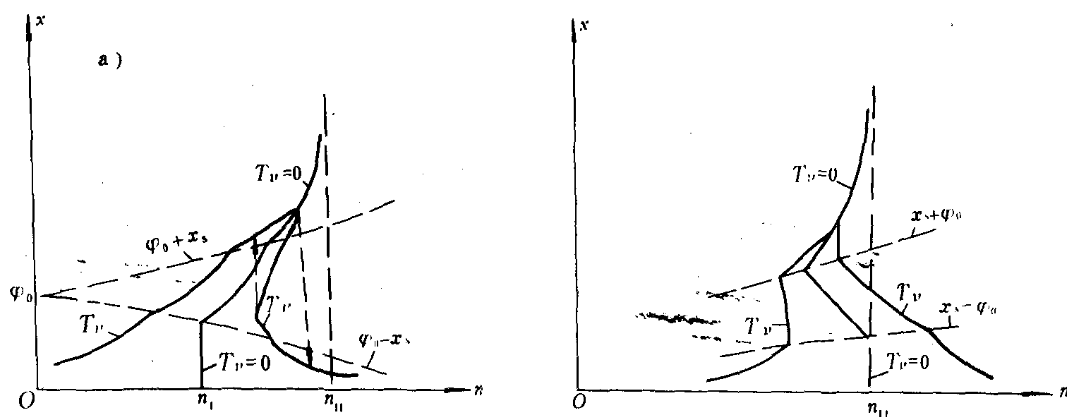


图4.2.2—22　双刚度轴系振幅转速关系

a) $x_s \leqslant \varphi_0$；b) $x_s \geqslant \varphi_0$

据式(6.2.2—80)可得如图6.2.2—22所示的双刚度联轴器振幅～转速关系，“自由”振动频率除与刚度、质量有关外，尚与振幅、初始间隙角、静扭角等因素关系密切，合理地利用这些关系与因素，可获得良好的避振效果。

2.9　实　　例

大庆422轮轴系扭振计算

一、原始资料

(1)轴系布置简图如图6.2.2—23所示

(2)柴油机参数

型式：B&W 5K45GF 单作用十字头可逆转二冲程增压柴油机

缸数：5

冲程：900 mm

缸径：450 mm

额定功率:3236kW

额定转速:227r/min

最低稳定转速:60r/min

机械效率:0.92

发火顺序:1—4—3—2—5

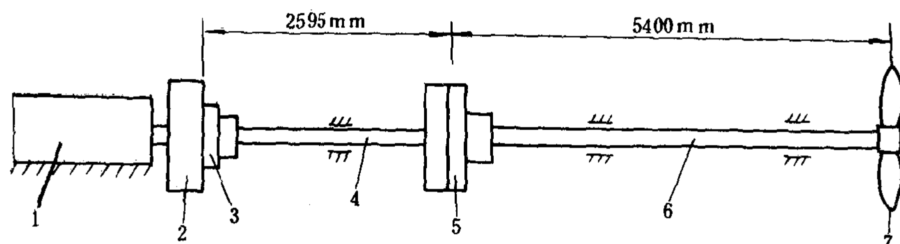


图6.2.2—23 大庆422轮轴系布置

1—5k45GF柴油机;2—飞轮;3—联轴器;4—中间轴;5—联轴器;6—螺旋桨轴;7—螺旋桨

(3)螺旋桨

型式:楚思德B

直径:3200 mm

螺距:2470 mm

盘面比:0.74

叶片数:4

空气中转动惯量:15460N·m²

水中转动惯量:20230 N·m²

二、当量系统

当量轴系如图6.2.2—24,当量参数见表6.2.2—6。

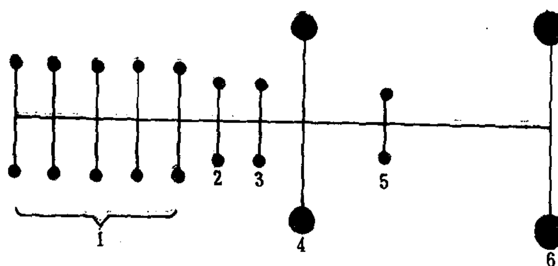


图6.2.2—24 大庆422轮当量轴系

1—气缸;2—链轮;3—推力盘;4—飞轮+联轴器;5—联轴器;6—螺旋桨

三、计算资料

(1)自由振动单、双节点频率计算霍尔茨表如表6.2.2—7,表6.2.2—8所示,各谐次共振转速及相对振幅矢量和见表6.2.2—9.

(2)响应计算得各轴段扭振应力转速关系如图6.2.2—25所示。

四、小结

于153.74r/min附近存在单节点5谐共振转速,中间轴扭振附加应力约93.54N/mm²,超过《钢质海船入级建造规范》规定的瞬时许用值。建议采取措施加以改进。

五、改进措施

该轮扭振测试结果是于155r/min附近存在单节点5谐扭共振，影响范围为135～172r/min，中间轴共振应力达97N/mm^2。

对此轮轴系扭振，将中间轴与飞轮连接改用一般法兰盘，不用刚性联轴器，从而增大轴长，降低刚度。经计算5谐共振转速降到146r/min，中间轴应力降到86.5N/mm^2。同时，将中间轴材料改用35铬钼钢，其抗拉强度 σ_b=686N/mm^2，这样，许用值提高1.4倍，瞬时许用值达109N/mm^2。结果表明，可在130～160r/min范围设立转速禁区。

表6.2.2—6 **大庆422轮轴系扭振当量参数**

名称	转动惯量 J N·m^2	刚度 K N·m/rad	外径 D cm	内径 d cm	发火间隙角 deg
气缸	4950	2.695392×10^8	39	0	0
气缸	4950	2.695392×10^8	39	0	216
气缸	4950	2.695392×10^8	39	0	144
气缸	4950	2.695392×10^8	39	0	72
气缸	4950	2.840904×10^8	39	0	288
链轮	2100	3.773578×10^8	39	0	
推力盘	2350	3.533566×10^8	40	0	
飞轮＋联轴器	1597.60	1.632474×10^7	25.5	0	
联轴器	839.1	2.291583×10^7	30.8	0	
螺旋桨	20227.2				

表6.2.2—7 **单节点霍尔茨表** ω=80.49921992

No	名称	相对振幅 α	惯性力矩 U	应力因子 τ_0
1	气缸	1	3207661.582	275.4005680
2	气缸	0.9880994617	6377150.264	547.5237210
3	气缸	0.9644400078	9470747.425	813.1310611
4	气缸	0.9293031987	12451637.59	1069.061675
5	气缸	0.8831071812	15284346.57	1312.269895
6	链轮	0.8293061849	16412888.09	1409.163214
7	推力盘	0.7858118136	17609545.29	1401.323090
8	飞轮	0.7359767595	25228852.70	7749.025138
9	联轴器	−0.8094599641	24788711.08	4320.877024
10	螺旋桨	−1.891188668	−1.345	

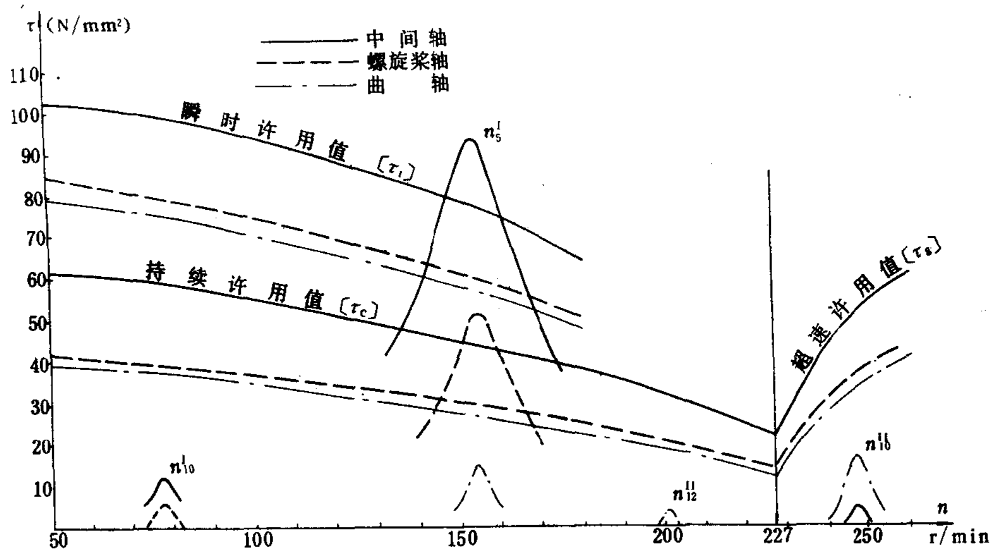


图6.2.2 25 应力 转速关系曲线

表6.2.2—8 **双节点霍尔茨表** ω=259.4423963

No	名　　称	相对振幅 α	惯性力矩 U	应力因子 τ_o
1	气　缸	1	33318626.71	2860.641152
2	气　缸	0.8763867122	62518628.43	5367.669045
3	气　缸	0.6444403815	83990496.94	7211.181720
4	气　缸	0.3328326564	95080023.98	8163.296514
5	气　缸	−0.01991760768	94416396.64	8106.319386
6	链　轮	−0.3522639194	89437084.50	7678.810013
7	推力盘	−0.5892733807	80115997.12	6375.428483
8	飞　轮	−0.8160018389	−7632782.115	2344.403893
9	联轴器	−0.3484426548	−9600790.430	1673.497047
10	螺旋桨	+0.07051622341	−6.239	

表6.2.2—9　　$n_v \sum \vec{\alpha}$ 计算表

节点数	谐　次 ν	共振转速 n_ν r/min	相对振幅矢量和 $\sum \vec{\alpha}$
1	2	384.36	0.1458107032
1	3	256.24	0.1458107032
1	4	192.18	0.0358432480
1	5	153.74	4.76495234
1	6	128.12	0.035843248
1	7	109.82	0.1458107032
1	8	96.09	0.1458107032
1	9	85.41	0.035843248
1	10	76.87	4.76495234
1	11	69.88	0.035843248
1	12	64.06	0.1458107032
2	9	275.28	0.239855861
2	10	247.75	2.833751832
2	11	225.23	0.239855861
2	12	206.45	1.28985801

3 纵向振动

3.1 简　述

3.1.1 纵振的物理现象及定义

轴系在外力作用下，沿轴线方向产生的周期性变形现象，称为轴系的纵向振动，亦称轴向振动。

船舶轴系的力学模型可简化为由数个集中质量并由无质量纵向弹簧相联接的离散系统，这个离散系统具有若干个纵振固有频率。柴油机产生的径向简谐力或螺旋桨在不均匀流场中产生的周期性轴向激励力是轴系纵向振动的激励源。

当轴系产生纵向振动时，如果轴系中不存在纵振节点，则称为轴系0节纵向振动；如果轴

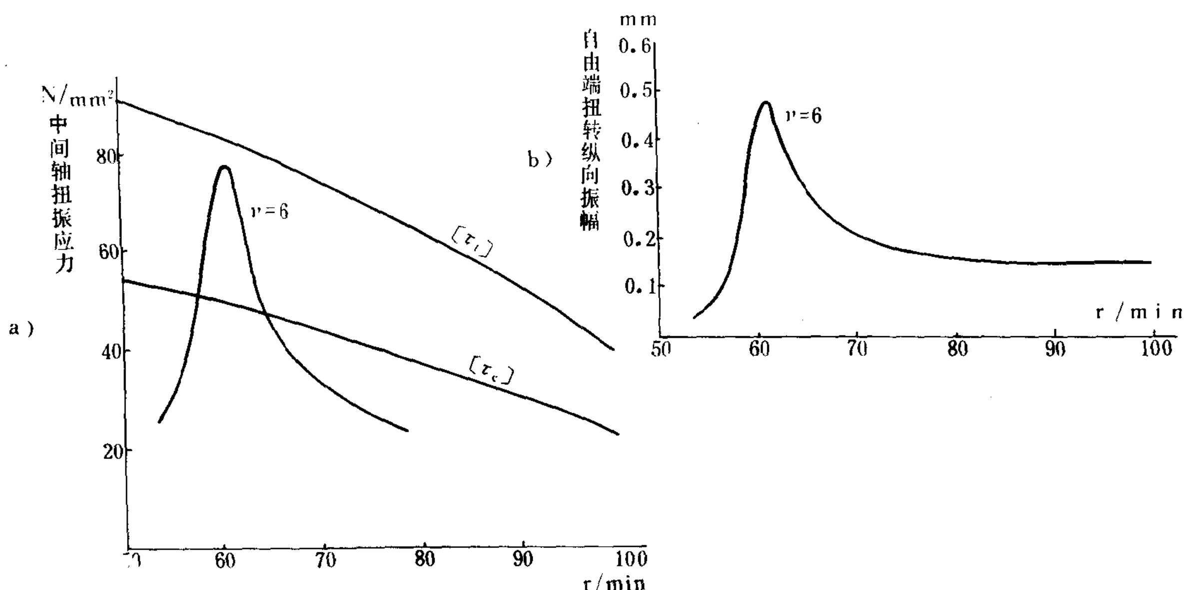


图6.2.2—26　扭转纵向振动实测曲线

a)中间轴扭转应力曲线；b)扭转纵向振动振幅曲线

系中存在纵振的一个节点，则称为轴系1节纵向振动；以此类推。

由轴系的扭转振动而使曲拐产生纵向变形现象，其交变次数与扭振的简谐次数相同，变形大小与扭振的强烈程度和振型、曲拐的结构尺寸等因素有关。这称为扭转纵向振动。图6.2.2—26表示6L60MCE柴油机推进轴系在61r/min时产生1节6次扭振共振，在曲轴自由端测得6次扭转纵向振幅达0.48mm。

当产生轴系纵向振动的同时，又产生强烈的扭转纵向振动，使纵振振幅量级增大，这种现象称为扭转—纵向耦合振动，简称耦合振动。图6.2.2—27中的12次、9次和6次简谐，均是2节扭转纵向振动和0节纵向振动产生的耦合振动波。[16]

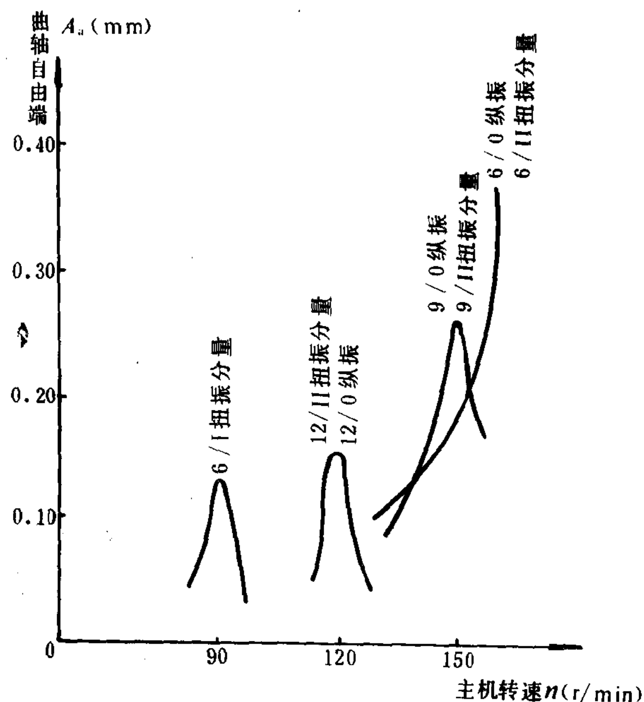


图6.2.2—27　9ESDZ58/100推进轴系纵振测量结果

3.1.2　纵振的一般特性[16]

影响轴系的纵振特性的因素比较复杂，这些复杂因素均对轴系纵振固有频率计算和纵振响应计算的精确性产生较大的影响。因此，为了在设计阶段能预报轴系的纵振特性，并对有害的纵振问题采取有效的预防措施，就有必要掌握轴系纵振的一般特性。

一般，大型低速二冲程柴油机推进轴系的纵振固有频率范围如下：

0节纵振频率 $f_0=4.5\sim23.0$Hz；

1节纵振频率 $f_1=20.0\sim42.0$Hz。

对少气缸数短轴系，一般只出现0节纵向振动，而且在常用转速附近可能出现较强烈的纵振共振，需采取减振措施，例如在曲轴自由端加装调频减振器。对多缸机或长轴系，除了出现0节纵振外，还会出现1节纵向振动。

纵振0节频率高于扭振1节频率。在气缸数相同情况下，轴系越长，纵振0节和扭振1节频率下降越大，但纵振0节频率下降的幅度稍小一些。

表6.2.2—10 **需要注意的纵振简谐次数**

气缸数Z	0节	1节
5	5	
6	9,6	
7	7	7
8	8,5	8
9	6,5	9
10	6,5	10
12	6,5	12

纵振0节频率一般低于扭振2节频率。但对长轴系，两者的频率可能接近或相等，从而可能产生扭转—纵向耦合振动现象。

短轴系的纵振1节频率可能高于扭振2节频率，长轴系的可能低于扭振2节频率。若两者频率相近或相等时，也可能产生扭转—纵向耦合振动现象。

为计及非共振的影响，一般情况下，轴系纵振固有频率范围应不小于主机额定转速的16.8倍。

在设计阶段，如能在常用转速范围内避开较大纵振相对振幅差矢量和的简谐次数，一般也不会产生有害的纵振问题。表6.2.2—10列出需要注意的纵振简谐次数。

3.1.3 纵振的运动方程

图6.2.2—28为具有n个质量的纵振系统，取任一k质量作为分离体，则质量m_k所受的力有：

惯性力$m_k\ddot{x}_k$；

前后轴段产生的纵向弹性力$-k_{k-1}(x_{k-1}-x_k)+k_k(k_k-x_{k+1})$；

质量的外阻尼力$C_{ak}\dot{x}_k$；

前后轴段的内阻尼力$-C_{akr}(\dot{x}_{k-1}-\dot{x}_k)+C_{ak}(\dot{x}_k-\dot{x}_{k+1})$；

纵向激励力$P_{ak}\sin(\omega t+\psi_{ak})$。

根据力的平衡原理，可建立第k质量的有阻尼纵向振动的运动方程式：

$$m_k\ddot{x}_k-k_{k-1}(\dot{x}_{k-1}-\dot{x}_k)-C_{ak-1}(\dot{x}_{k-1}-\dot{x}_k)+k_k(x_k-x_{k+1})+C_{ak}(\dot{x}_k-\dot{x}_{k+1})+C'_{ak}\dot{x}_k$$
$$=p_{ak}\sin(\omega t+\psi_{ak})$$
$$(k=1.2\cdots\cdots n) \quad (6.2.2-84)$$

式中：K_{k-1}——第k－1质量与第k质量之间的纵向刚度；

k_k——第k质量与第k＋1质量之间的纵向刚度；

x_k——第k质量随时间而变化的位移；

$\dot{x}_k$——第k质量的纵向振动速度；

$\ddot{X}_k$——第k质量的纵向振动加速度；

C_{ak-1}——第k－1质量与第k质量之间轴段的纵向内阻尼系数；

C_{ak}——第k质量与第k＋1质量之间轴段的纵向内阻尼系数；

C'_{ak}——第k质量的纵向外阻尼系数；

p_{ak}——作用在第k质量上的纵向激励力的振幅；

ψ_{ak}——纵向激励力初相位角；

ω——纵向激励力圆频率；

t——时间。

当纵振振幅为 A_{ak}时，则方程(6.2.2—84)的特解为：

$$x_k = A_{ak}\sin(\omega t + \theta_{ak}) \qquad (k=1、2\cdots\cdots n) \qquad (6.2.2—85)$$

由于每个质量均具有类似公式(6.2.2—85)的相同表达式，将上述特解代入，则对 n 个质量的纵振系统，可得到2n 个联立一次方程式，解出该多元一次方程式，便可求出对应某一圆频率 ω 时的各质量的纵振响应。

一般情况下，令公式(6.2.2—84)中的激励力和阻尼力为零，便可解出无阻尼自由纵向振动的固有频率和相应振型，然后按能量法或动力放大系数法来计算纵振响应。

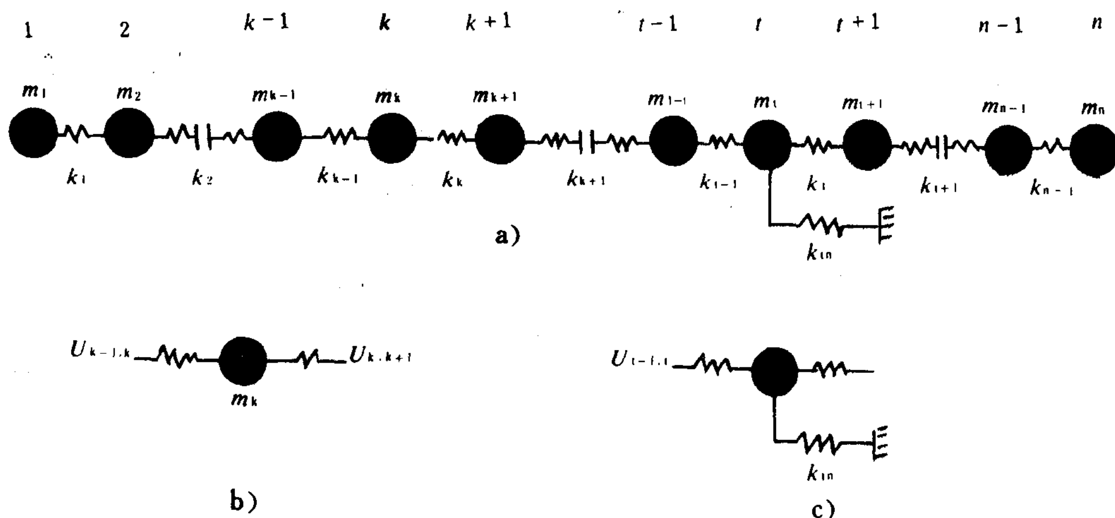


图6.2.2—28 具有 n 个质量的纵振当量系统

3.2 当量系统

3.2.1 当量系统的建立

为了便于轴系纵振的计算，必须建立实际复杂轴系的纵振力学模型，称为当量系统。纵振的当量系统应尽可能反映实际振动系统的振动特性。通常处理为由有限个集中质量 m_k 和无质量弹簧(刚度为 K_k)组成的离散系统。

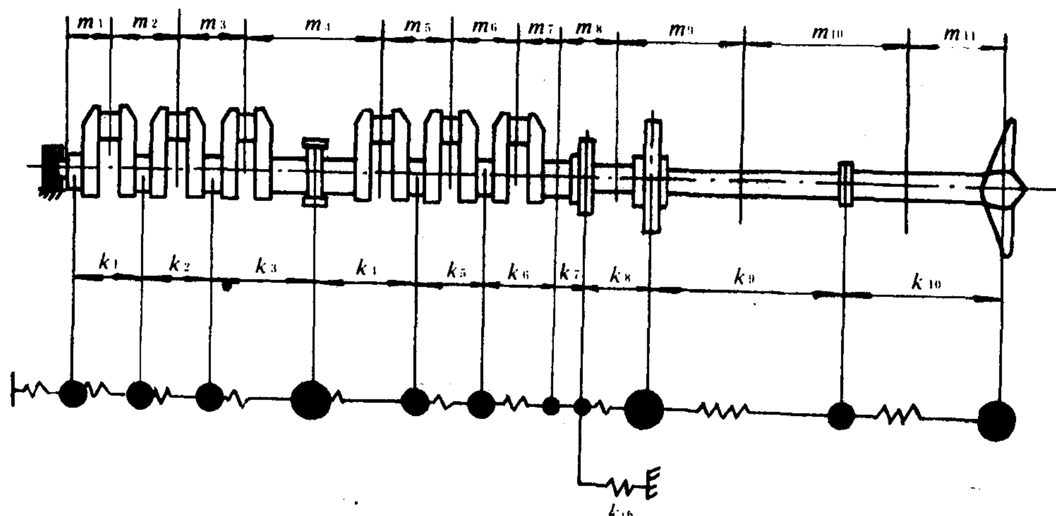


图6.2.2—29 柴油机推进轴系纵振当量系统

3.2.2 当量系统转化原则

1)把相邻两半个曲拐的质量集中在主轴颈中间处；

2)推力环和飞轮处分别作为一个集中质量点，也可把最末半个曲拐质量集中在推力环处，或把最末半个曲拐质量及飞轮的质量集中在推力环处；

3)轴的质量分别集中在两端质量处或相邻集中质量点处，中间轴、尾管轴(如有的话)及螺旋桨轴的质量也可分别集中在相应轴的中间处；

4)螺旋桨的质量集中在螺旋桨的中心处；

5)两个相邻集中质量之间轴的纵向刚度，作为该两个集中质量之间弹簧的纵向刚度；

6)推力环与船体之间用当量刚度 K_{th} 相联接，也可把推力轴承及其轴承座质量作为一个集中质量，前后分别用油膜刚度和相关船体物件刚度把推力环和船体相联接；

7)当自由端安装纵振调频减振器时，则该处作为一个固定点，第1质量与固定点之间用调频器的刚度 K_d 相联接。

柴油机推进轴系的纵振当量系统如图6.2.2—29所示。

齿轮传动推进轴系的纵振当量系统如图6.2.2—30所示。

3.2.3 质量计算

轴系纵振当量系统中的质量可按一般公式进行计算，但应根据不同情况分别计入相关运动件的影响：

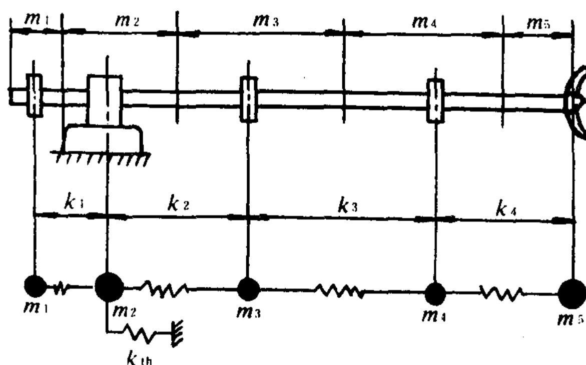


图6.2.2—30 齿轮传动推进轴系纵振当量系统

1)在计算单位曲拐纵振质量时，可不计入连捍等运动件的影响；

2)当推力环与船体之间简化为一个等效弹簧时，一般可不计入推力块质量的影响；

3)应计入螺旋桨附连水的影响，纵振附水质量可由理论公式计算求得，也可根据经验选取。一般其附水质量为螺旋桨质量(空气中)的60%～100%；若无特别指明，可取60%。

3.2.4 刚度计算

1)直轴的纵向刚度

直轴的纵向刚度 K_i 按下式计算：

$$K_i=\frac{\pi E d_i^2}{4L_i} \quad \text{N/mm} \qquad (6.2.2—86)$$

式中：$E=20.60\times10^4\text{N/mm}^2$——材料扬氏模量；

d_i——轴的直径，mm；

L_i——轴的长度，mm。

2)锥形轴的纵向刚度

锥形轴的纵向刚度 K_t 按下式计算：
$$K_t=\frac{\pi E d_1 d_2}{4L_t} \quad \text{N/mm} \qquad (6.2.2—87)$$

式中：d_1——锥部小端直径，mm；

d_2——锥部大端直径，mm；

L_t——锥形轴的长度，mm。

3)曲轴的纵向刚度

曲轴的纵向刚度值对轴系纵振的固有频率和振型影响很大，但由于曲轴结构形状和受力情况比较复杂，所以准确的曲轴纵向刚度值应由柴油机制造厂通过试验确定，或在台架上对轴

系进行纵振固有频率测量，并结合推力轴承刚度值来校准曲轴的纵向刚度值。目前，造机厂一般均提供曲轴的纵向刚度等参数。

4)推力轴承的纵向刚度

推力轴承的纵向刚度，实际上是指推力环、油膜、推力块、推力轴承座及双层底等构件刚度的当量值，由于其结构复杂，影响因素较多，所以一般应根据实测结果确定。

一般当推力轴承刚度值大于某一数值后，对纵振固有频率的影响将很小。因此，在进行估算时，推力轴承刚度 k_{th} 可在下列范围内选取[14][9][16]

$$K_{th}=(0.8\sim5.0)\times10^6 N/mm \qquad (6.2.2—88)$$

下面情况可供参考：

对大型机下端安装推力块的 $K_{th}=(5.0\sim6.0)\times10^6 N/mm$；

对整体式低速机推力轴承的 $K_{th}=(2.2\sim3.0)\times10^6 N/mm$；

中速机齿轮传动装置的 $K_{th}=(0.8\sim1.0)\times10^6 N/mm$；

齿轮传动涡轮机的 $K_{th}=(1.75\sim2.5)\times10^6 N/mm$；

对小型船舶，K_{th} 可低到 $0.4\times10^6 N/mm$。

5)其他轴的纵向刚度

串联轴纵向刚度径的倒数为各段轴刚度倒数之和；并联轴纵向刚度为各段轴刚度之和；空心轴纵向刚度为以外径与内径为直轴的刚度之差。

3.3 固有频率计算

3.3.1 霍尔茨(Holzer)表格法

如前所述，当公式(4.2.2—99)中所有阻尼力及激励力均为零时，所得的无阻尼自由纵向振动的方程式中只有系统的质量及刚度，而当量系统的质量及刚度值在3.2中已经求出，这样，利用电子计算机即可求出各节的固有频率值。一般也采用类似扭振所用的霍尔茨表格法的形式表示出来，如表6.2.2—11所示[15][16][9]。

表6.2.2—11 **轴系纵振霍尔茨表**

	$\omega_a=$			$f_s=$	H_z		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
质量号k	质量 $m_x$kg	$m_k\omega_\varphi^2$ N/mm	相对振幅 a_{ak}	惯性力 $m_k\omega a^2 a_{ak}$N/mm	总惯性力 $\sum m_k\omega a^2 a_{ak}$N/mm	刚度 k_kN/mm	相对纵向变形 $\sum m_k\omega a^2 a_a k/k_k$
		(1)×ωa^2	上(3)−上(7)	(2)×(3)	上(5)+(4)		(5)/(6)
减振器 1 2	m_1 m_2	$m_1\omega_a^2\rightarrow$ $m_2\omega_a^2\rightarrow$	$a_{a1}=1$	$m_1\omega_a^2-k_d$	$m_1\omega_a^2-k_d$	k_d k_1 k_2	$(m_1\omega a^2-k_j)/k_1$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	
推力轴承 t	m_t	$m_t\omega_u^2$	$a_{at}=a_{at-1}-$上(7)	$m_t\omega_a^2 a_{at}\rightarrow$		k_{th}	
推力轴承反力			——→	$a_{at}k_{th}\rightarrow$	上(5)$-a_{at}k_{th}\rightarrow$	k_t	
t+1	m_{t+1}	$m_{t+1}\omega_a^2\rightarrow$					
⋮							
n	m_n	$m_n\omega_a^2$	$a_{an}=a_{an-1}-$上(7)	$m_n\omega_a^2 a_{an}$	≈0		

表中第(1)栏为各集中质量的数值 m_k、第(2)栏为 $m_k\omega_a$，第(3)栏为纵振相对振幅 α_{ak}，第(4)栏为某一质量的纵振惯性力、第(5)栏为纵振总惯性力、第(6)栏为各轴段的纵向刚度值、第(7)栏为各质量的纵向相对变形。

理论上讲，第 n 个质量之后的总惯性力应等于零，但实际计算很难达到，而且也没有必要，因此，当最末质量 n 处的剩余力与第1质量的惯性力之比小于±1%时，或符号相反的两次试算圆频率 ωa 之差与平均值之比小于10^{-3}时，则可认为所计算的圆频率即为该系统的某一节纵振固有振动圆频率。

3.3.2 振型曲线

若以横坐标表示轴段纵向刚度，纵坐标表示各质量的纵振相对振幅，并将各质量相对振幅相连所得的弹性曲线，即为轴系纵振振型曲线。它表示了在某一瞬时轴系各质量纵向变形的相对值。

3.3.3 共振转速 n_c

用电子计算机可计算出轴系各节的纵振圆频率，如 ω_0，ω_1等等，相应的纵振固有频率 f_a 为

$$f_a = \frac{1}{2\pi}\omega_a H_Z \qquad (6.2.2—89)$$

由气体压力的径向简谐力产生的共振转速 n_c 为：

$$n_c = \frac{60fa}{\nu} \quad r/min \qquad (6.2.2—90)$$

式中 ν 为柴油机径向简谐力的简谐次数。

由螺旋桨叶片次简谐力产生的共振转速 n_c 为：

$$n_c = \frac{60f_a}{iZ_p} \quad r/min \qquad (6.2.2—91)$$

式中：i＝1、2、……——分别为螺旋桨叶片次简谐，2倍叶片次简谐等；一般只计算叶片次和2倍叶片次简谐即可；

Z_p——螺旋桨叶片数。

3.4 激 励 源

3.4.1 激励力

产生轴系纵向振动的激励力有：柴油机气体压力产生的径向简谐力，往复惯性力产生的径向简谐力，以及螺旋桨在不均匀流场中产生的轴向简谐力。

1)合成的径向简谐力

从柴油机气体力力系图可知作用在曲柄销处的气体径向力 p_n 随时间而变化，使曲拐产生拉压和弯曲变形。p_n 也可分解成不同频率 $\nu\omega$ 和不同幅值 $p_{n\nu}$的简谐力，其大小随机型而异。一般由测取不同工况下的柴油机示功图，经计算并进行简谐分析求得。通常应由柴油机制造厂提供。图6.2.2—31～图6.2.2—34是二冲程柴油机的径向简谐力 $p_{n\nu}$相位角 $\psi_{n\nu}$与平均指示压力 p_i 和简谐次数 ν 的关系。

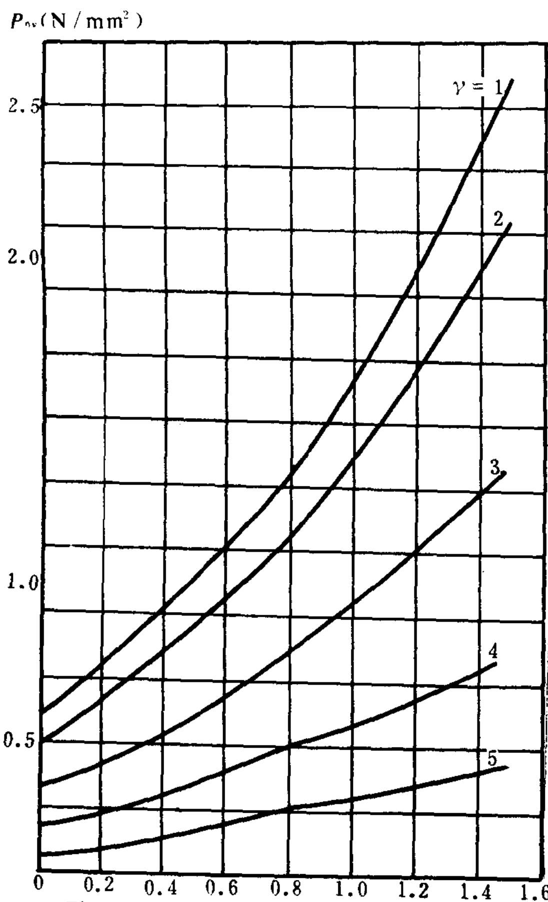


图6.2.2-31 $p_{n\nu}$与p_i关系($\nu=1\sim5$)

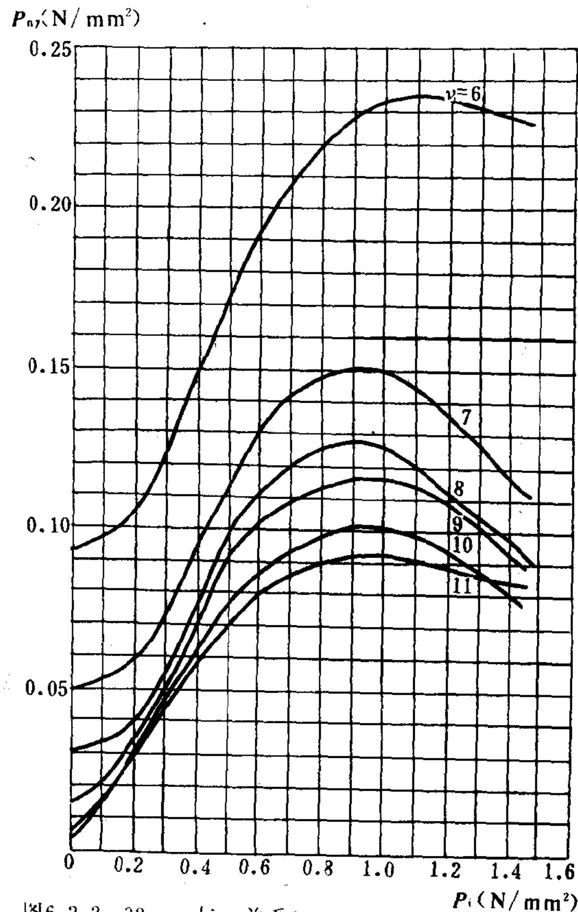


图6.2.2-32 $p_{n\nu}$与p_i关系($\nu=6\sim11$)

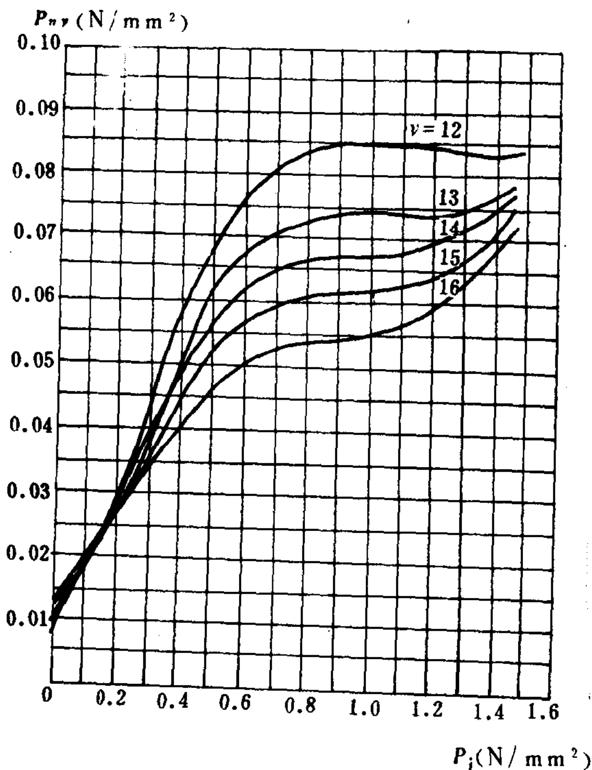


图6.2.2-33 $p_{n\nu}$与p_i关系($\nu=12\sim16$)

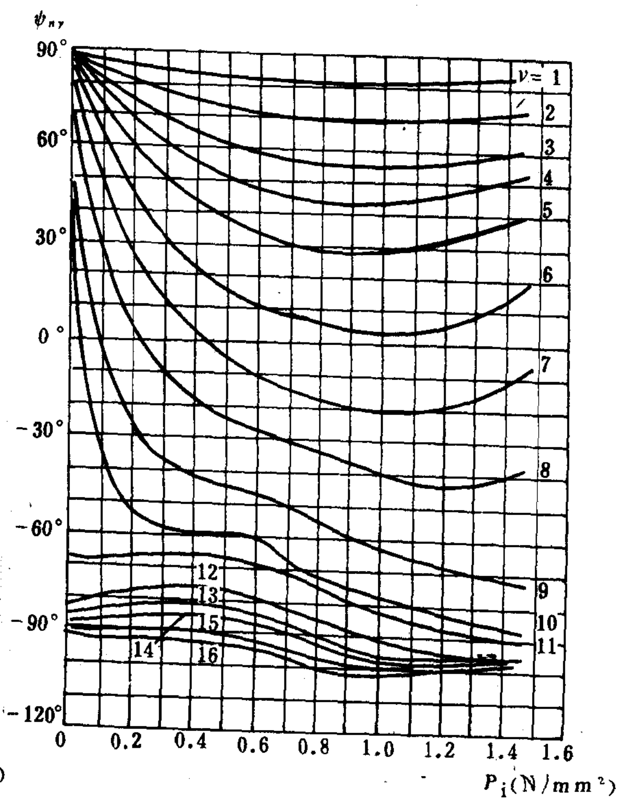


图6.2.2-34 $\varphi_{n\nu}$与p_i关系

柴油机活塞、活塞杆及连杆运动部件，在运动中产生的往复惯性力，在曲柄销处的径向分

量也可激起轴系的纵向振动。当简谐次数 $\nu \geqslant 5$时，简谐力很小，可忽略不计，则 $\nu=1\sim4$次的径向简谐力 $p_{j\nu}$及相位 $\psi_{j\nu}$为[9][16]：

$$\left.\begin{aligned} &p_{j1}=0.25\lambda p_{j0} \quad N/mm^2 \\ &p_{j2}=0.5(1-\lambda^2)p_{j0} \quad N/mm^2 \\ &p_{j3}=0.75\lambda p_{j0} \quad N/mm^2 \\ &p_{j4}=0.25\lambda^2 p_{j0} \quad N/mm^2 \\ &\psi_{j1\sim4}=-\frac{\pi}{2} \quad rad \end{aligned}\right\} \tag{6.2.2—92}$$

式中：$p_{j0}=\dfrac{m_j R\omega^2}{\dfrac{\pi}{4}D^2}\times 9.81$，$N/mm^2$；

m_j——往复部分质量，kg；

R ——曲拐半径，mm；

D ——气缸直径，mm。

在相同简谐次数（$\nu=1\sim4$）的气体和惯性简谐力作用时，其合成的径向简谐力 p_r 为：

$$p_r=\sqrt{p_{n\nu}{}^2+P_{j\nu}{}^2\text{-}RP_{n\nu}P_{j\nu}\cos\left(\varphi_{n\nu}-\frac{\pi}{2}\right)} \quad N/mm^2 \tag{6.2.2—93}$$

2）当量轴向简谐力[16][9]

在径向力 pr 作用下，曲拐的变形如图6.2.2－35所示，在曲轴中心线方向的轴向变形为δ_r。若作用在曲轴中心线方向的当量轴向力为 p_a，产生的轴向变形为 δ_a。如令 $\delta_r=\delta_a$，则可得出 p_a 与 p_r 的关系，即

$$p_a=\beta p_r=0.125\frac{l_p}{R\theta_Z}p_r \quad N/mm^2 \tag{6.2.2—94}$$

式中：β ——转换系数；

l_p——曲柄销长度，mm；

R ——曲拐半径，mm；

$\theta_z=\dfrac{1}{z}\sum\limits_{k=1}^{k}\theta_k$；

z ——气缸数；

θ_k——$\dfrac{1}{2}\cos^2\dfrac{\alpha k w}{2}$；

其中：$\alpha_{k\nu}=\dfrac{1}{2}(\alpha_{k-1k}-\alpha_{kk+1})$——相邻曲拐夹角的平均值（$\alpha_{k\nu}=0\sim180°$）；

α_{k-1k}——第 k－1曲拐与第 k 曲拐之间夹角，°；

α_{kk+1}——第 k 曲拐与第 k＋1曲拐之间夹角，°；

但自由端与首端曲拐之间的夹角取180°；

曲拐与链轮之间的夹角取90°。

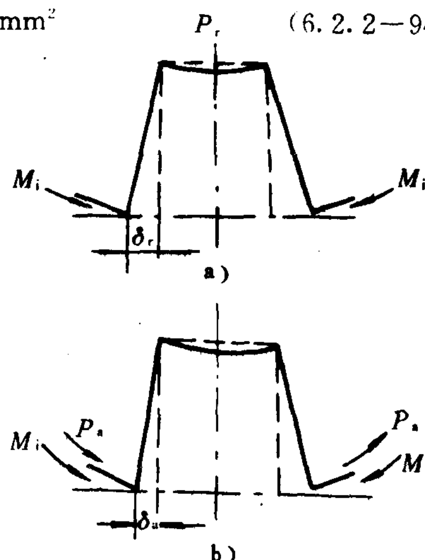


图6.2.2－35 曲拐在 p_r 与 p_a 作用下的变形

3）螺旋桨的激励力

螺旋桨的轴向力（F_x）$_\nu$ 可根据螺旋桨几何尺寸与船舶尾部情况按理论公式进行估算，在船舶初步设计阶段或有关参数不详时，可按下式进行估算[16]

$$(F_x)_\nu=\xi_p\left(\frac{n_c}{n_e}\right)^2 F_{x0} \tag{6.2.2—95}$$

式中：ξ_p——螺旋桨推力变化系数，由表6.2.2－12查取，无特别指明时，可取其中间值；

F_{xo}——在额定转速下的平均推力，由设计者提供或按下式计算：

$$F_{xo}=1943.3\frac{\eta\eta_t P}{V_s(1-t_1)} \qquad (6.2.2-96)$$

其中：η ——推进效率；

η_t ——传递效率，中机舱 $\eta_t=0.95$，尾机舱 $\eta_t=0.97$；

t_1 ——推力减额系数，一般可取 $t_1=0$；

V_s——船速，kn；

P ——额定功率，KW；

n_c ——任一转速，r/min；

n_e ——额定转速，r/min。

表6.2.2－12 **螺旋桨推力变化系数**

Z_p	υ	ζ_p	υ	$\zeta_1 p$
4	4	0.090～0.130	8	0.020～0.040
5	5	0.025～0.035	10	0.020～0.030
6	6	0.050～0.090	12	0.020～0.030

3.4.2 激励功

当 $\nu\omega=\omega_a$ 时，第 ν 次简谐力在一个循环中所作的功即可得出。

对具有 z 个气缸的柴油机，ν 次径向简谐力所作的功 W_e 为：

$$W_e=\frac{\pi^2}{4}D^2\beta\rho_r A_{a1}\Sigma\vec{\Delta\alpha_k} \qquad N.mm \qquad (6.2.2-97)$$

式中 $\Sigma\vec{\Delta\alpha_k}$ 称为相对振幅差矢量和，按下式计算：

$$\Sigma\vec{\Delta\alpha_k}=\sqrt{(\Sigma\Delta\alpha_k\sin\nu\psi_{1k})^2+(\Sigma\Delta\alpha_k\cos\nu\psi_{1k})^2} \qquad (6.2.2-98)$$

其中 ψ_{1k}为第 k 气缸与第一气缸之间发火间隔角。

同样，螺旋桨 ν 次简谐力所作的功 w_t 为：

$$W_t=\pi(F_x)_\nu A_{a1}\alpha_{ap} \qquad N\cdot mm \qquad (6.2.2-99)$$

式中：A_{a1}——第1质量纵振振幅，mm；

α_{ap}——螺旋桨纵振相对振幅。

3.5 阻　尼

3.5.1 阻尼力

轴系纵振的阻尼力有：轴段产生轴向拉压变形而形成的迟滞阻尼力；轴承的阻尼力；螺旋桨在水中产生的阻尼力；推力轴承阻尼力，包括油膜阻尼力，迟滞阻尼力，纵振减振器的阻尼力等。

1）轴承阻尼力 F_b 为：

$$F_b=C_b\dot{x}_k \qquad N \qquad (6.2.2-100)$$

式中：$C_b=2\times10^{-3}\xi_b\omega_a m_k$——纵振阻尼系数，Ns/mm；

ξ_b—— 轴承阻尼比，在不考虑螺旋桨阻尼及轴段阻尼时，取 $\xi_b=0.03\sim0.085$；当考虑所

有阻尼时，可取 $\xi_b=0.03$；

m_k——第 k 质点的质量，kg；

x_k——第 k 质量纵振位移，mm。

2）螺旋桨的阻尼力 F_p 为：

$$F_p=C_{ap}\dot{x}_p \quad N \qquad (6.2.2-101)$$

式中：C_{ap}——螺旋桨的纵振阻尼系数，按下式计算：

$$C_{ap}=8.2047\times10^{-2}\frac{\omega_a}{\nu}H_pD_p^2\frac{dC_t}{ds} \quad N\cdot s/mm \qquad (6.2.2-102)$$

ν——简谐次数；

H_p——螺旋桨螺距，m；

D_p——螺旋桨直径，m；

$\frac{dC_e}{ds}$——与盘面比和螺距比有关的系数，由图6.2.2—36查取；

x_p——螺旋桨的纵振位移，mm。

3）减振器的阻尼力 F_d 为：

$$F_d=C_d\dot{x}_d \quad N \qquad (6.2.2-103)$$

式中：C_d——减振器阻尼系数，N·s/mm；

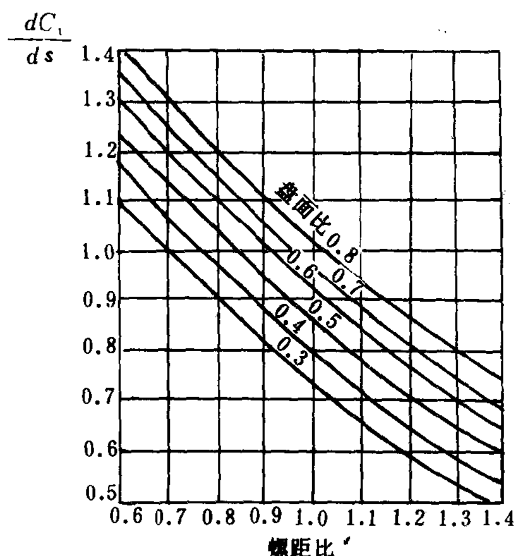


图6.2.2—36 $\frac{dC_t}{ds}$与螺距比关系

x_d——减振器的纵振位移，mm。

对调频减振器，其阻尼力 F_d 为：

$$F_d=C_dA_{a1}^2 \quad N \qquad (6.2.2-104)$$

其中阻尼系数 C_d 可取为6.3×10^2 Ns/mm。

3.5.2 阻尼功[16]、[9]

1）轴段迟滞阻尼功

轴段的迟滞阻尼功，与纵振产生的拉压力 σ_a^2成正比。在一个循环中，单位体积的阻尼功 W_a' 为：

$$W_a'=0.725\times10^{-7}\sigma_a^2 \quad N\cdot mm/mm^3 \qquad (6.2.2-105)$$

而在第 k 质量与第 k+1质量之间轴段上产生的纵振应力 σ_a 可写成：

$$\sigma_a=\frac{U_{kk+1}A_{a1}}{\frac{\pi}{4}d_{kk+1}^2} \quad N/mm^2 \qquad (6.2.2-106)$$

式中 U_{kk+1}为第 k 与 k+1轴段的纵振惯性力（N）。

这样就可写出曲轴的迟滞阻尼功 W_{ac}为：

$$W_{ac}=0.725\times10^{-7}(C_{a1}+C_{a2}+C_{a3})\pi\sum_{k=1}^{z}U_{kk+1}^2A_{a1}^2 \quad N.mm \qquad (6.2.2-107)$$

式中系数 C_{a1}、C_{a2}、C_{a3}按下式计算：

$$C_{a1}=0.405\frac{l_j}{d_j^2} \quad 1/mm$$

$$C_{a2}=0.405l_p(8R+d_p)^2/d_p^4 \quad 1/mm$$

$$C_{a3}=22.918R^3/BH^3 \qquad 1/mm$$

曲轴以后轴段的迟滞阻尼功 W_{as} 为：

$$W_{as}=0.725\times10^{-7}\pi\sum_{k=z}^{n}C_{as}U_{kk+1}^2A_{a1}^2 \qquad N\cdot mm \qquad (6.2.2-108)$$

式中：$C_{as}=0.405\frac{l_{kk+1}}{d_{kk+1}^2} \qquad 1/mm$；

$l_{k,k+1}$——第 k 质量与第 k+1质量之间轴段长度，mm；

$d_{k,k+1}$——第 k 质量与第 k+1质量之间轴的直径，mm；

$\sum_{k=z}^{n}$——表示曲轴以后轴段总和。

2)轴承阻尼功

假定每个集中质量上均受轴承阻尼力 F_b 的作用，则整个推进轴系在一个循环中的轴承阻尼功 W_b 为：

$$W_b=2\times10^{-3}\pi\xi_b\omega_a^2A_{a1}^2\sum_{k=1}^{n}m_k\alpha_{ak}^2 \qquad N\cdot mm \qquad (6.2.2-109)$$

3)螺旋桨阻尼功

螺旋桨的阻尼功 W_p 为：

$$\overline{W}_p=\pi C_{ap}\omega_a\alpha_{ap}^2A_{a1}^2 \qquad N\cdot mm \qquad (6.2.2-110)$$

4)调频减振器阻尼功

调频减振器的阻尼功 W_d：

$$\overline{W}_d=\pi C_d\omega_a\alpha_1^2A_{a1}^2 \qquad N\cdot mm \qquad (6.2.2-111)$$

3.6 响应计算

3.6.1 能量法

轴系纵振共振时，纵振的激励功等于阻尼功，由此计算出第1质量处的共振振幅 A_{a1}。

1)柴油机气体力和惯性力单独作用时：

$$\overline{W}_e=\overline{W}_{ac}+\overline{W}_{as}+\overline{W}_b+\overline{W}_p \qquad N\cdot mm \qquad (6.2.2-112)$$

2)螺旋桨激励力单独作用时：

$$\overline{W}_t=\overline{W}_{ac}+\overline{W}_{as}+\overline{W}_b+\overline{W}_p \qquad N\cdot mm \qquad (6.2.2-113)$$

3)柴油机和螺旋桨同时作用时[16][9]：

$$\sqrt{\overline{W}_e^2+\overline{W}_t{}^2+2\overline{W}_e\overline{W}_t\cos\varphi}=\overline{W}_{ac}+\overline{W}_{as}+\overline{W}_b+\overline{W}_p \qquad N\cdot mm \qquad (6.2.2-114)$$

式中 φ 为气体激励力与螺旋桨激励力之间的夹角，按下式计算(见图6.2.2-37)：

$$\varphi=Z_p\beta_p+\varphi_p-\varphi_\nu-\psi \qquad (6.2.2-115)$$

其中：Z_p——螺旋桨叶片数；

β_p——螺旋桨桨叶中心线与第1气缸在止点之间的夹角；

φ_p——第 ν 次螺旋桨激励力$(F_x)_\nu$ 与桨叶中心线之间的夹角；

φ_ν——第 ν 次合成径向激励力 p_r 与第1气缸在上止点之间的夹角，按下式计算：

$$\varphi_\nu=tg^{-1}\left(\frac{p_{n\nu}\sin\varphi_{n\nu}-p_j\nu}{p_{n\nu}\cos\varphi_{n\nu}}\right) \qquad (6.2.2-116)$$

ψ——第 ν 次整个气体激励力(用 $\Sigma\overrightarrow{\Delta\alpha_k}$ 表示)与节1气缸径向激励力 P_r 之间的夹角，按下式计算

$$\psi = \mathrm{tg}^{-1}\left(\frac{\Sigma\Delta\alpha_k \cos\xi_{1k}}{\Sigma\Delta\alpha_k \sin\xi_{1k}}\right) \quad (6.2.2-117)$$

3.6.2 非共振计算

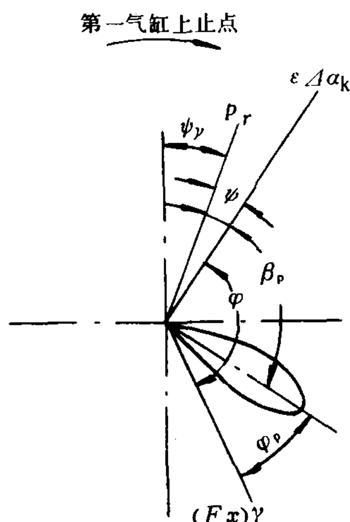


图6.2.2－37 激励力矢量图

在共振转速 n_c 附近的第1质量纵振振幅 A_a 为：

$$A_a = \frac{A_{a1}}{\sqrt{\left[\Sigma_1 - \left(\frac{n}{n_c}\right)^2\right]^2 M_a{}^2 + \left(\frac{n}{n_c}\right)^2}} \quad \text{mm} \quad (6.2.2-118)$$

式中：n——计算转速，r/min；

$M_a = \frac{A_{a1}}{A_{ao}}$——总动力放大系数；

A_{ao}——纵振平衡振幅，按下式计算：

$$A_{ao} = \frac{1000\frac{\pi}{4}D^2\beta p_r \sum \Delta \vec{\alpha}_k}{\omega_a{}^2 \sum_{k=1}^{n} m_k \alpha_{ak}^2} \quad \text{mm} \quad (6.2.2-119)$$

3.6.3 齿轮传动装置推进轴系的响应计算

这时可按下式计算出大齿轮处的纵振振幅 A_{a1}：

$$\overline{W}_t = \overline{W}_{as} + \overline{W}_b + \overline{W}_p \quad \text{N·mm} \quad (6.2.2-120)$$

3.7 减振措施

为了避免由轴系纵振产生的轴系故障，以及船舶尾部振动和上层建筑振动等，则应对轴系进行合理设计，使主机在常用转速范围内或特殊使用转速范围内的轴系纵振振幅不超过衡准值，否则应采取必要的调频措施，把有害的纵振共振转速移开。如果因条件限制，采取调频措施有困难时，则应考虑采取合适的减振措施。这里仅从轴系纵振角度简要叙述其预防措施。

需要强调指出的是，有害的轴系纵振问题的最终解决，还取决于轴系的扭转振动，回旋振动及轴系较中的计算结果，同时还应考虑螺旋桨表面力的变化情况，因此应予综合考虑。

3.7.1 调频

1）改变轴系的纵向刚度

改变轴系的长度或直径，可以提高或降低轴系的纵振固有频率，从而可把有害的纵振共振转移开。轴系纵向刚度对纵振固有频率的影响程度，随装置情况、振动型式以及振型曲线变化程度而不同，应通过计算来确定。

2）轴系中安装附加质量

在轴系纵振相对振幅较大处安装附加质量，或调整主机飞轮质量，不仅可降低轴系的纵振固有频率，而且还可以改变振型，从而可达到避开有害的纵振共振转速或减小振幅的目的。附加质量的位置及大小，根据所要解决的相关振型由计算确定。

一般飞轮处的0节纵振相对振幅比较小，所以飞轮质量变化对0节纵振固有频率和振型影响不大。因此，当采用调整主机飞轮惯量方法来解决或改善轴系的扭振特性时，可不必顾及对轴系0节纵振的影响。但对1节纵振，随轴系布置不同，有时会产生一定的影响，应予注意。

自由端处0节纵振相对振幅比较大，如在自由端安装副飞轮可使0节纵振频率下降较大，而且振型也发生变化。这也说明，当采用安装副飞轮的方法来解决或改善轴系的扭振特性时，应注意对纵振的影响，以防止有害的纵振共振转速落到常用转速范围内，或产生扭转—纵向耦合

振动现象。

3)改变螺旋桨叶片数

如果纵振是由螺旋桨激励力产生的，则改变螺旋桨叶片数，可以把有害的纵振共振转速移开。

4)改变柴油机的发火顺序

曲轴的纵向刚度除了与其结构尺寸有关外，还与相邻曲拐的夹角有关，因此，改变柴油机(二冲程)的发火顺序，可改变曲轴的纵向刚度值，进而改变了轴系的纵振固有频率。

3.7.2 减少激励力

1)安装减振器

从公式(6.2.2—98)可知，相对振幅差矢量和$\Sigma\vec{\Delta\alpha_k}$与柴油机发火顺序有关。如果由于较大的副简谐产生有害的纵振响应，则改变柴油机发火顺序可使$\Sigma\vec{\Delta\alpha_k}$减少，从而减少输入系统的激励能量。但应注意其他简谐的相对振幅差矢量和$\Sigma\vec{\Delta\alpha_k}$的变化。

如果是由主简谐产生的，则应安装轴系纵振减振器。图6.2.2—38所示的纵振调频减振器，安装在曲轴自由端，由于其液压缸固定在柴油机机架的横梁上，这样使曲轴自由端受到一定的纵向约束作用，从而提高了轴系的纵振固有频率；同时，由于液压油的阻尼作用，使纵振振幅减小，达到了减振的目的。图6.2.2—39所示为42000DWT货轮主机自由端安装纵振调频减振器的减振效果。

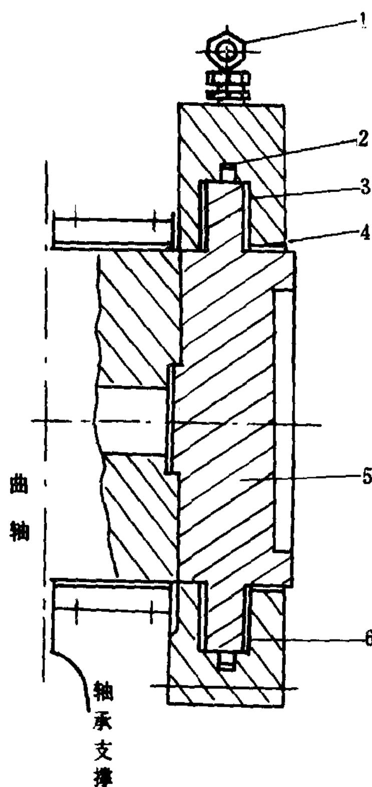


图6.2.2—38 调频减振器

1—油管接头；2—密封环；3—油；4—密封环；5—活塞；6—气缸

2)改变螺旋桨的安装位置

当螺旋桨叶片次激励力与相同次数的气体径向激励力同时作用，且产生的纵振响应又比较大时，除可采用3.7.1.3所述方法外，还可采用螺旋桨最佳安装角的方法，可使两者相互抵消一部分，以达到减小振幅的目的。

纵振的螺旋桨最佳安装角β_p可按下式计算：

$$\beta_p=\frac{1}{Z_p}(\varphi_v+\psi-\varphi_p+\gamma_o) \qquad (6.2.2-121)$$

式中符号意义同公式(6.2.2—130)，其中γ_o是考虑振型的初相角，对0节时为180°，对1节时为0°。

3.7.3 其他

如果在曲轴自由端实测所得的纵振振幅较大，且主要是由轴系扭振而引起的，则应采取解决轴系扭振的措施来消除[16]。

如果单独计算的轴系扭振和纵振的固有频率相近或相同时，可能产生强烈的扭转—纵向耦合振动，这时应设法使两者的相关频率尽量远离，或者分别采取扭振或纵振的减振措施。

如由轴系纵振产生的继发性激励力引起其他振动体强烈的振动响应，则应设法使继发性激励力频率与振动体固有频率尽量远离，或者改变轴系纵振固有频率，或者减少轴系纵振产生的继发性激励力。

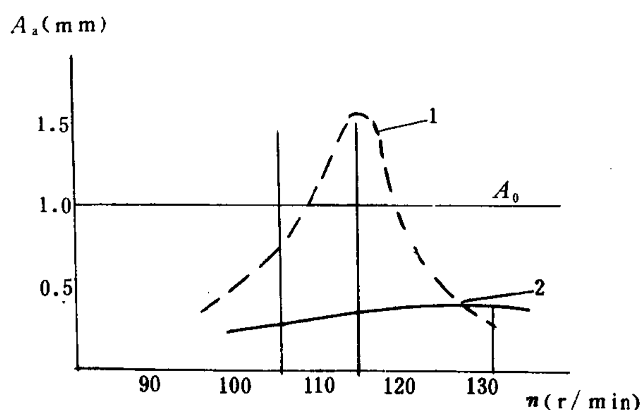


图6.2.2－39 调频减振器减振效果

1－未装纵振减振器；2－安装纵振减振器

如轴系纵振频率与船体梁某一节点垂向振动频率无法远离，且激励力又比较大时，则应把柴油机推力轴承尽量放在相应船体梁垂向振动振型的波腹位置。

3.8 实 例

一、主机、轴系及螺旋桨参数

主机型号：6L 60MCE；气缸数：6

额定功率：9180kW，额定转速：111r/min

气缸直径：60cm；冲程：194.4cm；

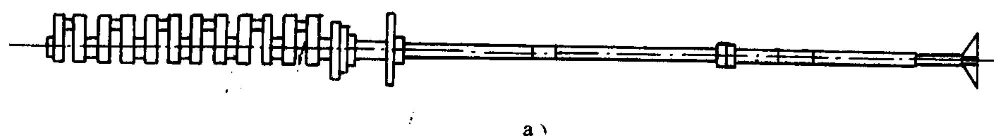
曲轴直径：67.2cm；发火顺序：1－5－3－4－2－6；

中间轴直径：47cm；中间轴长度：842cm；

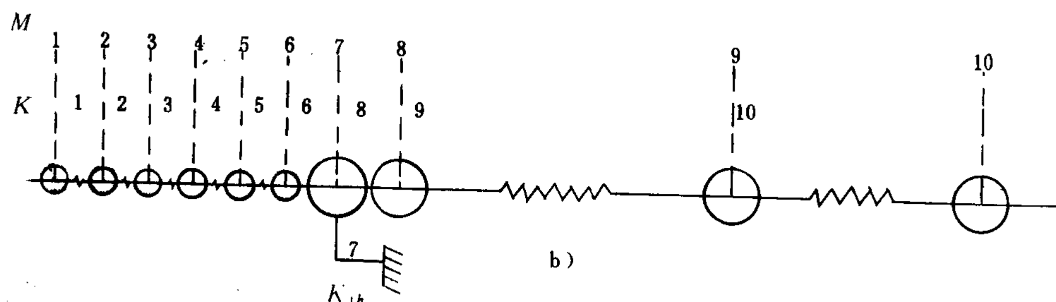
螺旋桨轴直径：50cm；螺旋桨轴长度：642.5cm；

螺旋桨直径：5.8m；叶片数：4；

螺距：4.425m；盘面比：0.54。



a）



b）

图6.2.2－40 轴系布置简图及当量系统图

二、轴系布置简图

轴系布置简图如图6.2.2—40a），所示。

三、当量系统

纵振当量系统如图6.2.2—40b）所示。当量参数见表6.2.2—13。

四、固有频率计算

0节固有频率计算的霍尔茨表如表6.2.2—13所示。

可知0节固有频率为 f_o=691.62 1/min；而0节6次主共振转速为115r/min。

0节振动各谐次的强迫振动计算结果如表6.2.2—14所示，图6.2.2—41是0节6次和12次的纵振振幅与许用振幅曲线。

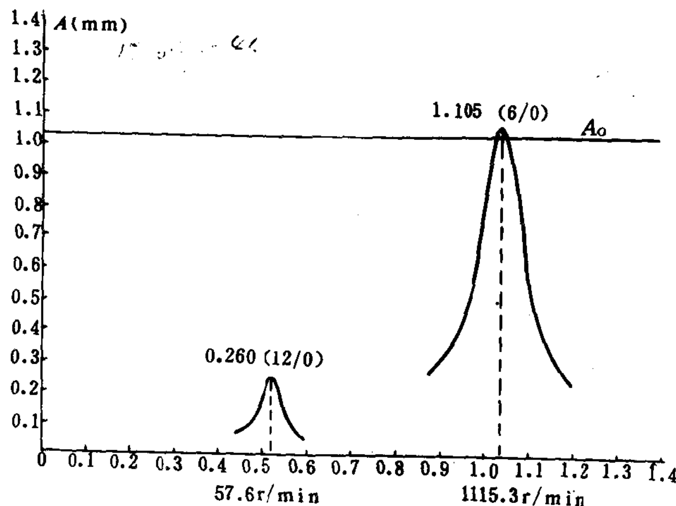


图6.2.2—41　纵振振幅曲线

五、结论

从计算可知，0节6次主共振转速刚好处在主机额定转速附近，且产生的纵振振幅值超过了许用值，这是不安全的，应采取减振措施。

六、改进措施

在主机曲轴自由端安装了调频减振器，减振器的刚度为0.55×10^{6}N/cm；这时轴系的0节固有频率提高到796.37 1/min；6次主共振转速为132.7r/min，已远离额定转速。另外，0节8次共振转速为99.5 r/min，纵振振幅为0.042mm；0节9次共振转速为88.5r/min，纵振振幅为0.046mm；均小于许用振幅0.881mm。从轴系纵振角度来看，在整个使用转速范围内可无禁区连续运转。

该推进轴系经实测证明上述措施的效果是明显的。

表6.2.2—13　固有频率计算表

f_o=691.6212　　ω_o=72.4211

质量号	质量（Kg×s²/cm）	相对振幅	惯性力（N/cm）	总惯性力（N/cm）	刚度（KN/cm）
1	5.140000	1.000000	269583.272	269583.272	
2	9.600000	0.955950	481322.799	750906.070	6210
3	9.600000	0.850782	428370.057	1179276.127	7140
4	9.600000	0.710392	357683.427	1536959.554	8400
5	9.600000	0.527420	265557.005	1802516.559	8400
6	9.600000	0.274967	138446.306	1940962.865	7140
7	15.170000	0.023547	18734.706	1959697.571	7720
	推力轴承反力		2018194.344	−58496.773	85710
8	10.830000	0.023604	13407.293	−45089.480	1025000
9	10.940000	0.024625	14129.197	−30960.283	44170
10	23.570000	0.025045	30960.297	0.014	73710

表6.2.2－14　　响应计算结果

次数	共振转速	矢量和	平均指示压力 N/cm²	径向简谐力 N/cm²	振幅 mm	曲柄销弯曲应力 N/cm²	曲柄销拉应力 N/cm²	曲柄销合成应力 N/cm²
5	138.3	.033	130.66	42.25	.06636	42.43	3.67	46.10
6	115.3	.976	130.66	23.69	1.10498	706.48	61.05	767.54
7	98.8	.033	100.40	15.39	.02418	15.46	1.34	16.80
8	86.5	.151	79.48	12.73	.11252	71.94	6.22	78.16
9	76.8	.397	65.14	10.91	.20717	132.46	11.45	143.90
10	69.2	.151	54.88	8.29	.05969	38.16	3.30	41.46
11	62.9	.033	47.29	6.64	.01044	6.67	0.58	7.25
12	57.6	.976	41.52	5.74	.26774	171.19	14.79	185.98
13	53.2	.033	37.02	4.64	.00730	4.67	0.40	5.07
14	49.4	.151	33.46	4.10	.02950	18.86	1.63	20.49
15	46.1	.397	30.58	3.59	.06821	43.61	3.77	47.38
允许振幅 H_0＝1.0300(mm)								

4　回旋振动

4.1　简　　述

4.1.1　轴系回旋振动物理现象及定义

回旋振动是旋转轴绕其静平衡曲线产生进动的一种振动模态。推进轴系的回旋振动，就是在悬臂端带有螺旋桨的多支点支承的转轴进动运动。当轴系以角速度 ω 绕其自身的几何轴线旋转时，该轴线又以角速度 ω_n 旋转。这样，轴上任一截面的绝对角速度 ω_a 可近似表示为：

$$\omega_a=\omega+\omega_n$$

当 ω_n 与 ω 方向相同时，称为正回旋或进动，反之称为逆回旋或反向进动，如图6.2.2－42所示。

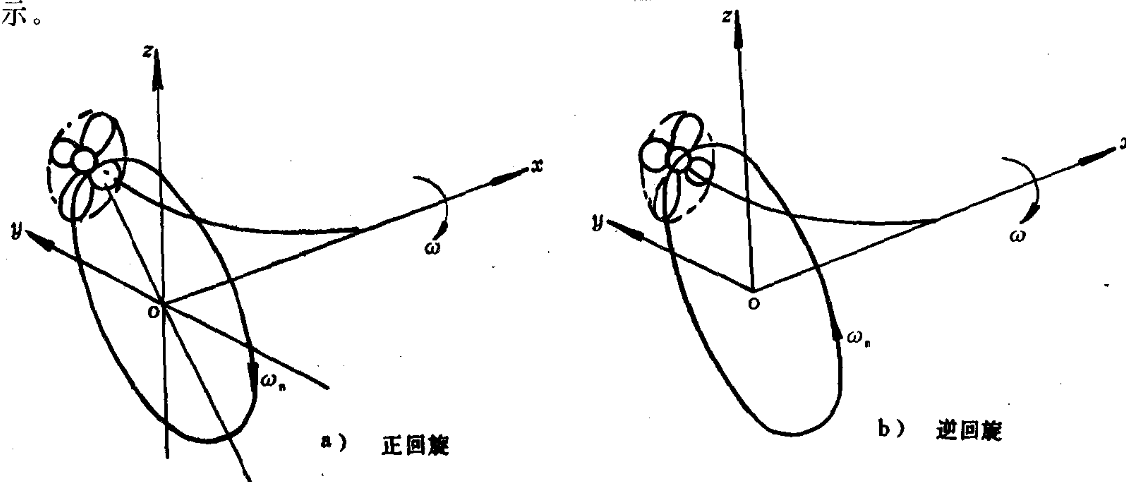


图6.2.2－42　正回旋与逆回旋

回旋振动与一般轴的横向振动的主要区别是前者考虑转轴的螺旋桨的陀螺效应。因为螺旋桨在旋转时，除产生一惯性力作用在轴上外，还作用一个陀螺力矩，即惯性力矩 M_g，其值为[14]：

$$M_g = -J_d\omega_n^2\theta\left(\frac{J_p}{J_d}\frac{\omega}{\omega_n}-1\right) \tag{6.2.2-122}$$

式中：J_d——螺旋桨极转动惯量；

J_p——螺旋桨径向转动惯量；

θ——螺旋桨中心处轴的转角；

ω——轴的旋转圆频率；

ω_n——轴的回旋圆频率。

显然，当轴静止不动即 $\omega=0$时，$M_g=0$，此时轴的固有频率就称为轴的横向振动固有频率，当轴旋转即 $\omega>0$时，M_g 的第一项使正回旋固有频率升高，使逆回旋固有频率降低。这样，陀螺力矩 M_g 的作用结果使转轴具有无数个回旋振动固有频率，如图6.2.2－43所示。因此，忽略 M_g 将导致固有频率估计不足。

另外，陀螺力矩 M_g 的大小，取决于旋转轴的频率大小，这说明，由于陀螺力矩的作用，使轴系回旋振动固有频率随轴系旋转频率而变化。这也是回旋振动与通常所述的一般轴的横向振动重要区别。

实际上，由于周期性激励力矩的作用，在主机使用转速范围内只有几个共振转速存在（如图6.2.2－41所示），因此，只需校核有较大激励力矩作用的几个共振转速就可以了。

4.1.2 回旋振动一般特性

一般低速大功率柴油机推进轴系，由于1模态1次回旋振动固有频率比较高，几乎不会产生不平衡力引起的1次回旋振动。但是处在或接近额定转速附近，可能会产生1模态叶片次回旋振动，这是应该避免的。特别是对轴系校中不良或铁梨木轴承磨损后，可能发生较强烈的叶片次回旋振动。

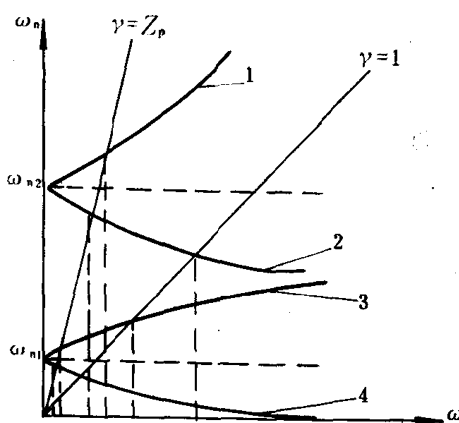


图6.2.2－43 轴承各向同性时的 $\omega_n-\omega$ 曲线

1－2模态正回旋；2－2模态逆回旋；3－1模态正回旋；4－1模态逆回旋

对长跨距轴如双桨船轴系，轴直径余量小的轴系，转速较高及弹性支承（如尾架轴承）的轴系，要考虑的最重要的情况可能是由不平衡力产生的1次回旋振动，而叶片次回旋振动通常是不重要的。有时可能需要计算2模态回旋振动。

轴系回旋振动固有频率与尾管后轴承的磨损情况——支承中心有关，因此，有的船舶在新造时并不存在回旋振动现象，当铁梨木轴承磨损后，一方面使轴承的接触点往前移动，增加了螺旋桨的悬臂长度；另一方面由于轴承的磨损而可能改变了轴系的校中状态。从而可能使尾管前轴承或最后一个中间轴承出现脱空现象，这就增加了轴的跨距。这两者均将大大降低轴系的回旋振动固有频率，使船舶出现严重的回旋振动现象。图6.2.2－44为新造与营运一段时间（9个月）后的轴系回旋振动实测曲线，该船尾管轴承为铁梨木，4叶螺旋桨。

目前人们对回旋振动的认识远比纵振和扭振的少。从一些测量结果来看，对油润滑白合金轴承的轴系，在额定转速附近时，在螺旋桨轴前端测得的最大振幅为0.2～0.4mm；在共振时

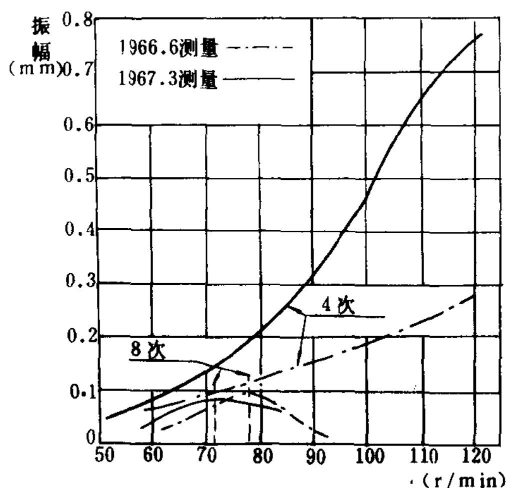


图6.2.2—44　在尾隔舱壁前端测得的轴系回旋振动

达0.3～0.4mm。[14]对水润滑的铁梨木轴承的轴系，一般振幅稍大些，有的测量中测得隔舱壁前端的振幅值达0.5～0.6mm。因此，对推进轴系，在许多情况下，只进行无阻尼回旋固有频率计算。以校核可能产生的共振转速是足够了。计算的内容为螺旋桨叶片次正回旋和逆回旋固有频率，以及1次正回旋固有频率；1次逆回旋振动是没有问题的。它只是学术上感兴趣的问题。[14]

4.1.3　振动方程

图6.2.2—45为回旋自由振动的简化模型，螺旋桨简化为一均质薄圆盘，其质量和转动惯量均包含了附连水影响，转轴简化为一无质量弹性轴，忽略各种阻尼作用。

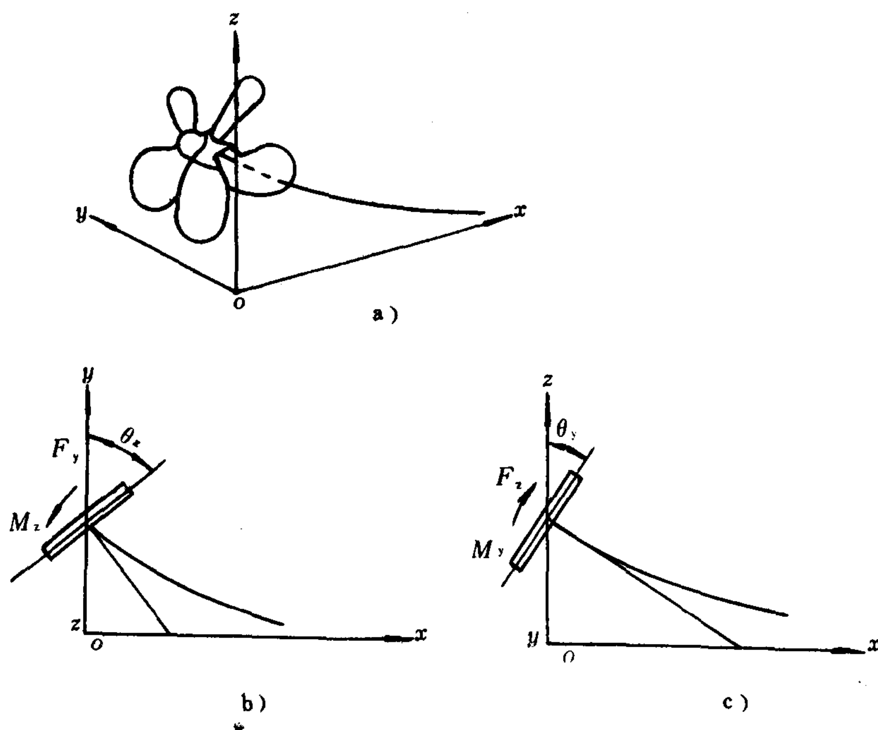


图6.2.2—45　推进轴系坐标系及在水平垂直平面的投影

取螺旋桨中心的静平衡位置为坐标原点0，x 轴指向船首方向，y 轴指向水平左舷方向，x 轴垂直向上。

推进轴系在水平和垂直平面上的投影如图6.2.2—45a)、b)所示。螺旋桨平面的转角 θ_y 和 θ_z 按右手定则取与坐标轴正向一致时为正，作用在螺旋桨上的力 F_y 和 F_z 与坐标轴的正向一致时为正，力矩 M_y 和 M_z 按右手定则取与坐标轴的正向一致时为正。

分析采用影响系数法，则螺旋桨端部的影响系数、螺旋桨的质量和惯量定义如下：

δ_w、φ_w——螺旋桨处受到单位力作用时，其几何中心处产生的挠度和轴的转角；下标 y、z 表示在各方向的值；

δ_m、φ_m——螺旋桨处受到单位力矩作用时，其几何中心处产生的挠度和轴的转角；下标 y、

z 表示在各方向的值；

m——螺旋桨质量(包含附连水)；

J_y、J_z——螺旋桨的极转动惯量与径向转动惯量(均包含附连水)；

θ_y、θ_z——螺旋桨中心处轴在 x－z 平面与 x－y 平面的转角；

y、z——螺旋桨中心处在 y 轴与 z 轴产生的挠度。

这样可写出回旋振动的自由运动方程式[17]

$$\left.\begin{aligned} y &= -m\ddot{y}\delta_{wy} - J_p w\dot{\theta}_y\delta_{Mz} + J_d\ddot{\theta}_Z\delta_{Mz} \\ \theta_z &= m\ddot{y}\varphi_{wy} + J_p w\dot{\theta} z\varphi_{Mz} - J_d\ddot{\theta}_z Z_{Mz} \\ z &= -m\ddot{z}\delta_{wZ} - J_p\omega\dot{\theta}_Z\delta_{My} - J_d\ddot{\theta} y\delta_{My} \\ \theta_y &= -m\ddot{Z}\varphi_{wZ} - J_p\omega\dot{\theta}_Z\varphi_{My} - J_d\ddot{\theta}_y\varphi_{My} \end{aligned}\right\} \quad (6.2.2-123)$$

公式(6.2.2－138)的解为：

$$\left.\begin{aligned} y &= Y\cos\omega_{nt} \\ \theta_z &= H_z\cos\omega_{nt} \\ z &= Z\sin\omega_n t \\ \theta_y &= H_y\sin\omega_n t \end{aligned}\right\} \quad (6.2.2-124)$$

式中 Y、H_z、Z、H_y 为常数，ω_n 为回旋振动固有圆频率。将式(6.2.2－124)代入式(6.2.2－123)中，即可得到振动频率方程式：

$$\begin{Bmatrix} 1-m\omega_n^2\delta_{wy} & J_d\omega_n^2\delta_{Mz} & 0 & J_p\omega\omega_n\delta_{Mz} \\ m\omega_n^2\varphi_{wy} & 1-J_p\omega_n^2\varphi_{MZ} & 0 & -J_p\omega\omega_n\varphi_{Mz} \\ 0 & -J_p\omega\omega_n\delta_{My} & 1-m\omega^2 n\delta_{Mz} & -J_q\omega_n^2\delta_{My} \\ 0 & -J_p\omega\omega_n\varphi_{My}-m\omega_n^2\varphi_{wZ} & & 1-J_p\omega_n^2\varphi_{Mz} \end{Bmatrix} = 0 \quad (6.2.2-125)$$

从式(6.2.2－140)可知，回旋振动固有频率 ω_n 与不变的参数 m、J_p、J_d、δ_m、δ_w、φ_m、φ_w 有关外，还与旋转角速度 ω 有关。当轴不旋转即 ω=0时，式(6.2.2－125)就可得出轴系的横向振动频率方程，由此求得的 ω_n 即为横向振动固有频率。当轴旋转即 ω>0时，ω_n 随 ω 而变化，这就是前述的陀螺力矩影响的缘故。

4.2 当量系统

4.2.1 简单模型

图6.2.2－46为回旋振动当量系统的简单模型，螺旋桨作为集中质量或均质圆盘，转轴作为等截面圆轴，考虑(或忽略)转轴质量，支承作为刚性点支承，一般只考虑两点支承。

4.2.2 当量系统模型

图6.2.2－47为回旋振动的当量系统模型，其转化原则是：

1)轴系自螺旋桨尾端主柴油机飞轮止，或传动齿轮大齿轮，或弹性联轴器从动端，按分布系统处理。

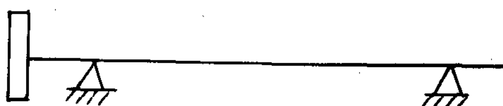


图6.2.2－46 简单模型

2)螺旋桨简化为均质刚性圆盘元件，其质量和转动惯量作为集中参数，并考虑附连水的影响。

3)螺旋桨轴、尾轴(如有的话)，中间轴按自然分段为等截面均质轴段元件。为较清晰地绘制振型曲线，轴段元件可以细分。一般可以忽略轴段陀螺效应，剪力和轴向推力的影响。

4)如果法兰连接的弯曲刚度比轴的刚度大得多,则可不考虑其弯曲变形,直接将两连接法兰作为均质刚性圆盘元件,或轴段元件。

5)轴承按弹性铰支处理,支承分支系统可简化为集总参数系统,如图6.2.2—47所示。

6)当量系统的尾端(螺旋桨处)为自由端,首端如为飞轮,取为固定端;如为大齿轮或高弹性联轴器,取为铰支端或自由端。对于长轴系,首端边界条件对固有频率影响不大。

7)通常不考虑阻尼的影响。

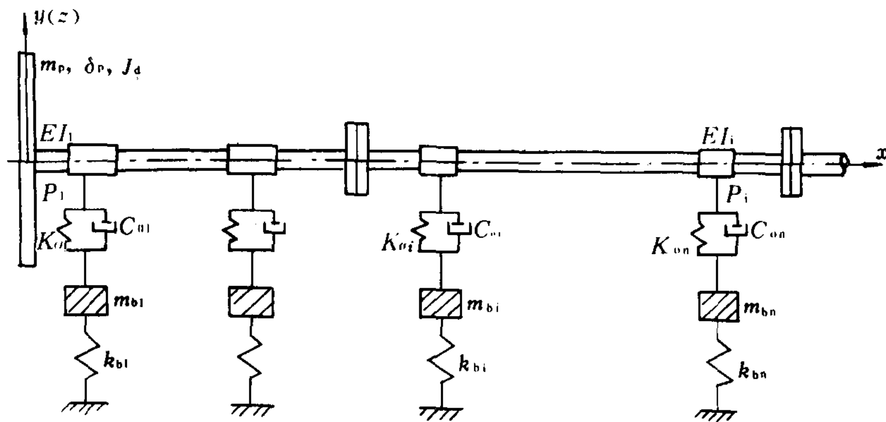


图6.2.2—47　当量系统模型

4.2.3 影响回旋振动固有频率的主要因素[18][17]

目前,轴系回旋振动固有频率计算的精度尚嫌欠缺,原因是计算的原始参数不能准确选取。这些参数为:

1)轴承支承点位置

回旋振动计算分析中,把轴承简化为点支承,对中间轴轴承、尾管前轴承,可以认为支反力沿轴承轴向均匀分布,故支承点可取轴承中央位置。

但对尾管后轴承,由于悬臂端螺旋桨的作用,支反力沿轴承轴向分布很不均匀,支承力的合力作用点总是偏向尾端,螺旋桨愈重、螺旋桨轴刚度愈小,合力的作用点(即支承点)偏离轴承中央位置愈多。一般尾管后轴承长度较大,支承点取不同位置对回旋振动固有频率有较大的影响。同时尾管后轴承支承点位置实际上是不定的,它随轴系运转时间的长短,船舶负载,船体变形等因素而变化。现实的处理方法是根据初期轴系校中计算确定支承点位置,然后预计到各种因素的影响,按经验给出支承点位置变化的某一范围,分别计算出固有频率值。

尾管后轴承支承点位置,对铁梨木轴承,一般可取离轴承衬后端面$\left(\frac{1}{4}\sim\frac{1}{2}\right)$L 处(L 为轴承衬长度);对白合金轴承,一般可取轴承衬后端面$\left(\frac{1}{7}\sim\frac{1}{3}\right)$L 处。在条件许可时,可进行轴系动态校中计算,以求出轴承支反力沿轴向的分布曲线,即可找到支反力的作用点。

2)轴系校中状态

当轴系校中不良时,轴系某轴承(特别是尾管前轴承和最后一个中间轴轴承)出现负的支反力,轴承出现脱空现象,这样将使回旋振动固有频率大幅度下降,可能使回旋振动临界转速落入工作转速范围的危险。

此外,当尾管后轴承支承点随磨损加剧(特别对铁梨木轴承)而逐渐前移时,也可能使回旋振动的固有频率下降较大,这就是为什么有的船舶在营运一段时间后产生强烈的轴系回旋振

动的缘故。

因此，使所有轴承均具有合理的正反力，是回旋振动计算的必要条件。

3）螺旋桨的附连水

螺旋桨附连水有质量和转动惯量两个作用，初估时可用一附加系数来表示，建设范围如下：

质量附连水系数为1.10～1.20；

极转动惯量附连水系数为1.25～1.50；

径向转动惯量附连水系数为1.50～2.00；

4）支承刚度

目前的回旋振动计算中，多数还没有计入支承刚度的影响。实际上，对不同推进轴系情况，应计入支承刚度的影响，主要是考虑尾管后轴承的动力特性，有时还要进一步考虑支承刚度的各向异性。

尾管后轴承的刚度一般为$(10\sim50)\times10^6$N/cm；对水润滑的尾管后轴承，其刚度可取为2×10^6N/cm。

中间轴轴承可认为是刚性的。

如某万吨船推进轴系，主机额定转速为115r/min，尾管轴承是铁梨木水润滑的，当不计尾管后轴承的刚度时，1模态叶片次共振转速大大超过额定转速，如以2×10^6N/cm的刚度值计算时，则1模态叶片次共振转速刚好落到常用转速范围内。

4.3 固有频率计算[14][9][17]

4.3.1 简单估算法

目前计算回旋振动固有频率的简化公式是比较多的，下面是常用的两个公式。

1）杰斯帕（Jasper）公式

该公式考虑了螺旋桨的陀螺力矩，但忽略了轴段分布质量的影响，螺旋桨简化为薄圆盘。简化模型如4.2.2－48所示。

轴系的1模态和2模态回旋振动固有频率$f_{h_2^1}$为：

$$f_{h_2^1}=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{2}{Q\pm\sqrt{Q_2^2-Q_1Q_2}}}\quad \text{Hz} \qquad (6.2.2-126)$$

式中：$Q_1=\delta_w\varphi_M-\delta_M\varphi_w$；

δ_w——螺旋桨处受到单位力作用时产生的挠度，m/N；

φ_w——螺旋桨处受到单位力作用时产生的转角，rad/N；

δ_M——螺旋桨处受到单位力矩作用时产生的挠度，m/N；

φ_M——螺旋桨处受到单位力矩作用时产生的转角，rad/N。

$Q_2=m_e\delta_w+G_g\varphi_M$

$m_e=m_p+0.38m_s$——螺旋桨等效质量，kg；

m_p——考虑附连水影响的螺旋桨质量，kg；

m_s——轴段质量，kg；

$G_g=(1-j_o h)J_d$，N·m²；

$j_o=\frac{J_p}{J_d}$——转动惯量比；

J_p——考虑附连水影响的螺旋桨极转动惯量，附连水系数在无确切数据时，可取1.30；

J_d——考虑附连水影响的螺旋桨径向转动惯量，如无确切数据时，可取1.60；

$h=\frac{\omega}{\omega_n}$——频率比；

ω——轴旋转圆频率，rad/s；

ω_n——回旋振动圆频率，rad/s；

$Q_3=4m_eGg$。

计算时h值一般只取±1、$\pm\frac{1}{z_p}$即可。

h为正时为正回旋，$h=1$为1次正回旋，$h=\frac{1}{z_p}$为叶片次正回旋，

h为负时为逆回旋，$h=-1$为1次逆回旋，$h=-\frac{1}{z_p}$为叶片次逆回旋。

1次正、逆回旋临界(共振)转速$n_v=\pm1$为：

$$n_{v=\pm1}=60f_{h=\pm1}\quad r/min \tag{6.2.2-127}$$

叶片次正、逆回旋临界转速$n_v=\pm z_p$为：

$$n_{v=\pm z_p}=60f_h=\pm\frac{1}{z_p}\times\frac{1}{z_p}\ r/min \tag{6.2.2-128}$$

对首端为固定端的两个支承系统，影响系数可根据几何参数写出：

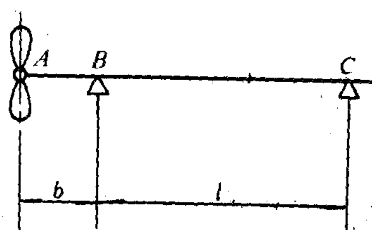


图6.2.2-48 简单当量系统

$$\left.\begin{aligned}\delta_w&=\frac{b^2}{EI}\left(\frac{b}{3}+\frac{l}{4}\right)\\ \delta_M=\varphi_w&=\frac{b}{2EI}\left(b+\frac{l}{2}\right)\\ \varphi_M&=\frac{1}{EI}\left(b+\frac{l}{4}\right)\end{aligned}\right\} \tag{6.2.2-129}$$

式中：G——弹性模数，Nm^2；

I——轴截面惯性矩，m^4；

b、l见图6.2.2-48所示(m)。

对首端为自由端的两个支承系统，影响系数为：

$$\left.\begin{aligned}\delta_w&=\frac{b^2}{3EI}(b+l)\\ \delta_M=\varphi_w&=\frac{b}{EI}\left(\frac{b}{2}+\frac{l}{3}\right)\\ \varphi_M&=\frac{1}{EI}\left(b+\frac{l}{3}\right)\end{aligned}\right\} \tag{6.2.2-130}$$

2)潘纳戈帕勒斯(Panagopulos)公式

简化模型如图6.2.2-48所示，该公式不考虑螺旋桨的陀螺力矩，但考虑轴段分布质量的影响。

回旋振动1模态固有频率f为：

$$f=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{EI}{J_d\left(b+\frac{l}{3}\right)+m_pa^2\left(\frac{b}{2}+\frac{l}{3}\right)+\mu\left(\frac{b^4}{8}+\frac{b^3l}{9}+\frac{7l^4}{360}\right)}}\quad Hz \tag{6.2.2-131}$$

式中：$J_d=0.8J'_p$——考虑附连水影响时螺旋桨径向转动惯量，$N\cdot m^2$；

J_p'——不计附连水影响时螺旋桨极转动惯量，$N\cdot m^2$；

$m_p = 1.3W$——考虑附连水影响时螺旋桨质量,kg;

W——螺旋桨在空气中的质量,kg;

a——螺旋桨到支承点 B 的实际距离,m;

μ——轴单位等效长度的质量,kg/m;

b、l 在这里并不是实际长度,而是以当量直径 D_e 转化后的等效长度。当量直径一般取螺旋桨轴的基本直径,则等效长度 l_e(l 或 b)按下式计算:

$$l_e = l'\left(\frac{D_e}{D}\right)^4 \quad \text{m} \qquad (6.2.2-132)$$

式中:l'——轴段实际长度,m;

D——轴段实际直径,m。

固有频率 f 求出以后,即可得出1次临界转速 $n_{\nu=\pm1}$和叶片次临界转速 $n_{\nu=\pm Z_p}$:

$$\left.\begin{aligned} n_{\nu=\pm1} &= 60f_{h=\pm1} \quad \text{r/min} \\ n_{\nu=\pm zp} &= \frac{60f_{h=\pm\frac{1}{z_p}}}{z_p} \quad \text{r/min} \end{aligned}\right\} \qquad (6.2.2-133)$$

4.3.2 传递矩阵法

目前通常采用传递矩阵法用计算机来计算各模态的回旋振动固有频率,其当量系统如图6.2.2—47所示。该方法可以计算任一支承数以及支承刚度的轴系。

当某一固有频率求出以后,即可得出螺旋桨处挠度等于1时轴系各截面的相对挠度、相对转角,相对弯矩及相对剪力。若横坐标表示轴的长度,纵坐标表示上述的相对值,即可作出相应的振型图。

计算机一般打印出的计算书格式如表6.2.2—15所示。

表6.2.2—15 **回旋振动频率计算表**

质点号 No	挠度	转角	弯矩	剪力
1	1.00000			
2				
⋮				

最后打印出1模态和2模态(有时出现)的轴系横向振动。1次和叶片次正、逆回旋频率及共振转速:

1次正回旋频率

横向振动频率

1次逆回旋频率

叶片次正回旋频率

叶片次逆回旋频率

叶片次正回旋共振转速

叶片次逆回旋共振转速

4.4 激 励 源

螺旋桨是轴系回旋振动最重要的激励源。螺旋桨在不均匀伴流场中工作时，所产生的轴承力可分解为6种成分的力和力矩，其中水平和垂直力矩将使轴系产生激励作用；水平力的合力将使轴系产生激励作用；而轴向力的合力，由于偏离螺旋桨中心，会产生弯曲力矩作用在轴系上：这些激励力的简谐次数 $\nu=izp(i=1.2\cdots\cdots)$，而最重要的简谐分量为 $\nu=Z_p$ 次，即当螺旋桨叶片数乘以轴的转速，等于轴系某一模态回旋振动固有频率时，即产生回旋振动的共振现象。

其次，由于螺旋桨的不平衡，轴的弯曲，不平行的法兰等产生的激励力，一般只是1次简谐。然而，如果轴系长度部分对它的两个主轴具有不同截面模数时，则可能产生2次简谐的激励力。对某些高速细长轴系及长跨距的轴系，一般1次简谐力是引起回旋振动的重要激励源。

减速齿轮(例如齿激频率等于齿数乘以轴转速)，电动机械(例如磁力)、内燃机(作用在曲轴上的气体力和惯性力)等也会产生周期性激励力，使轴系产生回旋振动。另外，外部激励通过轴承基座和轴承，也可能激起轴系的回旋振动。虽然这些激励源在回旋振动计算时没有考虑，但它对分析回旋振动测试结果是很有益处的。

目前计算回旋振动激励源的方法，还没有达到适用的程度。

4.5 阻 尼

推进轴系回旋振动的主要阻尼源是螺旋桨阻尼，其次是轴承阻尼和轴段迟滞阻尼。但目前对计算回旋振动阻尼的方法，也没有达到适用的程度。作为粗略估算之用，可取叶片次回旋振动共振时的动力放大系数为10左右。[14]

在这些阻尼源中，认为它对轴系回旋振动固有频率没有任何影响。

4.6 减振措施

4.6.1 调频

1）改变螺旋桨叶片数

如果是由螺旋桨叶片次简谐力引起的回旋共振，那么改变叶片数(通常是减少叶片数)，可以把叶片次共振转速改变很多，其效果往往是其他措施所不及的。

但这一措施不能调整一次共振转速。

2)改变轴系尺寸

主要是改变轴系直径，通常是加大螺旋桨轴直径，这样一方面使其刚度增加，另一方面又增大质量与转动惯量，但综合效果是增大了固有频率。

3)改变螺旋桨材料

相同结构的螺旋桨采用不同材料时，可使质量相差很大，减少螺旋桨的质量，可提高固有频率。

4)调整轴承间距

调整轴承间距，特别是调整尾管前后轴承或靠近螺旋桨的最后两个轴承之间的距离，对回旋振动固有频率有较大影响，减少间距或减少螺旋桨悬臂的长度，均可提高固有频率。但应防止由于间距过小而引起轴承负荷分配不合理。

5)改变尾管轴承刚度

增加尾管轴承刚度，可提高固有频率。

6)轴系合理校中

保证所有轴承在各种运转工况下均具有合理的负荷是非常重要的。特别是尾管前轴承或最后一个中间轴承，轴承应具有向上的负荷。且最小值应不小于相邻轴承所支承的轴的重量的20%。在进行回旋振动计算时，首先应检查轴系校中计算结果，否则应考虑上述轴承脱空时的固有频率值。

4.6.2 减小激励力

1)对叶片次简谐，应尽量减少螺旋桨的激励力和力矩，当然应注意对扭振和纵振的影响。

2)对1次简谐，应使轴系特别是螺旋桨的不平衡力达到最小值。

4.7 实　例

下面是25000DWT 推进轴系(见图6.2.2—49)，一根中间轴，一根螺旋桨轴。尾管中只有一个轴承，在隔舱壁前面的螺旋桨轴又设一轴承。该轴系采用水润滑的铁梨木轴承。

该轴系采用直线校中安装方法，经过轴系校中计算，证明螺旋桨轴前轴承出现负载荷，即出现脱空现象。因此，在进行轴系回旋振动计算时，该轴承不作为支承点。下面是利用传递矩阵法计算轴系的回旋振动。

一、主机和螺旋桨参数

额定功率：88204KW；额定转速：125 r/min；

螺旋桨直径：5.6m；叶片数：5

螺旋桨重量：18000kg，尾管后轴承刚度：2×10^{6}N/cm，

二、轴系布置简图

轴系布置简图如图6.2.2—49。

三、轴系分段及结构尺寸

轴系分段及结构尺寸如表6.2.2—16。

四、计算结果

计算1模态的回旋振动频率及共振转速如表6.2.2—17。

同时可计算出各振动频率下相关的振型，即挠度、转角、弯矩和剪力的相对值。表6.2.2—18是5次正回旋振动的计算结果，相应的振型图如图6.2.2—50所示。

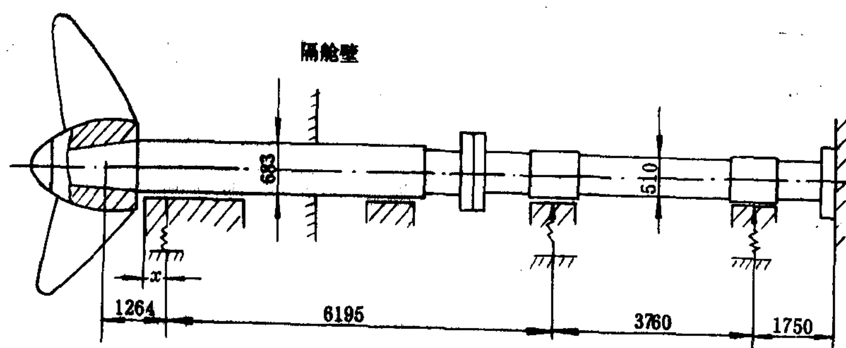


图6.2.2—49 轴系布置简图

表6.2.2—16

结构尺寸

分段号	外径(cm)	内径(cm)	长度(cm)
5	58.00	0.00	12.30
6	58.00	0.00	12.30
7	58.00	0.00	12.30
8	58.00	0.00	12.30
9	60.00	0.00	12.30
10	61.50	0.00	.50
11	68.30	0.00	19.00
12	68.30	0.00	70.00
13	0.00	0.00	0.00
14	68.30	0.00	23.00
15	68.30	0.00	.30
16	68.30	0.00	86.70
17	68.30	0.00	100.00
18	68.30	0.00	53.00
19	68.30	0.00	53.00
20	61.50	0.00	26.50
21	63.00	0.00	42.00
22	63.00	0.00	42.00
23	61.50	0.00	25.00
24	61.50	0.00	25.00
25	106.00	0.00	13.00
26	106.00	0.00	12.00
27	51.00	0.00	40.00
28	51.00	0.00	33.50
29	53.00	0.00	44.50
30	0.00	0.00	0.00
31	53.00	0.00	44.50
32	51.00	0.00	100.00
33	51.00	0.00	87.00
34	51.00	0.00	100.00
35	53.00	0.00	44.50
36	0.00	0.00	0.00
37	53.00	0.00	44.50
38	51.00	0.00	33.50
39	51.00	0.00	40.00
40	106.00	0.00	12.00
41	106.00	0.00	15.00
42	67.00	0.00	15.00
43	67.00	0.00	15.00

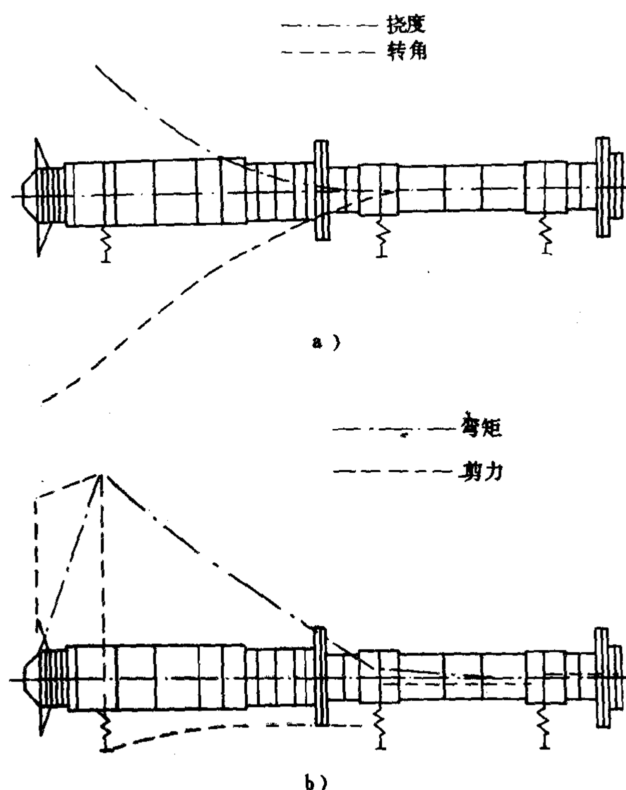


图6.2.2—50　5次正回旋振型图

表6.2.2—17　**频率及共振转速**

振动型式	固有频率1/min	共振转速 r/min
横向振动	574.9	574.9/115
1次正回旋	606	606
1次逆回旋	540.1	540.1
5次正回旋	581.5	116.3
5次逆回旋	568.2	113.6

五、结论

5次正回旋共振转速为116.3r/min；5次逆回旋共振转速为113.6r/min，与主机的额定转速115r/min几乎相同，因此应进一步对尾管轴承即铁梨木轴承的刚度值校准。在设计阶段，为了安全，应尽量采取改进措施。

表6.2.2—18　　**5次正回旋振型**

序　号	分段号	挠　度	转　角	弯　矩	剪　力
1	7	1.00000E+00	−2.92581E−03	0.00000E+00	0.00000E+00
2	8	1.00000E+00	−2.92581E−03	1.61222E+06	7.82691E+04
3	9	9.63642E−01	−2.90372E−03	2.58118E+06	7.92150E+04
4	10	9.27612E−01	−2.87134E−03	3.56155E+06	8.01249E+04
5	11	8.92040E−01	−2.82857E−03	4.55290E+06	8.09994E+04
6	12	8.57052E−01	−2.77529E−03	5.55477E+06	8.18390E+04
7	13	8.22765E−01	−2.71950E−03	6.56716E+06	8.27017E+04
8	14	8.21387E−01	−2.71726E−03	6.60854E+06	8.27378E+04
9	15	7.69746E−01	−2.65458E−03	8.19733E+06	8.43772E+04
10	16	5.92814E−01	−2.30458E−03	1.42953E+07	8.95213E+04
11	17	5.92814E−01	−2.30458E−03	1.42953E+07	−3.13378E+04
12	18	5.41726E−01	−2.16164E−03	1.35919E+07	−2.99310E+04
13	19	5.41081E−01	−2.15982E−03	1.35829E+07	−2.99135E+04
14	20	3.76079E−01	−1.68231E−03	1.11880E+07	−2.56606E+04
15	21	2.31833E−01	−1.23800E−03	8.79909E+06	−2.24316E+04
16	22	1.71912E−01	−1.04388E−03	7.64311E+06	−2.12891E+04
17	23	1.21547E−01	−8.76432E−04	6.53892E+06	−2.04617E+04
18	24	1.00081E−01	−7.63775E−04	6.00034E+06	−2.02130E+04
19	25	7.14740E−02	−6.19492E−04	5.15884E+06	−1.98940E+04
20	26	4.84673E−02	−4.96820E−04	4.32853E+06	−1.96731E+04
21	27	3.71530E−02	−4.27599E−04	3.83798E+06	−1.95851E+04
22	28	2.74645E−02	−3.66678E−04	3.34932E+06	−1.95194E+04
23	29	2.27577E−02	−3.63459E−04	3.09666E+06	−1.94341E+04
24	30	1.84486E−02	−3.60710E−04	2.86433E+06	−1.93696E+04
25	31	7.52298E−03	−2.18629E−04	2.09000E+06	−1.93516E+04
26	32	2.13622E−03	−1.33802E−04	1.44178E+06	−1.93497E+04
27	33	−1.88391E−03	−7.84780E−05	5.80615E+05	−1.93548E+04
28	34	−1.88391E−03	−7.84780E−05	5.80615E+05	−2.07117E+03
29	35	−4.65014E−03	−4.92376E−05	4.88215E+05	−2.08357E+03
30	36	−6.43438E−03	5.73809E−06	2.77862E+05	−2.12479E+03
31	37	−4.63962E−03	2.88070E−05	9.15026E+04	−2.15692E+03

续上表

序　号	分段号	挠　度	转　角	弯　矩	剪　力
32	38	−1.47626E−03	2.64044E−05	−1.25316E+05	−2.17515E+03
33	39	−4.33681E−04	1.68991E−05	−2.22177E+05	−2.17700E+03
34	40	−4.33681E−04	1.68991E−05	−2.22177E+05	1.80172E+03
35	41	3.12098E−05	6.93709E−06	−1.41994E+05	1.80212E+03
36	42	1.25533E−04	1.56639E−06	−8.16095E+04	1.80278E+03
37	43	7.43575E−05	−1.04613E−06	−9.48260E+03	1.80327E+03
38	44	5.84719E−05	−1.04490E−06	1.21594E+04	1.80348E+03
39	45	3.88320E−05	−1.01530E−06	3.92152E+04	1.80367E+03
40	46	1.58260E−05	−6.34420E−07	6.62715E+04	1.80367E+03
41	47	0.00000E+00	−5.82000E−08	9.33274E+04	1.80364E+03

5　测试与分析

5.1　简　述

轴系振动测量是为了校核轴系扭转，纵振和回旋振动的特性，测定是否存在共振转速及共振强烈程度，检验轴系的安全性。规范规定，当计算与测试结果不同时，应以实测为准。通过测试分析，校核计算，积累资料，发现问题，从而在计算模型建立，质量（惯量）、刚度、阻尼及激励等参数的合理确定，计算方法改进等方面，不断总结提高，以期更好地指导柴油机及轴系设计。

据目前轴系振动研究的情况，对测试有如下基本要求：

1）未确定轴系振动特性的柴油机，制造厂应在台架上作轴系扭振、纵振测试，以校核曲轴扭转、纵向刚度，推力轴承刚度，确定阻尼因子，评定柴油机轴系扭转、纵向振动特性。

2）弹性联轴器、减振器制造厂应对其产品进行测试，校核其质量（惯量）、刚度及阻尼值。

3）对同类第一艘船舶是否进行轴系振动测试，应据轴系振动计算方法的准确度及计算结果由船舶检验部门决定。一般，按船舶检验局公布的方法计算得到扭振应力，扭矩不大于瞬时（超速）许用值的70%（$r=n_c/n_e<0.8$及$1.0<r\leqslant1.15$）及不大于持续许用值的70%（$r=0.8\sim1.0$）时，可不要求扭振测量。对需长期使用的转速且扭转、纵向振动计算值大于持续许用值70%的轴系，回旋振动一次共振转速在$1.2n_e$以内，叶片次共振转速在$r=0.8\sim1.0$范围内的轴系，以及较复杂装置或振动特性复杂的轴系，均应对同类第一艘船舶进行轴系振动测试。

4）对轴系需作更动的船舶，如安装弹性联轴器、减速齿轮，轴系尺寸改变，螺旋桨结构尺寸和材料改变以及更换机型等，应据上述第3）条要求，决定是否时行轴系振动测量。

5）对装弹性联轴器、减速齿轮的轴系，建议进行一缸不发火情况下扭振测量，测量时可只选后果严重的一缸仃止供油，分挡进行测试。并应控制各缸排温、涡轮前废气温度，增压器转速等，使在测早的最高转速下，各缸不出现超负荷。同时应无增压器喘振现象。

6）轴系振动测试前，柴油机各缸负荷应调平衡，其不均匀度应符合有关规定。

7)测试仪器及设备,应定期校验。测试人员应能掌握测试技术,熟练操作仪器设备,以保证测量精度在规定范围内。

5.2 测试仪器

轴系振动时,它在以平均角速度Ω回转的同时,尚存在交变的角速度变化及扭转变形,交变的纵向(轴向)位移及拉压变形,以及回旋振动引起的"跳动"与弯曲变形。为此,使用的测试仪器应能在轴旋转的情况下,检测出上述的有关位移或变形。

常用测量位移、角位移的仪器有:手提式测振仪、盖格尔(Geiger)测振仪、电感式测振仪、压电式测振仪、电阻式测振仪以及非接触的光电式、电涡流式测振仪等。测量变形则主要采用电阻应变片装集流环或遥测装置进行测量。

5.2.1 手提式测振仪

这是接触式机械测振仪,适用于轴的纵向和横向位移变化测量。它由测量系统、齿轮传动与记录系统,和时标信号系统组成(参看图6.2.2—51)测量记录系统由测量滚柱1、测量杆2、杠杆3、心杆5、记录笔4、弹簧7和调节螺钉6调节的弹簧构成。系统的二个弹簧用来调节测量滚柱对测量轴的压力,使滚柱1随测试轴振动,滚柱同时能适应轴的回转运动,而将振动通过测量杆、杠杆放大后,由记录笔将波形记录在粉纸上。

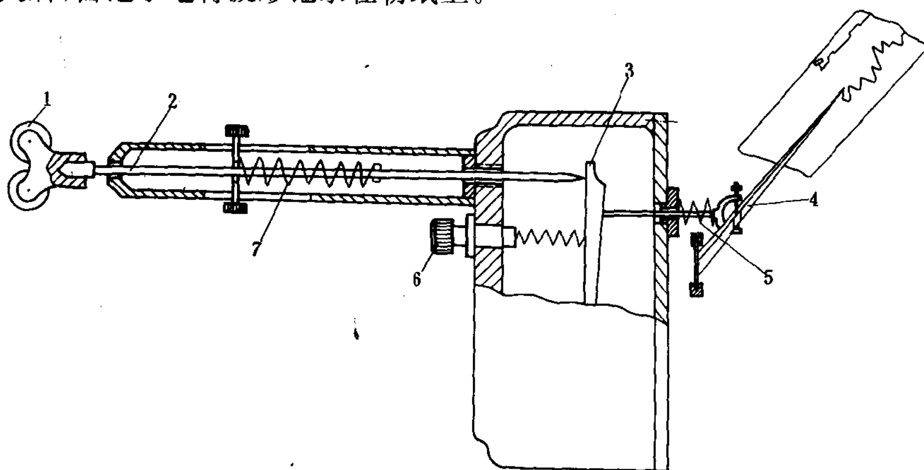


图6.2.2—51 手提式测振仪结构简图

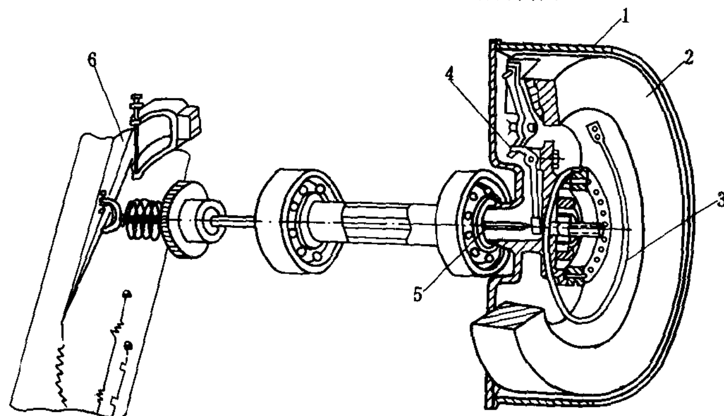


图6.2.2—52 盖格尔测振仪结构简图

手提式测振仪使用简便,对一般测量可得较稳定的波形。但机械阻尼较大,灵敏度低,高谐次波形不易测出。为克服手提时对波形影响,测量时最好将测振仪安装在支架上。

5.2.2 盖格尔测振仪

盖格尔测振仪是惯性式机械测振仪，主要用于扭振测量。当用测量杆换下惯性轮、皮带轮后，也可像手提式测量仪一样，用来测量纵向和横向振动。

标准的盖格尔扭振仪结构如图6.2.2—52所示，由测量系统、齿轮传动与记录系统，以及转速时标系统组成。测量系统由铝质皮带轮1、惯性轮2、卷形弹簧3、角形杠杆4、心杆5及记录笔6等组成。

如图6.2.2—53所示，测量时用帆布将被测轴与皮带轮连接起来并绷紧，当轴产生角位移变化时，帆布带将轴的周向位移变化传给皮带轮，而惯性轮由于惯性作用，以均匀转速回转，于是，皮带轮与惯性轮之间发生相对位移，此位移通过角形杠杆、心杆传到记录笔放大记录在粉纸上。设测量轴直经为D(mm)，粉纸记录波形振幅为A(mm)，则轴角位移振幅为：

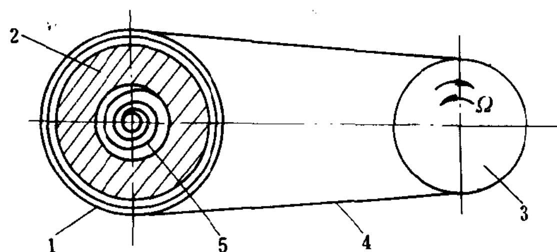


图6.2.2—53　盖格尔仪工作原理
1—皮带轮；2—性轮；3—测量轴；4—皮带；5—卷形弹簧

$$a=\frac{2A}{VD}\quad \text{rad} \qquad (6.2.2—134)$$

式中：V——为仪器放大倍数。

盖格尔扭振仪中的惯性轮2卷形弹簧5系统，皮带轮—皮带系统使仪器存在二个固有频率，它们与选择的卷簧5的刚度，及所选用帆布带的尺寸、材料及其张力有关。仪器测量的有效频率范围也随而变化。测量时应加以注意(参看图6.2.2—54)。

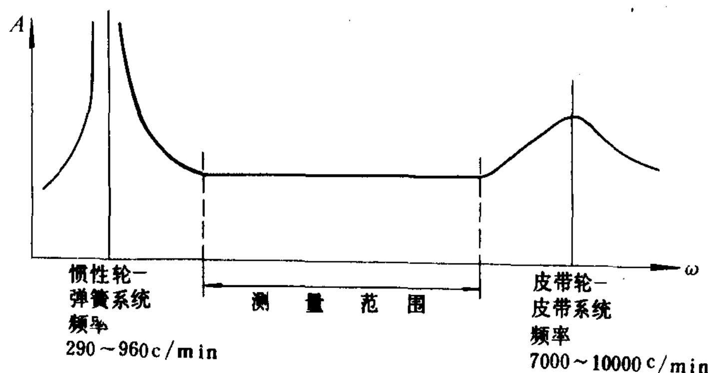


图6.2.2—54　盖格尔仪有效测量频率范围

盖格尔仪使用简便，讯号稳定，广泛使用于中、低速柴油机扭振测量。最近，我国对此仪器进行改进，在记录笔的一端安装电容式电转换器(图6.2.2—55)，获得电讯号，以便进行数据处理分析，获得良好效果。

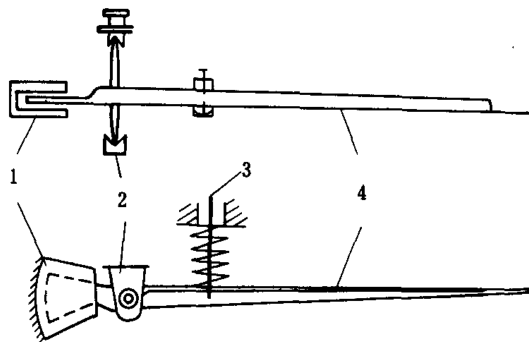


图6.2.2—55　盖格尔仪电容式电转换器
1—电容转换器；2—支承架；3—顶标；4—划针

5.2.3　电感式扭振仪

如图6.2.2—56 所示，此仪器测量系统由外壳1、惯性轮2、簧片3、固定于转轴上的电极线圈5、固定于惯性轮上的磁钢4以及集流环6构成。外壳与振动轴相接，轴扭振时外壳与惯性轮之间产生相对运动(角位移变化)，并引起磁钢与电极线圈之间相对运动，而不断切割磁力线，产生电感变化，通过

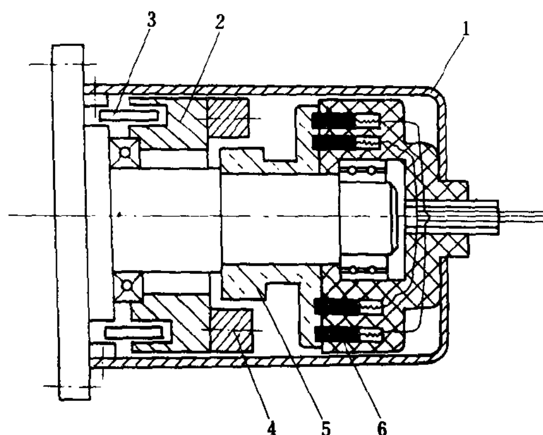


图6.2.2—56　电感式扭振仪结构简图

1—外壳；2—惯性轮；3—簧片；4—磁钢；5—电极线圈；6—集流环。

集流环由导线传至中间传送放大装置，以电压变化输出给磁带记录器或示波器。

此仪器利用电测，频率范围高而宽，可用于高速柴油机、汽油机测量，放大信数、记录速度也可调整。仪器低频特性较差，吸能装于自由端，使用时需经常标定，要求较高的操作技术水平。

5.2.4　电涡流测振仪

这种测振仪为非接触式的，可用来测量轴系纵向、横向振动，既可测曲轴自由端振动也可测量传动轴振动。

电涡流测振仪的工作原理如图6.2.2—57所示。它主要是一只固定在框架上的扁平线圈与一电容并联，构成并联谐振回路，在高频讯号激励下，回路产生一个高频交变磁场 φ_i，当被测量导体靠近时，据电磁感应定律，导体表面产生与磁场相交链的电涡流，此电涡流又将产生一交变磁场 φ_e 反作用于 φ_i，φ_e 总是抵抗 φ_i 而存在，于是电涡流在被测导体中将损耗功率。被测导体振动时，被测体与传感器之间距离发生变化，使传感器的品质因素 α，等效电感 L。等效阻抗 z 三种不同的输出量均发生变化，通过适当的测量线路，取其中一个输出量的变化，就可把位移量的变化转换成电压的变化。此即电涡流传感器基本原理。

电涡流测振仪，由于是非接触式测量，无质量弹簧系统，故适于旋转轴振动测量，适用频率范围广，线性度、灵敏度均较好。由于被测导体是电涡流测试中的一部分，故被测导体的材料、形状、尺寸都会影响仪器灵敏度。因此，标定静校工作应在相同条件下进行，才能保证测试正确性与精度。同时，应避免其它金属材料在测试时靠近传感器。测试时被测导体必须有大于传感器面积的相对面，且其初始间隙要合理地调整固定。

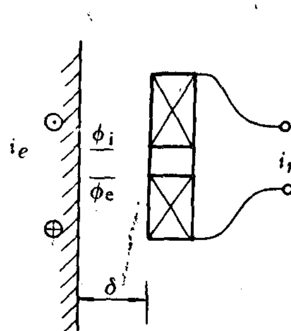


图6.2.2—57　电涡流传感器原理图

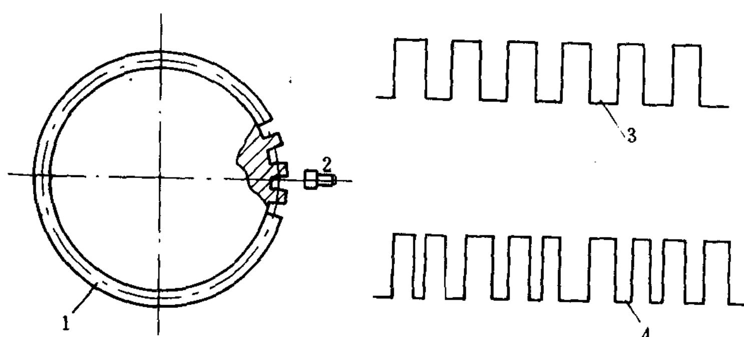


图6.2.2—58　电磁感应式扭振仪原理图

1—均匀齿圈；2—磁电感应元件；3—均匀脉冲；4—不均匀脉冲。

5.2.5　电磁感应式扭振仪

这是非接触式扭振仪，如图6.2.2—58所示，其传感器由均匀齿圈（与测量轴一起转）和固定于刚性架上的电磁感应元件组成，当测量轴均匀旋转时，感应元件接收到均匀间隙的脉冲，而当测量轴因扭振而作不均匀转动时，则产生不均匀电磁脉冲，把这种信号送到适当线路的仪器，经转化并放大为电压变化后记录。

这种测振仪适用于中高速柴油机的测量。

5.2.6 光电式扭振仪

如图6.2.2—59所示，当光束通过与轴一起旋转的圆盘上的均布孔时，投射到电阻值或发电量随光量而变化的半导体上，产生脉冲信号。当轴扭振时产生不均匀脉冲，通过放大器变换为电压变化，由磁带记录器记录。

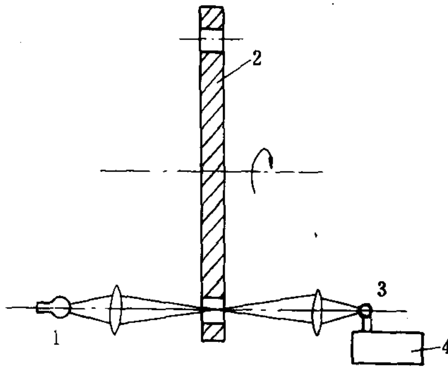


图6.2.2—59 光电式扭振仪原理图

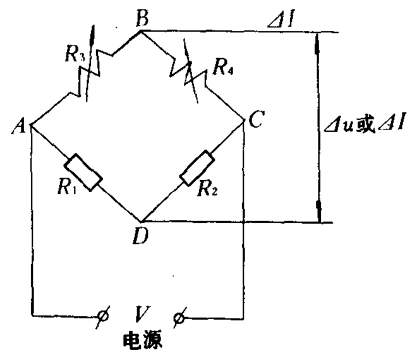


图6.2.2—60 应变测量电桥电路

1—发光源；2—旋转圆盘；3—光敏元件；4—放大器。

这种非接触式仪器灵敏度高，既适于高转速机也适于低转速机的扭振测量。

5.2.7 电阻应变仪

这种仪器可用来测量轴系扭转振动变形、纵向拉压变形及回旋振动引起的弯曲变形。从而可直接得出测点应力。

电阻应变工作原理是：金属丝变形后，电阻相应变化且存在一定关系。据此，将金属丝制成应变片牢固地粘贴在测量物体上，随其一起变形，测出电阻变化即可求出其应变(应力)。电阻应变测量采用图6.2.2—60所示电桥电路，测量体变形前，电桥是平衡的，变形时，产生电阻变化 ΔR，使电桥电路失去平衡，产生输出电压 Δu 或电流 ΔI，然后，应变仪将其放大记录。

如图6.2.2—61a)所示，测量扭振变形时，用四个应变片贴成与轴线成45°的方向，全桥工作。此时可不受拉、弯变形及温度的影响，所得数值放大4倍，测点切应力为：

$$\tau=\frac{E}{4(1+\mu)}\varepsilon_m, \qquad N/mm^2 \qquad (6.2.2—135)$$

式中：ε_m——应变读出值；

E——测量轴材料抗拉模量，N/mm^2；

μ——泊桑比。

测量拉压变形时，将二个应变片贴在轴的对边上，并串联成电桥的一臂，而用温度补偿片构成另一臂(图6.2.2—61b)。这时可将弯曲变形影响排除，所得数据放大了二倍，测点拉应力：

$$\sigma=\frac{E}{2}\varepsilon_m, \qquad N/mm^2 \qquad (6.2.2—136)$$

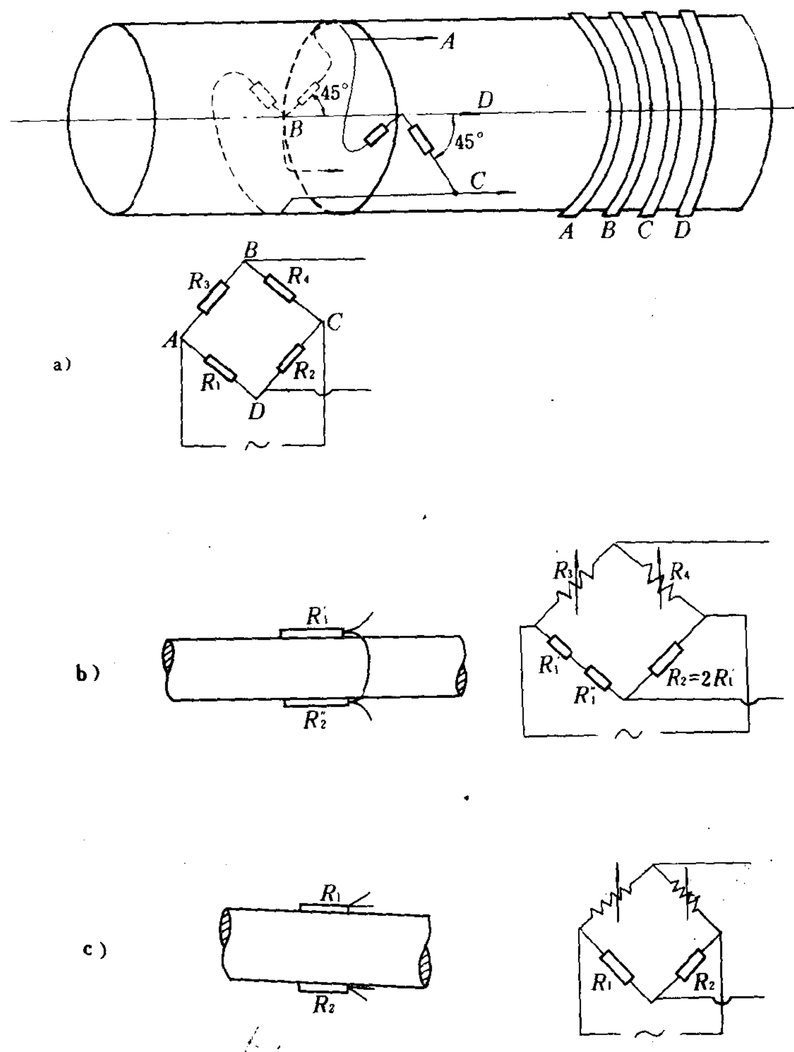


图6.2.2—61 扭、拉、弯变形测量贴片方法

a)扭转;b)拉压;c)弯曲

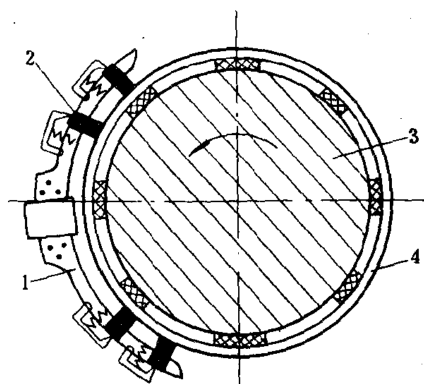


图6.2.2—62 集流装置示意图

1—刷架;2—炭刷;3—轴;4—滑环

测量弯曲变形时,如图6.2.2—61c)所示,将二个应变片贴在轴的对边上,构成电桥电路温度互相补偿的二臂。这时,可将拉、扭影响排除,可得读数放大2倍。测点弯曲拉应力

$$\sigma_u=\frac{E}{2}\varepsilon_m \qquad N/mm^2 \tag{6.2.2—137}$$

由于轴是旋转的,通常用集流滑环与渗铜石墨炭刷接触,将应变信号引出到应变仪(参看图6.2.2—62)。这种集流装置,由于炭刷与滑环的吻合面难于完全稳定,使接触电阻变化,引起测量波形出现毛刺,产生较大误差并增加分析困难。故对其安装调整要求较高。

为克服上述缺点,在应变片与集流环之间装前置放大器,使应变信号在集流之前得到一次放大,提高其"信噪比",减少接触电阻的影响。这是一种简易的措施,可得良好效果。

近年，采用无线电遥测技术，较彻底克服集流装置的缺点。遥测应变仪由发射机和接收机组成。发射机装在转轴上，它将应变信号放大到规定电平，经转换器转换成与应变量成正比的脉冲数，这些脉冲数控制射频振荡器，经调制后送到发射天线。接收机天线收到微弱的信号后，经隔离放大，选频放大，再由检波/滤波器调制成原来脉冲，最后被逆变、整形为应变波形，输给记录器或示波器。

应变测量的灵敏度高，能进行静、动态测量，测量频率不受限制，既适用于低速机也适用于高速成，且可直接测得应力。随着集流环接触电阻影响的改进与克服，应变测试技术在轴系振动研究中将得到广泛应用。

5.3 测试方法

5.3.1 测点布置

测点布置以能获得大而清晰的测量信号为原则。对此，通常结合自由振动频率与振型计算结果，进行测点选择。在环境条件允许下，测量位移(角位移)的仪器，尽可能布置在相对振幅大的位置，测量应变时，应变片贴在节点附近。

5.3.1.1 扭转振动测点

测量角位移时，为了扣除滚振的影响，克服共振转速相近的不同节点振型的波形相互干扰，建议采取二点或多点测量。

尽可能在柴油机自由端布置一测点，此处对各节点振型均有较大的相对振幅，而且，计算中常以第一质量振幅为准，换算比较方便。

除自由端外，考虑在轴系的飞轮附近(单、双节)、靠近螺旋桨轴处(单节)及中间轴上(双、参节)布置测点。在实船测量中，如自由端测点有困难时，可将二个测点都布置在传动轴上。

应变测量时，测点一般布置是，单节点在中间轴上，双、参节点在紧靠螺旋桨轴处，参节点也可选在飞轮端附近。具体情况据振型及环境可能确定。

5.3.1.2 纵向振动测点

轴系纵向位移测点，尽量选在曲轴自由端处，因为此点振幅一般比轴系中其它点的大，且纵振衡准又是以自由端处振幅值为准的。

如多点测量，可在中间轴和尾轴或螺旋桨轴连接法兰处，及接近推力轴承处选择测点。

5.3.1.3 回旋振动测点

回旋振动测点，最好布置在尾管内的轴上，有困难时一般布置在中间轴和尾轴或螺旋桨轴连接法兰附近。也可用一般的振动传感器测量轴承的垂向、横向振动，了解回旋振动频率并为轴承刚度计算积累资料。同时测量船体尾轴架附近振动，确定其影响程度。

应变测量时，应变片应尽量贴在靠近尾轴承处。

5.3.2 测试的基本程序

轴系三种振动测量的基本程序相同，如都需要进行时，尽量同步测量，以节约时间。一般采用分挡测量确定轴系振动特性。需要时，可用连续测量法初步了解轴系振动情况，为合理划分分挡转速，选定仪器量程(放大系数)提供依据。

分挡测量，是指将柴油机从最低稳定转速到最高转速的范围内，划分成若干挡，使柴油机在每挡转速下稳定运转1～2min 后，由测试仪器测量记录振动，时间和转速信号。然后再进行下一挡转速的测量。分挡测量，转速可由低速到高速，然后再由高速到低速进行。分挡数可均匀划分，中速机取每5r/min 为一挡，低速机可取3r/min 为一挡。也可参考振动计算或连续测量结

果确定，有共振转速的区间，分挡宜密，反之可疏些。

连续测量，是指柴油机从起动开始，均匀升速，在约2～3min 内升到最高转速，或由最高转速均匀降速，在2～3min 内降到停车止，在此过程中，振动仪连续测量记录整个过程的振动波形变化情况。

5.3.3　测试中注意问题

1)测试应根据轴系计算结果、发动机转速，推测振动频率范围，选用合适的测振仪。

2)应根据仪器说明书，正确安装仪器(或传感器)，避免出现外界扰动信号造成误差。

3)电测仪器应及时对测试系统进行标定，标定系统应与实测中的系统相一致。

4)各台电测仪器的信号要同时记录在同一磁带记录器或光线示波器上，以便作同步分析，求其相互关系。对多台盖格尔扭振仪同步测量，应在时间或转速信号中打上同步信号。

5)记录纸带或磁带应有一定长度。一般应有8～10转的纸带或8～10个带码的磁带长度，以避免分析中取样困难，影响精度。

5.4　测试结果分析处理

5.4.1　测试结果

在粉纸、光线示波器或磁带记录器内记录下振动信号(波形)、转速信号及时间信号。通过这些信号的分析，可获得了解轴系振动特性的结果：

1)确定有关振动的共振转速、振动谐次，进而确定其固有频率。

2)分析振动波形，确定其所含的各谐次成分及其振幅值。并求出振幅—转速关系曲线。

3)据振型推算出轴系上有关位置、部件的振幅、应力、力(力矩)，以判断装置的安全程度。

5.4.2　对振动波形的分析处理方法：

1)人工分析：据波形特点，将主要谐次用人工近似方法从波形中分解出来，求出其振幅值。这虽较粗糙，但能简单地得出主要结果。

2)机械式谐波分析仪：它可用来分析较复杂的波形，逐谐求出其振幅值。分析时需先将波形按比例放大，工作量较大。

3)快速频谱分析仪：这是现代的数据处理方法。将磁带记录的或现场实测的振动信号送到频谱分析仪，进行数据处理，求出各频率成分及其幅值与相位。频率分析常用幅值谱和功率谱，前者表示幅值随频率的分布情况，后者表征振动参量的能量随频率的分布情况。分析结果可用数值输出及由 x—y 记录器按模拟量打印输出。

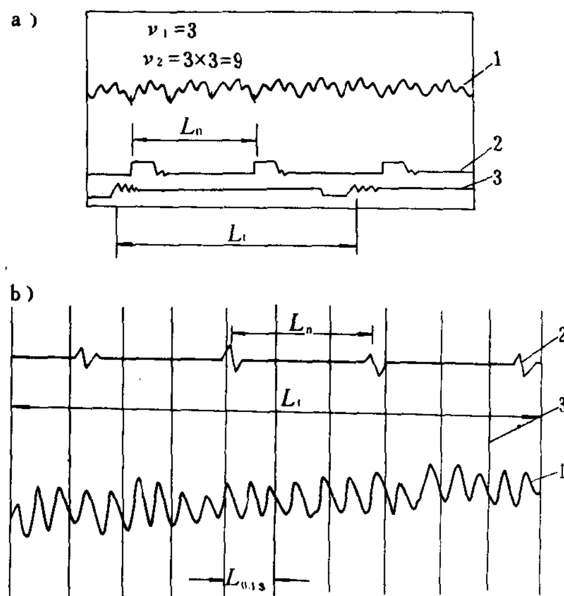


图6.2.2—63　典型振动波形例

a)盖格尔波形、2冲程(k=1)；b)光线示波器

1—振动讯号；2—转速讯号；

3—振动讯号或时间讯号

5.4.3　典型振动波形的分析

如图6.2.2—63所示，粉线或示波器记录纸上均有振动波形、转速信号、时间信号三种曲线。其中，示波器记录纸上的振动波形可以是几个测点同步记录下来的。根据这些曲线，分析求出所需要的资料。

5.4.3.1　柴油机转速

$$n=60k\frac{L_t}{L_n}\quad r/min \tag{6.2.2—138}$$

式中：L_t——1s 时间信号长度，cm；

L_n——转速信号间隔长度，cm；

k ——系数，当 L_n 为1转间隔长时，k＝1，当 Ln 为2转间隔时，k＝2。若转速信号由气阀摇臂、顶杆等与发火次序有关的构件控制的，对四冲程机 k＝2，二冲程机 k＝1。

5.4.3.2 振动谐次

振动谐次是指柴油机一转所对应的振动次数，可据 Ln 间隙所同步对应的振动波数除以 k 值来确定。对非简谐，先确定其基波（最低谐次的波形）的谐次，而高谐次等于基波谐次乘 以基波所含的波数。如图6.2.2—63a 中，基波谐次 $\nu_1=3$。基波中含3个小波，故 $\nu_2=3\times3=9$。对更复杂的波形，一般采用分析仪分析。

5.4.3.3 振幅

这里指的是实测波形的振幅。对于实际振幅应据仪器标定、放 k 倍数及振动种类等进行计算。

1）简谐波形的振幅可直接测量稳定波形的峰—峰距离，即得出双振幅。

2）包络线法：对于谐次相差4倍以上的两种振动叠加波形，用此法求振幅可得较好结果。谐次比为3或2的两种振动叠加波形，用此法分析，其精度取决于分析者的经验。

包络线是按基波形态绘出的把高谐次波形包起来的上下二根曲线（参看图6.2.2—64）。包络线应与每个高谐波峰附近的点相切，且上下包络线间各处的垂直距离应相等。这样，包络线波形即为基波波形。两包络线间的垂直距离即为高谐次波的双振幅。

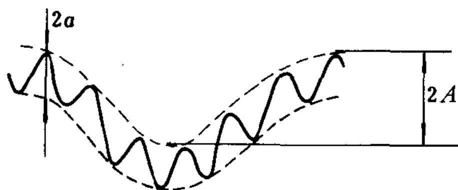


图6.2.2—64 包络线法

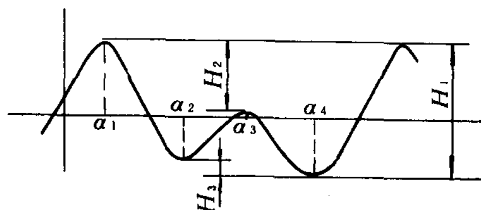


图6.2.2—65 1.2 谐叠加波形

(3)经验公式法：用于谐次比为2和3的两种振动叠加波形，精度较好。

a)1、2 谐叠加波形（图6.2.2—65）

$$f(\alpha)=A\sin(\alpha+\varphi)+a\sin2\alpha$$

其振幅 A、a 和相位 φ 由下式计算

$$\left.\begin{aligned}&tg\left(\frac{\pi}{4}-\varphi\right)=\frac{H_3}{H_2}\left[1+k_1\frac{H_2-H_3}{H_1}\right]\\&A=\frac{H_2}{2K_2\cos\left(\frac{\pi}{4}-\varphi\right)}\\&a=\frac{H_1-0.5(H_2+H_3)-K_1A}{2}\end{aligned}\right\} \tag{6.2.2—139}$$

式中：$H_1>H_2>H_3$——叠加波形特征高度，具体位置见图6.2.2—65；

K_1——系数，从图6.2.2—66 查得；

K_2——系数，从图6.2.2—67 查得。

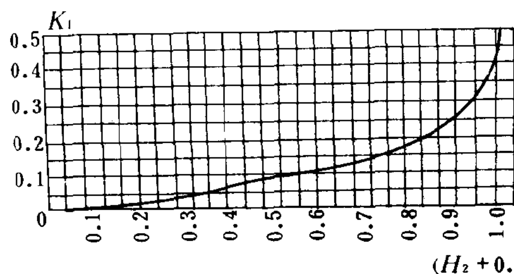


图6.2.2—66　K_1—$(H_2+0.8H_3)/H_1$曲线

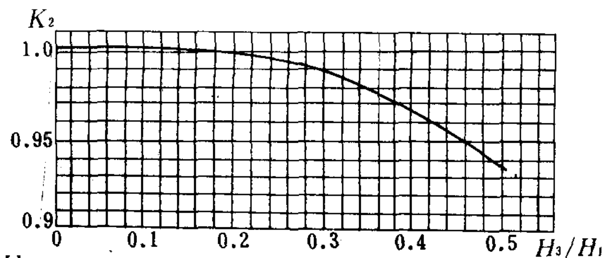


图6.2.2—67　K_2—H_3/H_1曲线

b)1、3谐叠加波形(图6.2.2—68)

$$f(\alpha)=A\sin(\alpha+\varphi)+a\sin3\alpha$$

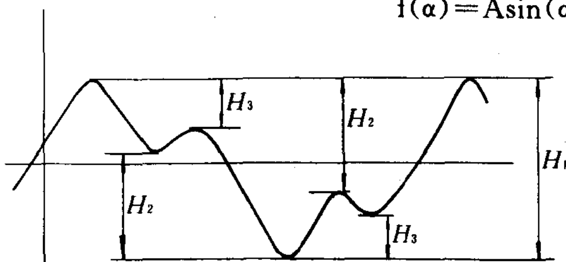


图6.2.2—68　1、3谐叠加波形

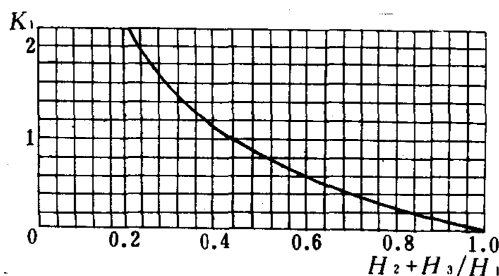


图6.2.2—69　K_1—$(H_2+H_3)/H_1$曲线

其振幅A、a和相位φ由下式计算：

$$\left.\begin{aligned}&\operatorname{tg}\frac{3\varphi}{4}=\frac{H_3}{H_2}\left[1-K_1\frac{H_2-H_3}{H_1}\right]\\&A=\frac{H_2\{1+K_2[\frac{1}{2}-\operatorname{tg}(\frac{\pi}{4}-\frac{3\varphi}{4})]\}}{1.5+0.2321\sin3\varphi}\\&a=\frac{H_1-\frac{2}{3}(H_2+H_3)-K_3A}{2}\end{aligned}\right\}\qquad(6.2.2-140)$$

式中：$H_1>H_2>H_3$——叠加波形特征高度，参看图6.2.2—68；

K_1、K_2、K_3——系数，分别从图6.2.2—69、图6.2.2—70、图6.2.2—71查得

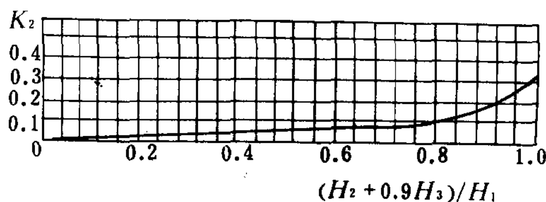


图6.2.2—70　K_2—$(H_2+0.9H_3)/H_1$曲线

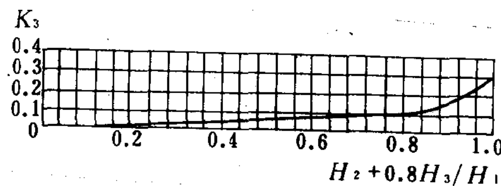


图6.2.2—71　K_3—$(H_2+0.8H_3)/H_1$曲线

(4) 拍振波：由频率相近的二个简谐波叠加而成：

$$y=a\sin\omega_1 t+b\sin(\omega_1+\Delta\omega)t$$

$$=\sqrt{a^2+b^2+2ab\cos\Delta\omega t}\ \sin(\omega_1 t+\varphi)$$

如图6.2.2—72所示，拍振波以频率ω_1振动，其振幅以频率$\Delta\omega$变化，呈鼓部与腰部，鼓部振幅值A为两谐波振幅之和，腰部振幅值B为两谐波振幅之差，即

$$\left.\begin{aligned}A&=\frac{a+b}{2}\\B&=\frac{a-b}{2}\end{aligned}\right\}\qquad(6.2.2-141)$$

5.4.4 固有频率的确定

对分挡测试得到的振动波进行谐波分析后，按各谐振幅随转速变化，绘制曲线图6.2.2—73。在图上找出各谐次最大共振振幅值所对应的转速 n_c，即为该谐次共振转速。于是固有频率

$$f=\nu n_c \quad c/min \qquad (6.2.2—142)$$

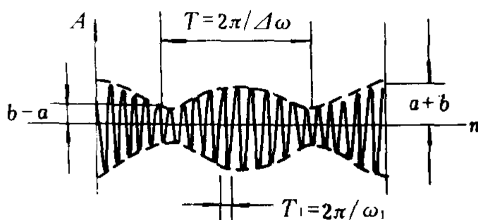


图6.2.2—72 拍振波

同一振型不同谐次的共振转速，求出的固有频率并不完全一致，这是因为分挡无法过密，某谐次共振转速可能在分挡转速间隔内，以及轴系存在非线性因素所致。通常，取各谐次算出的固有频率的算术平均值作为该节点的固有频率，或直接取主要谐次的固有频率。

一般而言，高谐振动波只有共振时突然显得清晰，因此，这对系统固有频率的确定，有很大参考意义。

5.4.5 共振振幅、应力、力(力矩)推算

当实测共振转速与计算值相对误差在5%以内时，可据自由振动计算模态推算轴系各部位的共振振幅、应力、力(力矩)。否则，应修改计算书。

设振幅或应力的测量值为 $x_{测}$，则

$$Y=Y_o\cdot x_{测}/x_o \qquad (6.2.2—143)$$

式中：x_o——自由振动计算模态中测点相对量，当 $x_{测}$ 为(角)位移时为相对振幅，当 $x_{测}$ 为应力时是应力因子；

Y_o——自由振动计算模态中与计算量对应的相对量，如相对振幅、相对力(力矩)应力因子等；

Y——考虑部位计算量：振幅、力(力矩)或应力等。

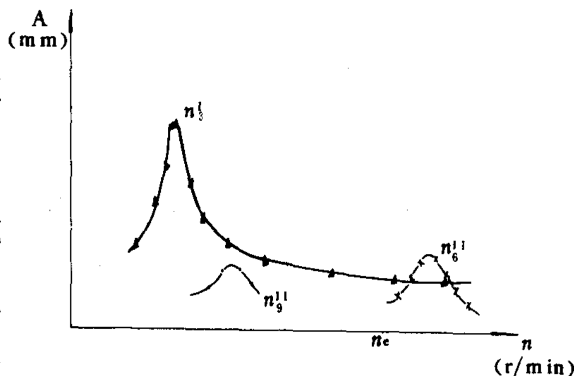


图6.2.2—73 振幅～转速曲线

扭振测试用单测点测量角位移时，测点振幅应先据式(6.2.2—60)扣除滚振影响后，再按上式推算。有减速齿轮箱的轴系，推算中尚应考虑转速比的影响，此时

$$Y=iY_o x_{测}/x_o \qquad (6.2.2—144)$$

式中：$i=n1/n_2$——转速比；

n_1——柴油机转速，r/min；

n_2——计算部位转速，r/min。

鉴于滚振振幅的计算存在误差，跟测点扭转振动的相位关系难于确定，扣除其影响时，有的应与测量值相减，有的却应相加，其规律尚未能完全掌握。故而，一般以二点测量角位移，按式(6.2.2—60)、(6.2.2—61)推算应力和力矩，可更好地扣除滚振影响。

5.4.6 应力、力矩—转速曲线的绘制

根据5.4.5的计算结果，可绘制某部位振动应力、力(力矩)与转速的关系曲线。对于扭转振动，应绘制曲轴、中间轴、螺旋桨轴的扭振附加应力与转速关系曲线，并加绘各轴段上规范规定的允许值，如图6.2.2—74所示。绘制弹性联轴器振动扭矩，传动齿轮啮合力矩与转速关系曲线，并加绘允许值(图6.2.2—75、图6.2.2—76)。根据这些曲线，可以判轴系振动特性，与可靠

程度。

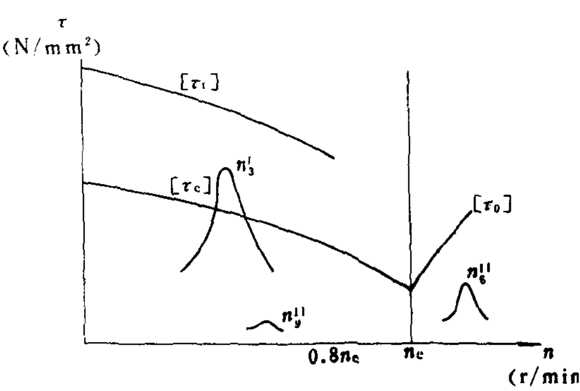


图6.2.2—74 应力—转速关系曲线

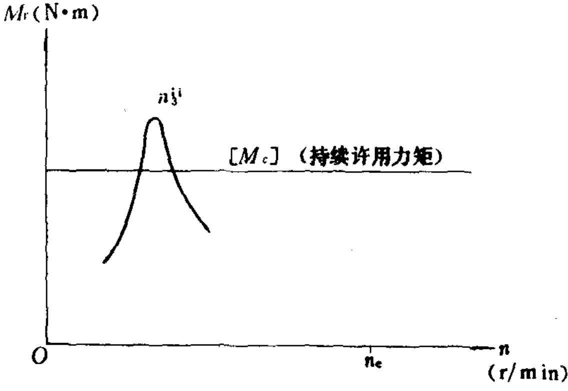


图6.2.2—75 弹性联轴器振动扭矩—转速关系曲线

5.5 测试报告

测试报告应包含如下内容：

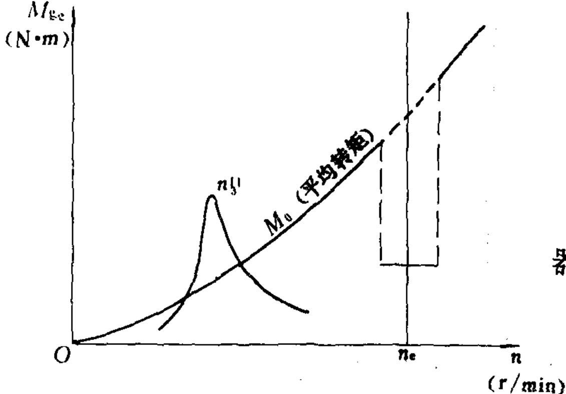


图6.2.2—76 减速齿轮啮合力矩—转速关系曲线

一、船名及制造厂：

二、测试单位及人员：

三、测试时间及水域：

四、测试目的：

五、测试仪器：(包括测振仪、记录器以及分仪器)。

六、测点布置简图：

七、测试资料

(1)测试记录分析资料

对各测点分挡转速测试记录的分析结果汇集在表6.2.2—19中。

表6.2.2—19　**测点x分析资料**

No	名义转速 n	实测转速 n	谐次 ν	振幅 A
1 2 3 ⋮ n				

(2)共振频率

	F_1	F_2	F_3
实测值			
计算值			
相对误差			

(3)振幅、应力、力(力矩)—转速关系曲线，并加绘许用值曲线

(4)典型实测记录图(波形或幅值谱)

八、结论

对轴系振动特性提出判断意见。

6 衡　准

6.1 简　述

实际上无振动的船是不存在的。我们关心的是产生严重后果的振动问题，称为有害振动，主要指：

1)振动量级使构件产生局部损坏，开始裂纹以及材料疲劳的极限值；

2)振动量级影响机器和设备正常运转的极限值；

3)振动量级影响船上人员的正常工作、生活以及身体健康的极限值。

为了控制轴系有害振动的产生。除了在设计阶段要进行详细地振动预报外，还要规定各种振动量级的允许值。对新建船舶，振动检验的主要内容是审查轴系振动计算书和振动测量报告。

在审查轴系振动计算书时，主要检查当量系统的转化方法，当量参数的计算及参数选取。振动响应的计算方法及有关系数的选取等。一般船级社均有一套轴系振动的电算审查程序或指导性文件，这样可把可能存在的有害轴系振动消灭在设计阶段。对较为复杂的轴系振动问题或可能会出现没有预料到的有害的轴系振动问题，也应预先采取必要的减振措施。

在审查轴系振动测量报告时，除了应对测试人员及测试仪器进行认可外，还应检查测点位置，复核典型波形图等。

如果计算或实测轴系振动量级超过了相应的衡准值，则应采取经济而有效的减振措施，并经实测验证。

对营运船舶，如果更换主机、更换螺旋桨、改变轴系布置、改变轴承位置等等，均应重新进行轴系振动计算，必要时应重新进行振动测量，并重新划定转速禁区。这对保证轴系安全营运是非常必要的工作。

6.2 扭振衡准

各国船级社规范均把轴系扭转振动作为船舶入级的内容之一，主要规定为：提交扭振计算书、扭振实测报告(认为有必要时)、轴系各部件允许的扭振应力或扭矩值等。但各国规范对扭振的衡定标准还没有统一，因此，一般对所设计的船舶，应符合所入船级的规范规定。

另外，且前规范中给出的扭振衡准值，一般只计入单简谐波的应力状态，如果对各谐次叠加的综合波，则规范中的衡准值就变不实用了。仅作为一个参考值，有的国家如美国则规定：在(0.9～1.05)ne 范围内，由共振和非共振产生的合成应力，应不超过规范规定的扭振许用应力的1.5倍。

下面主要列出 EC 规范的老干规定[1][2]。

6.2.1　曲轴和螺旋桨轴扭振许用应力

1) 连续运转扭振许用应力

在$0<r=\frac{n_c}{n_e}\leqslant 1.0$范围内，允许长期运转的扭振许用应力〔τc〕为：

$$\left.\begin{aligned}&\text{海船：}[\tau_c]=\pm[(51.0-0.031d)-(33.8-0.0245d)r2] \quad \text{N/mm}^2\\&\text{河船：}[\tau_c]=\pm[(51.5-0.044d)-(31.88-0.02d)r^2] \quad \text{N/mm}^2\end{aligned}\right\}\quad(6.2.2\text{—}145)$$

式中：d ——轴的基本直径，mm。对曲轴以曲柄销直径为准，对中间轴以直轴的最小直径为准，对螺旋桨轴以其后轴承到隔舱壁密封填料函之间的最小直径为准。

n_c——共振转速，r/min；

n_e——额定转速，r/min。

2)瞬时运转扭振许用应力

在0<r<0.8范围内，允许瞬时通过的最大扭振许用应力〔τ_t〕为：

$$[\tau_t]=\pm 2.0[\tau_c] \quad N/mm^2 \qquad (6.2.2—146)$$

3)超速运转扭振许用应力

在1.0<r≤1.15范围内，允许长期运转的扭振许用应力〔τg〕为：

海船：$[\tau_g]=\pm[(18.1-0.0113d)+(87.3-0.052d)\sqrt{r-1}]$ N/mm² (6.2.2—147)

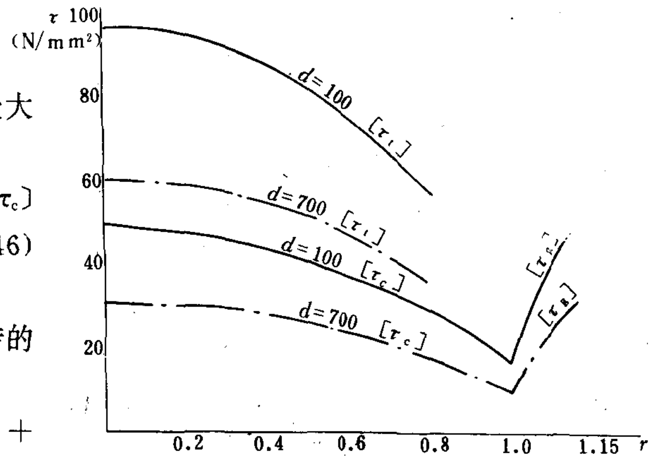


图6.2.2—77 曲轴和螺旋桨轴扭振许用应力曲线(海船)

河船：$[\tau_g]=\pm[(19.6-0.02d)+(82.6-0.064d)\sqrt{r-1}]$ N/mm² (6.2.2—148)

海船扭振许用应力曲线如图6.2.2—77所示。

6.2.2 推力轴、中间轴…尾管轴扭振许用应力

1)在0<r≤1.0范围内，允许长期运转的扭振许用应力〔τ_c〕为：

海船：$[\tau_c]=\pm[(70.4-0.031d)-(45.6-0.02d)r^2]$ N/mm² (6.2.2—149)

河船：$[\tau_c]=\pm[(72.6-0.039d)-(45.1-0.02d)r^2]$ N/mm² (6.2.2—150)

2)瞬时运转扭振许用应力

在0<r<0.8范围内，允许瞬时通过的最大扭振许用应力〔τ_t〕为：

$$[\tau_t]=1.7[\tau_c] \quad N/mm^2 \qquad (6.2.2—151)$$

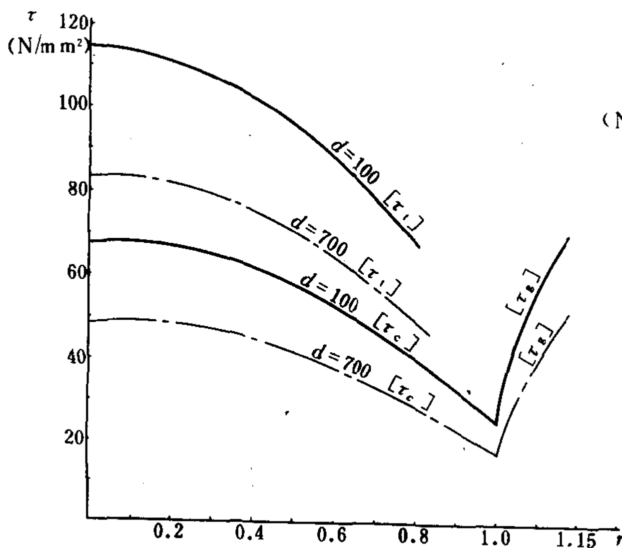


图6.2.2—78 推力轴、中间轴、尾管轴扭振许用应力曲线

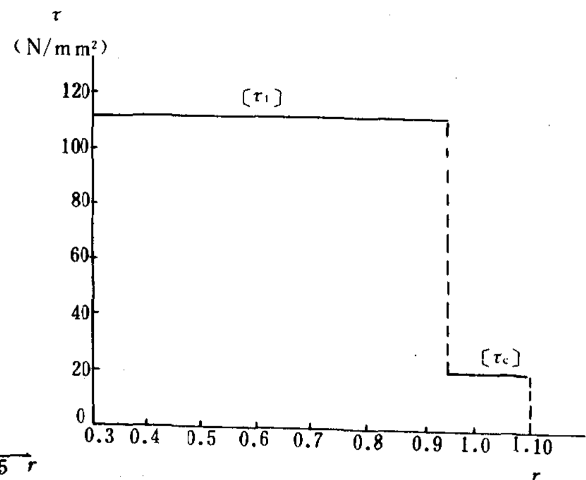


图6.2.2—79 发电机曲轴和传动轴扭振许用应力曲线

3) 超速运转扭振许用应力

在1.0<r≤1.15范围内，允许长期运转的扭振许用应力〔τg〕为：

海船：$[\tau_g]=\pm[(249-0.011d)+(117.7-0.052d)\sqrt{r-1}]$ N/mm² (6.2.2—152)

河船：$[\tau_g]=\pm[(27.5-0.02d)+(116.2-0.05d)\sqrt{r-1}]$ N/mm² (6.2.2—153)

海船扭振许用应力如图6.2.2—78所示。

6.2.3 发电机装置扭振衡准

1)曲轴和传动轴扭振许用应力

持续运转(0.95≤r≤1.10)的扭振许用应力〔τ_c〕为：

$$[\tau_c]=\pm(21.59-0.0132d) \quad N/mm^2 \qquad (6.2.2—154)$$

瞬时运转(0<r<0.95)的扭振许用应力〔τ_g〕为：

$$[\tau_g]=\pm5.5[\tau_c] \quad N/mm^2 \qquad (6.2.2—155)$$

扭振许用应力曲线如图6.2.2—79所示。

2)发电机转子处的振动扭矩

施加在发电机转子处的振动惯性扭矩，在r=0.95～1.10范围内应不超过±2M_e(M_e为额定转速时的平均扭矩)，在r<0.95范围内应不超过±6M_e。

对交流发电机，在额定工况下，转子处的合成振幅(包括脉动振幅及各谐次振幅)应不大于±2.5°电角。

6.2.4 啮轮啮合处的评用振动扭矩

在r=0.9～1.03范围内，齿轮啮合处的振动扭矩应不超过全负荷平均扭矩的$\frac{1}{3}$。在r<0.9范围内，如振动扭矩大于相应转速下的平均扭矩，则可能产生齿击现象，应设转速禁区。

6.2.5 弹性联轴器的许用振动扭矩

弹性联轴器的连续运转和瞬时运转许用振动扭矩，一般由制造厂提供。对高弹性联轴器，连续运转许用振动扭矩与瞬时值相比 一般在$\frac{1}{8}\sim\frac{1}{12}$。

6.2.6 扭振许用应力修正

1)材料修正

上述扭振许用应力值是适用于材料抗拉强度为410～430N/mm²的钢质轴。当所选用钢材的抗拉强度高于430N/mm²时，则许用应力可以适当提高。目前对许用应力τ'有以下几种修正方法：

$$\left.\begin{aligned}&\text{EC 公式}:\sigma\tau'=\frac{\sigma_b+184}{614}\tau \quad N/mm^2\\&\text{BV 公式}:\tau'=\frac{1}{2}\left(1+\frac{\sigma_b}{402}\right)\tau \quad N/mm^2\end{aligned}\right\} \qquad (6.2.2—156)$$

式中：σ_b——轴的标定抗拉强度下限值，N/mm²；

τ——计算的扭振许用应力，N/mm²。

2)尺寸修正

当实际选用的轴直径比规范要求的直径大时，特别是目前解决长冲程机推进轴系的，节扭振问题而将轴的直径增大很多时，可以提高扭振许用应力值。一般可按文献〔15〕提供的方法进行修正。

6.2.7 国际船级社协会推荐的公式

国际船级社协会(IACS)于1983年推荐的扭振许用应力如下：

连续运转扭振许用应力$[\tau_c]$为：

$$\left.\begin{array}{ll} r<0.9\text{时}[\tau_c]=\pm\dfrac{\sigma_b+160}{18}C_kC_d(3-r^2) & N/mm^2 \\ 0.9\leqslant r\leqslant 1.05\text{时}[\tau_c]=\pm\dfrac{\sigma_b+160}{18}C_kC_d\times 1.38 & N/mm^2 \end{array}\right\}$$

(6.2.2—157)

式中：C_k——轴的特征系数，按表6.2.2—20选取；

表6.2.2—20　　C_k　值

中间轴			柴油机外的推力轴		螺旋桨轴
整体法兰	套合法兰	键槽	推力环外边轴	滚珠轴承	对于系数为1.22和1.26的轴
1.0	1.0	0.60	0.85	0.85	0.55

C_D——尺寸系数，按下式计算：

$$C_D=0.35+0.93d^{0.2} \qquad (6.2.2—158)$$

瞬时运转($r\leqslant 0.8$)扭振许用应力$[\tau_t]$为：

$$[\tau_t]=\pm 1.7\frac{[\tau_c]}{C_k} \quad N/mm^2 \qquad (6.2.2—159)$$

6.3　纵振衡准[9][16]

目前只有挪威船级社、英国劳氏和我国EC规范对轴系纵振和计算有些具体要求，但对轴系纵振振幅的允许值却没有作出明确规定。这里仅引出EC指导性文件推荐值。

6.3.1　柴油机推进轴系的纵振衡准

1) 连续运转的允许振幅

连续运转时，在第1质量处的允许纵振振幅$[A_{a1}]$为：

$$[A_{a1}]=\frac{[\Delta a_o]R}{2(\Delta\alpha_k)_{max}\left(R+\dfrac{dj}{2}\right)} \quad mm \qquad (6.2.2—160)$$

式中：$[\Delta a_o]$——允许的曲轴臂距差的最大值，亦称强制修理的臂距差最大值，mm。根据船级社或柴油机制造厂的规定选取。如没有规定时，可取3.6s/10000。表6.2.2—21是一些船级社的规定值。但应注意，目前所采用的长冲程和超长冲程柴油机，允许的曲轴臂距差的最大值已经增大了。

表6.2.2—21　　臂距差最大值

船级社	EC	LR ABS	NK
$[\delta a_o]$mm	3s/10000	3.64s/10000	2.8s/10000

S——冲程，mm；

R——曲拐丰径，mm；

d_j——主轴颈直径，mm；

$(\Delta\alpha_k)_{may}$——在相关的纵振振型的曲轴相对振幅差的最大值。

2)瞬时运转的允许振幅

瞬时通过时，在第1质量处的允许纵振振幅$[A_{a1}]_c$为：

$$[A_{a1}]_c = 1.5[A_{a1}] \quad mm \tag{6.2.2—161}$$

6.3.2 齿轮传动装置推进轴的系纵振衡准

1)连续运转的允许加速度

为防止由轴系纵振产生齿轮轮齿磨损及过大的齿根交变应力,应限止齿轮轮齿啮合处的振动加速度 a 值,一般建议如下:

柴油机齿轮推进轴系:$a \leqslant 1.472\ m/s^2$;

涡轮机齿轮推进轴系:$a \leqslant 0.981\ m/s^2$。

2)连续运转的允许振幅

如果只考虑单一简谐的纵振振幅,则在大齿轮啮合处的允许纵振振幅[Aa1]为:

$$[A_{a1}] = \frac{a}{10.9872}\left(\frac{100}{f_a}\right)^2 \quad mm \tag{6.2.2—162}$$

式中 f_a 为相关的轴系纵振固有振动频率(H_z)。

3)瞬时运转的允许值

瞬时通过时,在大齿轮啮合处的允许值,应不超过连续运转值的1.5倍。

6.3.3 耦合振动的纵振衡准

当轴系产生扭转—纵向耦合振动时,认为扭转—纵向振动是相同纵振频率时的一种激励力,故轴系呈现出纵振特性。在这种情况下,纵振衡准可按6.3.1规定处理。

当轴系产生扭转—纵向振动时,曲轴产生纵向变形规律与扭振的强烈程度、曲轴的结构尺寸以及相应扭振的型有关。在这种情况下,在第1质量处的允许振幅[Aat]建议不超过下式给出的值:

$$[A_{at}] = Z_t[\Delta a_o]_t \quad mm \tag{6.2.2—163}$$

式中: Z_t——扭振相应振型的第1个节点之前的气缸数;

$[\Delta_{ao}]_t$——允许的臂距差值,mm。如没有指明时,建议取$[a_o]_t = S/10000$。

6.3.4 其他

上述是从防止产生轴系故障为出发点而给出允许值。这些值也适用于实测的限定值。但实测轴系纵振固有频率与理论计算值之差应小于5%,否则应重新计算或实测。

前面已述及过,轴系纵振还可能产生较大的继发性激励力,通过推力轴承而引起机架纵向振动、机舱局部振动、船体垂向振动及上层建筑振动等。目前由于长冲程柴油机的广泛应用,使轴系产生纵振现象增多,并由此而产生不允许的强烈的机架纵向振动及上层建筑振动。由于这些振动现象比较复杂,很难提出一个限定值。不过在设计时,应注意:

1)轴系纵振产生的继发性激励力频率尽量与振动体某一节频率远离;

2)轴系纵产生的继发性激励力应尽量小;

3)推力轴承位置应尽远离相关船体梁垂向振动振型的节点处。

6.4 回旋振动衡准

目前,轴系回旋振动固有频率计算作为判断的依据。

6.4.1 应避开的转速范围[9][14]

1.低速柴油机轴系

1次正回旋共振转速应在$1.2n_e$以上;叶片次正回旋和逆回旋共振转速不应在$(0.85 \sim 1.0)n_e$范围内。

2. 细长跨距的轴系

1次正回旋和逆回旋共振转速不应在(0.85～1.0)n_e范围内。

6.4.2 挪威船级社的建议值[14]

作为一个经验数据，挪威船级社建议由回旋振动产生的弯曲应力应不超过下列范围：

对用键安装螺旋桨的螺旋桨轴，其锥部前端的弯曲应力为70 N/mm²；

对用法兰或套合安装螺旋桨螺的螺旋桨轴，其锥部前端的弯曲应力为100 N/mm²。

上述应力应包括螺旋桨重力和波浪的影响。

6.5 转速禁区

1)当轴系振动产生的振幅、应力或扭矩超连续运转的许用值时，则应设转速禁区，一般情况，禁区范围按下式确定：

$$\frac{16n_c}{18-r} \leqslant n \leqslant \frac{(18-r)n_c}{16} \qquad r/m:n \qquad (6.2.2—164)$$

式中：n_c——共振转速，r/min；

n ——任一转速，r/min。

当振动值接近瞬时许用值时，则禁区范围应适增大，当振动值稍超过连续运转许用值时，禁区范围可适当缩小。

转速禁区也可根据实测结果确定。

2)由轴系振动而引起齿击、机舱局部结构振动、机架纵向和横向振动以及船体振动时，也应设转速禁区。如果使其他振动体的响应值超过其允许值时，则应采取经济而有效的减振措施。

3)设转速禁区时，应在控制台处的转速表上用红色标出，并校准转速表的误差控制在2%以内。对自动控制的主机，应有自动越控的措施。

4)对营运船舶，如果轴系有较大变动时，除需重新进行轴系振动计算外，还应振据计算或实测结果重新确定转速禁区范围。

参 考 文 献

〔1〕 中国船级社：钢质海船入级与建造规范，人民交通出版社，1989

〔2〕 中华人民共和国船舶检验局：长江水系钢船建造规范，人民交通出版社，1978

〔3〕 中华人民共和国船舶检验局：CG/Z001—84，船舶柴油机轴系扭振特性及有关问题，1984，5

〔4〕 det Noske Veritas：Prevention of Harmful Vibration in ships ，May 1980，July 1983

〔5〕 Bureau veritas：Recommendation Designed to Limit the Effects of vibration on Board ships，Guidance Note N1138—RD3，1979

〔6〕 Lloyd's Register of Shipping：Rules and Regulations for the construction and Classification of Steel ships，1981

〔7〕 日本海事协会：船舶振动设计指针，1981

〔8〕 许运秀：轴系纵振的衡定标准，武汉水运工程学院学报 1983年第3期

〔9〕 中华人民共和国船舶检验局：CG/Z002—86船上有害振动的预防，人民交通出版社，

1986.9
〔10〕 Bureau Veritas;Nr207SMSE,Building and Operation of Vibration—free Propulsion Plants and ships ,1987,11
〔11〕 李渤仲、陈之炎、应启光:内燃机轴系扭转振动,国防工业出版社,1984,11
〔12〕 聂德耀:滚振影响应的实验扣除法,武汉造船,1988,No.2
〔13〕 Nie Deyao,Wang Yingwen,zhang Xinyong:Two—Rate stiffness Rubber Couplings in Torsional Vibration Systems。INTERNATIONAL MARINE ENGINEERING CONF-FRENCE.,1987,3—15
〔14〕 NV:Vibration Contral in ships 1985
〔15〕 许运秀、李宗焜等编著:船舶柴油机轴系扭转振动,人民交通出版社,1982
〔16〕 许运秀、钟学添、何轩轩编著:船舶轴系纵向振动,人民交通出版社,1985
〔17〕 陈之炎编著:船舶推进轴系振动,上海交通大学出版社,1986
〔18〕 李渤仲主编:船舶内燃机扭转振动,北京科学教育出版社,1961
〔19〕 W.K.Wilson:Pratical Solution of Torsional Bibration Problem Vol.5
〔20〕 徐敏、骆振黄、严济宽、勾厚渝:船舶动力机械的振动、冲击与测量,国防工业出版社,1981.7
〔21〕 中川宪治等著、夏生荣译:振动工程学上海科学,技术出版社,1981
〔22〕 船舶检验局上海办事处、上海船舶运输科学研究所:船舶柴油机轴系扭转振动测量与分析,人民交通出版社,1978

第 3 章　推进装置与传动设备

1 概　　述

传动设备是安装在船舶主机（柴油机、汽轮机、电动机等）与螺旋桨之间，用于连接并传递或改变工况的一种机械设备。

传动设备除轴外，有联轴节，离合器、减速齿轮箱、液力偶合器，可调螺距桨机构，Z 型推进装置等。

本章主要介绍联轴节、离合器、齿轮传动装置（包括倒顺离合齿轮箱）、可调螺距桨机构、Z 型推进装置，和推进器等。

2 齿轮传动装置

现代螺旋桨推进的船舶，航行于内河的螺旋桨最佳转速范围是 200～300r/min；航行于海洋的为 100r/min 左右。除某些重型低速船用柴油机可直接带动螺旋桨外，一般都得采取齿轮减速的办法。某些军舰由于巡逻航速或作战航速等不同要求，也有依靠多机并车离合和齿轮传动的推进装置。

齿轮传动推进装置在制造精度，外形尺度和自重等方面都在比较适度条件下，单级齿轮箱的总效率达到 98%～99%，双级齿轮箱为 96%～97%。液力减速传动器仅在额定转速时的总效率为 97%；电力减速器只有 90%～92%；电磁离合器或磁粉离合器在额定工况时为 95%左右。齿轮减速箱在构造，维修、附属设备，装置重量和占有空间等方面，都有一定优势。因此，在柴油机船舶推进系统中被广泛采用。

2.1　齿轮传动配置方案

齿轮传动配置方案很多，一般可分为：单路减速齿轮传动，多路减速齿轮传动，变速齿轮减速传动，辅助功率齿轮传动。

2.1.1　单路减速齿轮传动

单路减速齿轮传动是主机功率传给螺旋桨只有一条途径的齿轮减速传动。图 6.2.3—1 为单路减速齿轮传动简图。图中：

a）圆柱齿轮一级减速传动，输出轴的转向与输入轴相反；

b）圆锥齿轮一级减速传动，输出轴与输入轴成 90°角；

c）具有中间齿轮的圆柱齿轮单级减速传动；

d）具有中间齿轮的圆柱齿轮双级减速传动，输出轴与输入轴转向相同；

e）具有中间齿轮的圆锥齿轮双级减速传动，它和（d）都适用于要求减速比较大、且输入轴与输出轴的距离也较大的场合；

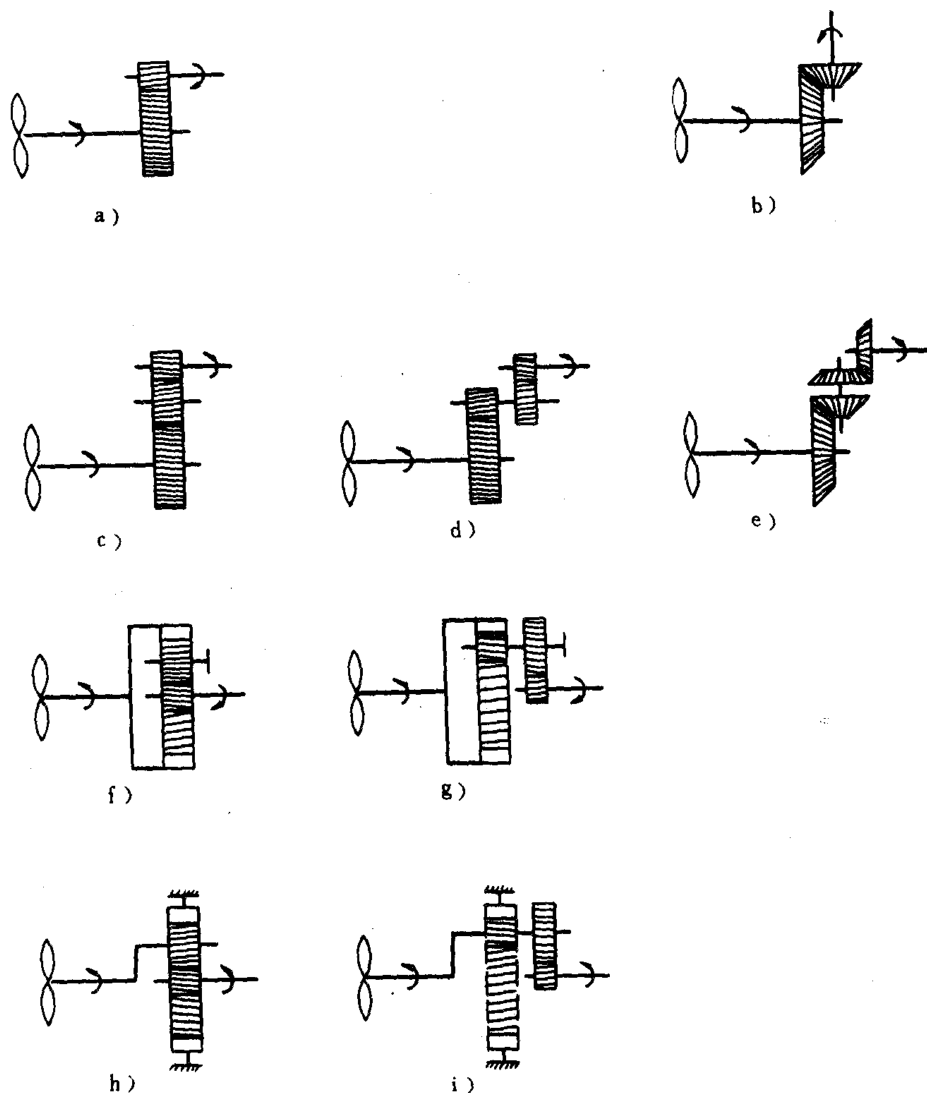


图 6.2.3—1 单路齿轮减速传动

f)定星式周转轮减速传动方式；

g)定星—平行轴齿轮二级减速传动方式；

h)是行星式周转轮减速传动方式；

i)行星—平行轴齿轮二级减速传动方式。

2.1.2 多路齿轮减速传动

多路齿轮减速传动是主机功率传给螺旋桨有两条或两条以上途径的齿轮减速传动方式。见图 6.2.3—2。图中：

a)输入轴的功率通过一个小齿轮平均传给两个大齿轮的功率分支传动；

b)输入轴上小齿轮一边与输出轴大齿轮啮合，另一边通过一个中间齿轮与另一输出轴大齿轮啮合的功率分支传动。这可使两个螺旋桨转向相反；

c)功率分支—平行轴双级齿轮减速传动，它适用于需要较大减速比和要求两输出轴距离较大的场合；

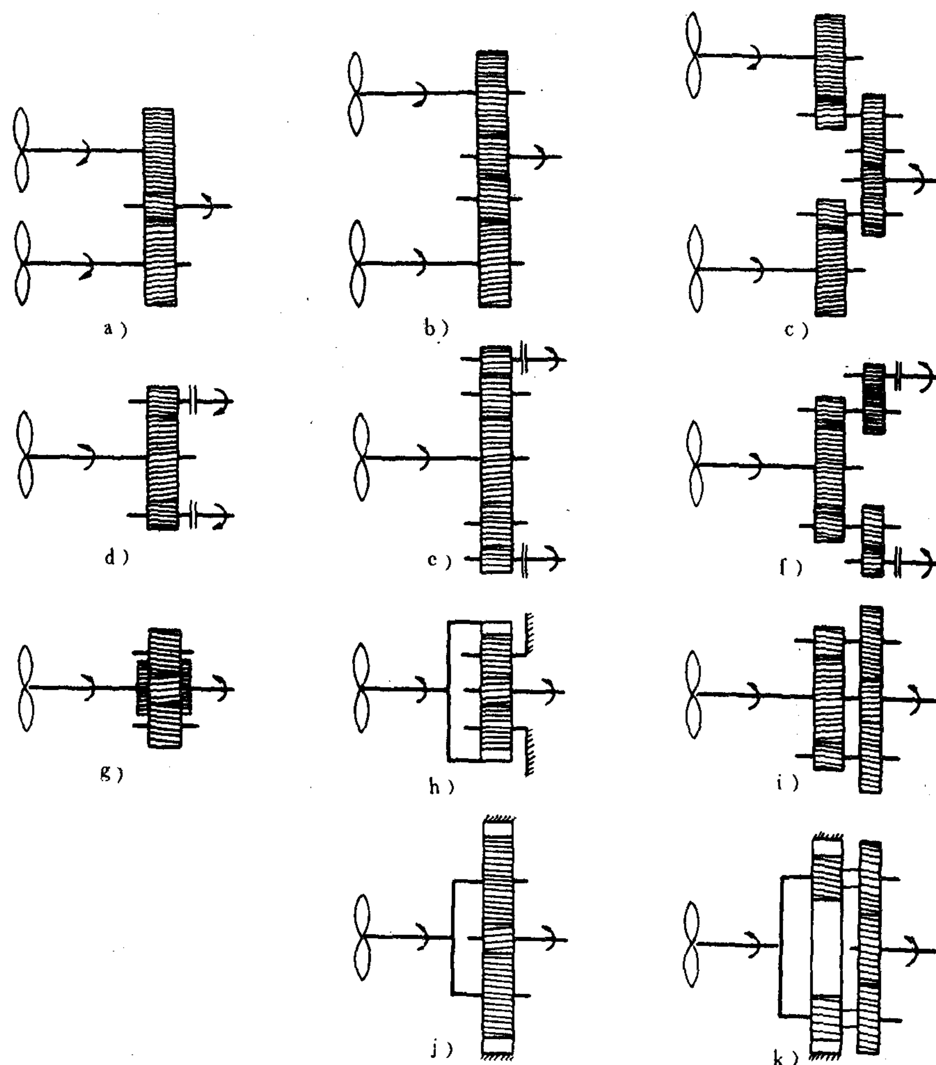


图 6.2.3—2 多路齿轮减速传动

d)双机并车传动(双输入—单输出齿轮减速传动。装有离合器，靠离合器使其中的一台发动机结合或脱离；

e)双机并车传动。对两台发动机轴线间的距离较大，就每边多加一个中间齿轮；

f)双机并车两级齿轮减速传动；

g)分支—并车传动形式，输入轴功率先分配给两个中间齿轮，然后再传给一个输出轴大齿轮；

h)分支—并车传动，输入轴的功率先传给与输出轴内齿轮相啮合的两个中间齿轮，然后传给输出轴、系同心轴的形式；

i)分支—并车传动，输入轴的功率先分配给一级减速的两个大齿输，然后联合传动二级减速的一个输出轴大齿轮，系同心轴的形式；

j)功率分支—行星齿轮减速传动，一级传动；

k)功率分支—行星齿轮二级减速传动。

当需要更大的减速比时可采用 j、k。

2.1.3 变速齿轮减速传动

在船舶上有的齿轮减速传动是能够变速的，见图 6.2.3—3。这种传动中所用的离合器，能够使功率和转速不相同的发动机结合或脱离。图中 a)、b)是"母子"式传动装置，常用于渔船和其它海船。它能使发动机以全部功率，以不同的转速来驱动螺旋桨，具有两级变速。但在发动机不能反转、也不装可调螺距螺旋桨的推进装置中，转向的改变靠换向齿轮来完成；

c)、d)、e)是单机双速齿轮减速传动。通过控制离合器的结合与脱离，能够使发动机在某个转速下，螺旋桨有两个不同的转速（传动装置的发动机应是可反转的，否则螺旋桨应是可调螺距的。

f)、g)、h)是单机双速可反转齿轮减速传动。f)是有一对换向齿轮的换向减速传动。g)是有一个中间齿轮的换向减速传动。h)是具有两个行星轮系的换向减速传动，主机可用不可反转式发动机

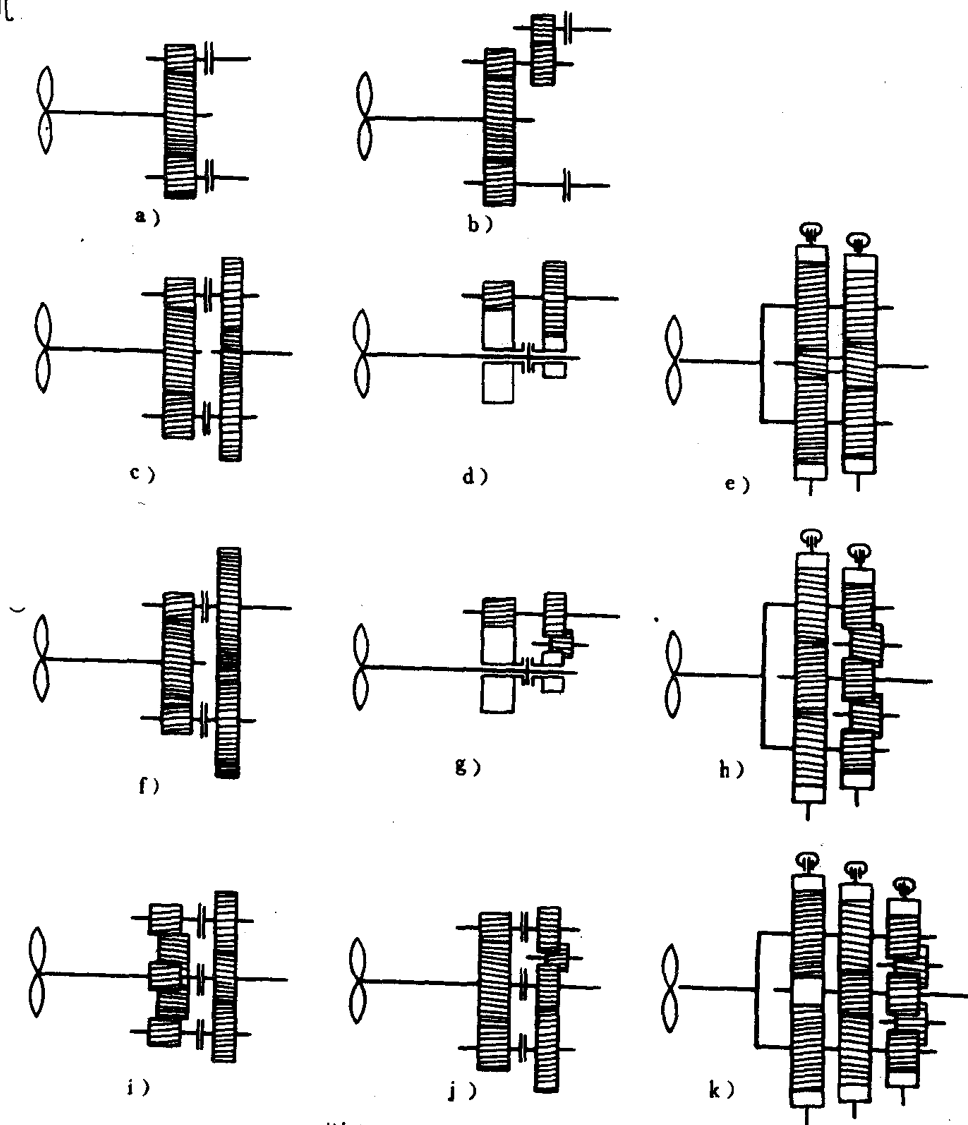


图 6.2.3—3 变速齿轮减速传动

i)和 j)是具有两个正车级（双速）和一个倒车级的换向减速齿轮传动。

k)是具有两个正车级（双速）和一个倒车级的行星齿轮减速传动。

2.1.4 辅助功率齿轮传动

图 6.2.3—4 是船舶推进装置的齿轮减速传动中分出功率(PowerTake—off 简称 PTO)的辅助功率齿轮传动。这种传动可以用主机功率驱动发电机或其它辅机。

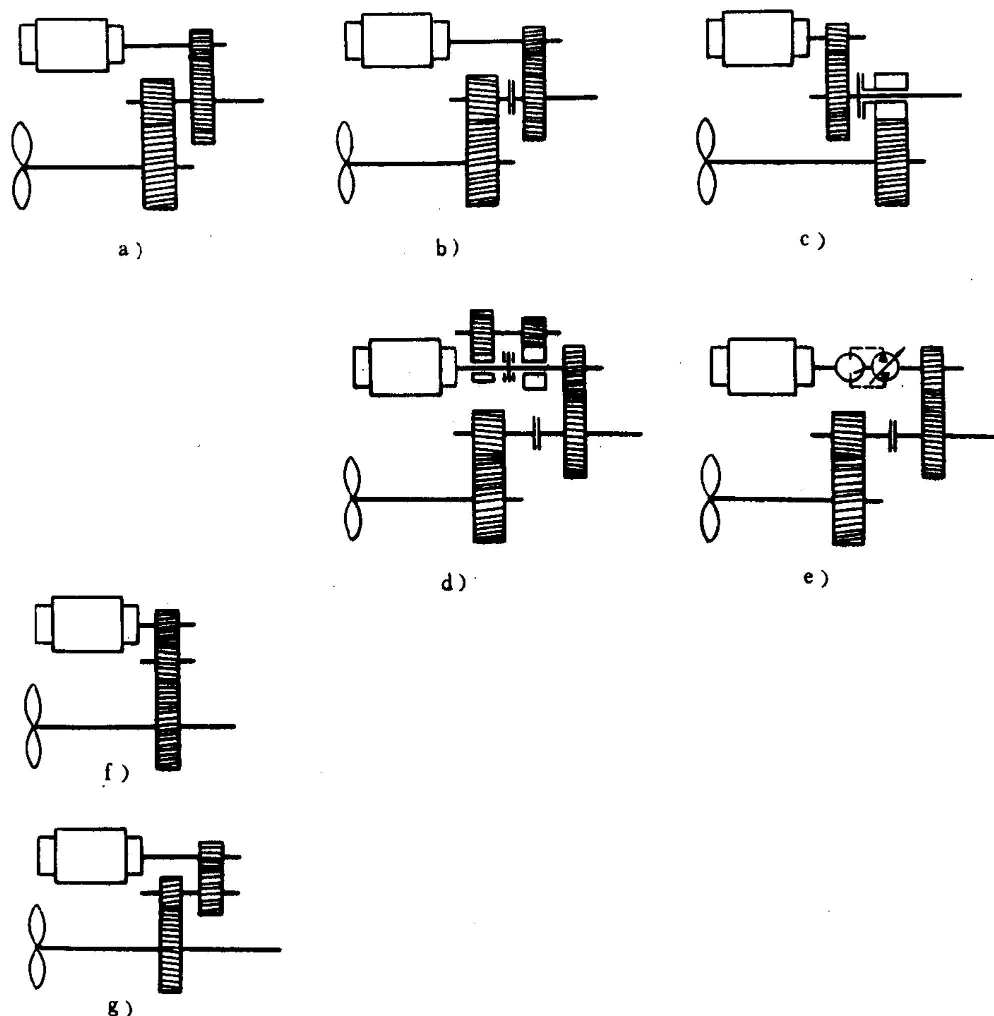


图 6.2.3—4　辅助功率齿轮传动

a)、b)、c)是输入轴直接通过辅助功率齿轮驱动发电机(或其它辅机)的传动方式。a)中推进减速齿轮的主动齿轮与辅助齿轮的主动齿轮都装在输入轴上,中间没有离合器。b)和 c)是在推进齿轮与辅助齿轮之间装有离合器。但它们的辅助功率齿轮传动都是不能变速的;

d)有级调速辅助功率齿轮传动;

e)无级调速辅助功率齿轮传动;

f)是一级增速的,中间加了一个中间齿轮,目的是增大发电机与轴系之间的距离,以便于安装发电机;

g)是二级增速的,用于需要较大增速的场合。

我国编制的船用减速齿轮箱型号由型式代号、中心距、配机型式代号和名义速比等组成。标准见船用部标 CB3003—77。

表 6.2.3—1 是 C.S.T.L 系列减速齿轮箱主要参数。

表 6.2.3—1　　**C.S.T.L 系列减速齿轮箱主要参数**

系列类型		参数名称	数据								
C、S、T		中心距(A)	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250
L		mm	900	1000	1120	1250	1400	1600	1800	2000	2250
C、S、T		名义速比(i)	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3	3.25	
L			3.5								

表中 C 系列指单机单轴垂直异心齿轮传动；S 系列指单机单轴水平异心齿轮传动；T 系列指单机单轴同心齿轮传动；L 系列指双机单轴齿轮传动。

2.2　典型齿轮箱性能参数

2.2.1　GCS/GCH 系列齿轮箱

GCS/GCH 系列齿轮箱为单机单轴减速齿轮箱，系四川永进齿轮箱厂的产品，其性能参数见表 6.2.3—2。

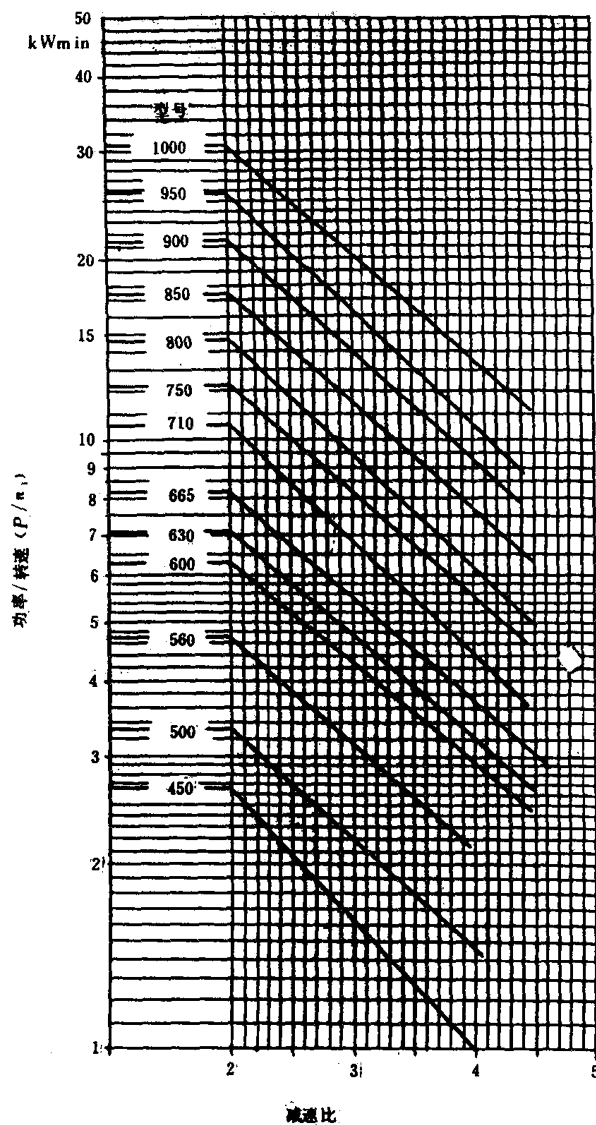
表 6.2.3—2　　**GCS/GCH 系列齿轮箱主要性能参数**

型号 / 名称	450	500	560	600	630	665	710	750	800	850	900	950	1000
速比 i	2～4			2～4.5									
功率 PkW/r/min 转速 nPS/r/min	2.68 (3.65)	(4.4)	4.78 (6.5)	6.07 (8.26)	7.13 (9.7)	8.24 (11.2)	10.59 (14.4)	12.28 (16.7)	14.71 (20)	17.62 (23.95)	21.55 (29.3)	25.8 (35.1)	30.60 (41.6)
最高输入转速	1000			800					650				
功率 kW (PS)	2682 (3650)	3234 (4400)	4777 (6500)	5020 (6831)	5882 (8003)	6791 (9240)	7085 (9640)	7364 (10020)	8820 (12000)	9330 (12694)	11413 (15529)	13673 (18603)	14370 (19552)
r/min	1000			825			600			530			470

GCS/GCH 系列齿轮箱的最低输出转速为 110r/min。根据输出输入轴中心距和输入转速的不同，分为三种型号：GCS/GCH450～560 型、600～750 型和 800～1000 型。它们的最高转速分别为 650、800、和 1000r/min。速比在 2∶1 到 4.5∶1 的范围。GC 系列齿轮箱的选型可用图 6.2.3—5 选用

GC 系列的选用方法如下：

已知输入功率 P＝2570kW，输入转速 n_1＝500r/min，减速比 i＝2.5，单机单输出。由于 p/n_1＝5.14kW.min/r，可在图 6.2.3—7 纵坐标上找出 P/n_1＝5.14 的一点 a′，通过 a′作横坐标的平行线。再在横坐标上找出 i＝2.5 的一点 a″，通过 a″点作纵坐标的平行线。两线相交于 a 点。a 点将在 560 曲线之上，600 曲线之下，证明选用 600 中心距是安全可靠的；若选用 500mm 中心距，负荷偏高。



转速条件：

齿轮箱型号	输入转速 max	输出转速 min
450— 560	1000	110
600— 750	800	110
800—1000	560	110

根据ABS或BV船级社的要求选用时：
P = 最大持续功率，kW, 1 kW = 1.36PS
n_1 = 输入转速，r/min
根据曲线选用时，应符合下述条件：
采用多于5缸的直列式发动机及多于6缸的V型发动机。发动机和齿轮箱用高弹性联接轴节或离合器联接。

图 6.2.3—5　GC 系列齿轮箱的选型图

2.2.2　GVA 系列齿轮箱

GVA 系列齿轮箱为双机并车齿轮箱，为四川永进齿轮箱厂的产品，其性能见表 6.2.3—3

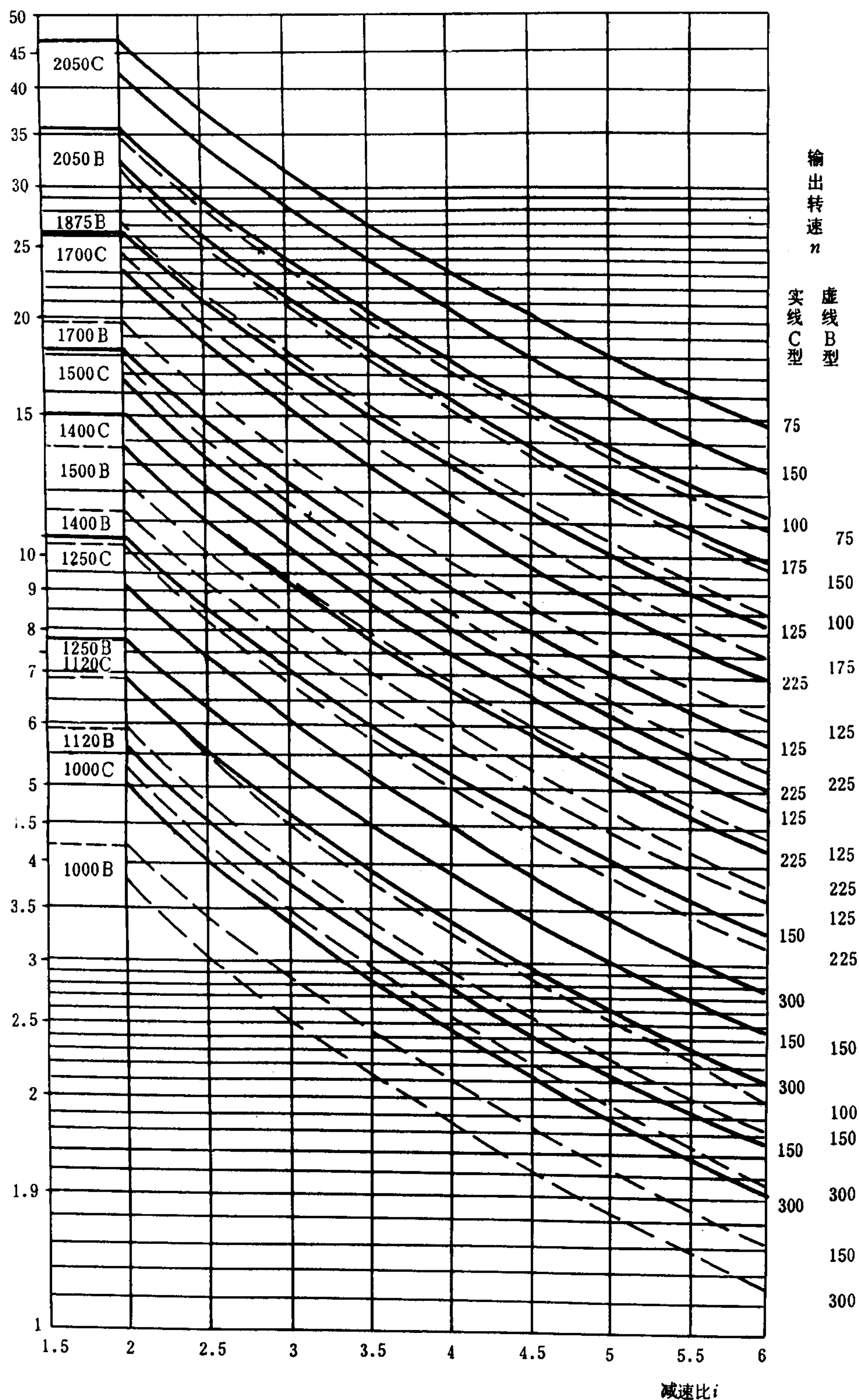


图 6.2.3—6 GVA 系列双机并车齿轮箱选用图

表 6.2.3—3　**GVA 系列齿轮箱主要性能**

名称（单位）\型号	1000C	1120C	1125C	1400C	1500C	1700C	1875C	2050C
速　比 i	2～6							
功率 p(kW/r/min)	3.68～4.05	5.07～5.74	6.77～8.09	10.15～11.03	12.14～13.39	16.18～19.12	22.80～26.18	30.89～34.57
转速 n(ps/r/min)	(5～5.5)	(6.9～7.8)	(9.2～11)	(13.8～15)	(16.5～18.2)	(23～26)	(32～35.6)	(42～47)
输出转速 n_2 (r/min)	300～150	300～150	300～150	225～125	225～125	225～125	175～100	150～75

GVA 系列齿轮箱可根据输入功率，转出转速、减速比及安装两台发动机所要求的中心距，按图 6.2.3—6 来选型

2.2.3　GW 系列齿轮箱

GW 系列齿轮箱是杭州齿轮箱厂和永进齿轮箱厂的产品，它是离合倒顺减速齿轮箱，有 6 个系列，其中 GWC、GWD、GWS、GWH 为离合倒顺减速齿轮箱；GWK 和 GWL 为离合减速齿轮箱，没有倒顺功能，其选用图见图 6.2.3—7 和图 6.2.3—8。

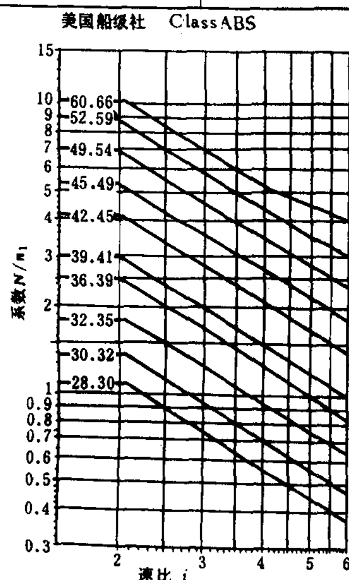
2.2.4　QCL_3(3)型倒顺减速齿轮箱

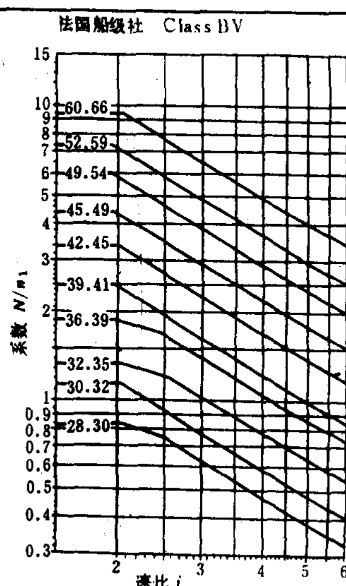
QCL_3 型齿轮箱的主要性能见表 6.2.3—4。

表 6.2.3—4　**QCL_3 型齿轮箱的主要性能**

项　目	参　数							
功率/转速	～3							
额定功率 kW(HP)	4410　(6000)							
额定转速 r/min	1900							
倒车功率 kW(HP)	735　(1000)							
倒车转速 r/min	800							
换向转速 r/min	800							
换向时间 S	<15							
速比	正车　1.897　倒车　2.37							
工作油压力(MPa kgf/cm²)	0.784～1.176　(8～12)　1.372～1.568　(14～16)							
滑油压力 MPa(kgf/cm²)	0.147～0.294　(1.5～3)							
螺旋桨推力 t	12							
外形尺寸 mm	1045×960×1302							
干重　kg	～1800							
齿轮参数　(左机)	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7	z_8
齿数	110	45	36	34	110	37	42	70
模数	5	5	5	5	5	8	8	8
啮合角	20°	20°	20°	20°	20°	25°21′	24°34′	

项　　目		参　　数							
节圆直径　mm		550	225	180	170	550	307.786	347.164	578.606
齿宽　mm		60					200		
离合器传扭面数		正车 14　　倒车 6							
摩擦片尺　寸	主动片外径 mm	458　　458							
	从动片内径 mm	325　　325							
摩擦材料	主动片	65Mn　　65Mn							
	从动片	芯板 65Mn　　衬层铜基粉末冶金							
计算摩擦系数		0.1							
比压　MPa(kgf/cm²)		2.5186～3.179　(25.7～32.44)　2.45～2.94　(25～30)							
储备系数		(1.3～1.67)　(1.3～1.45)							
接合线速度　m/s		34.5							





最高速入转速

型号	速比 2:1	2.5:1	3:1	3.5:1	4-6:1
28.30-36.39	900	1125	1350	1581	1800
39.41-42.45	800	1000	1200	1400	1600
45.49	700	875	1050	2230	1400
49.54-60.66	600	750	900	1050	1200

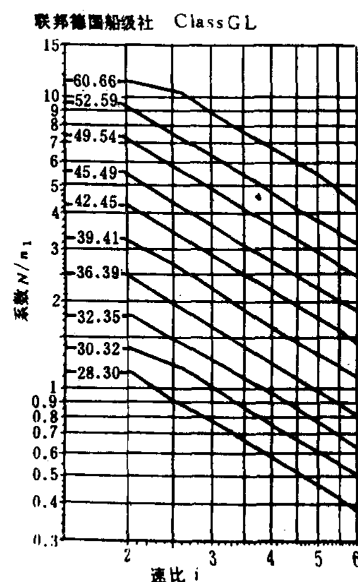
N=额定功率

PS. 1PS =0.735kW

n_1=输入转速 r/min

本容量表基于下列条件：

1. 最高输入转速不超过上列数据。
2. 单列式主机气缸多于5个；
   V 列式主机气缸多于6个。
3. 主机与齿轮箱间联接采用高弹性联轴节。



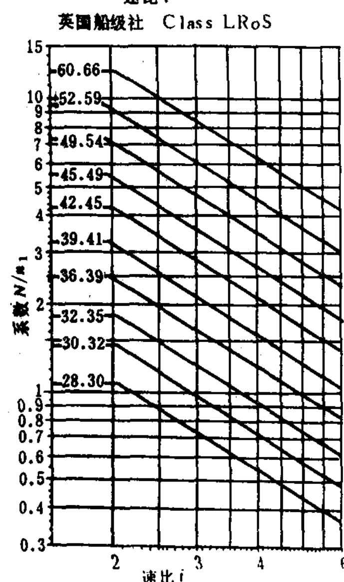
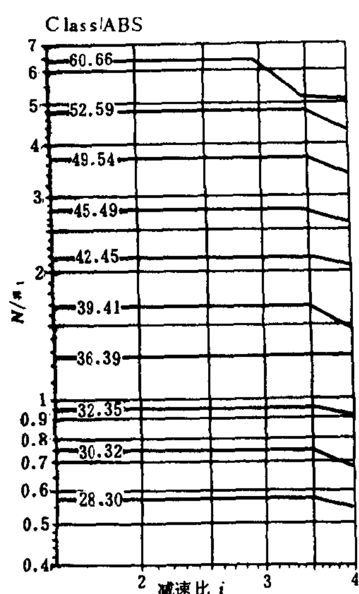
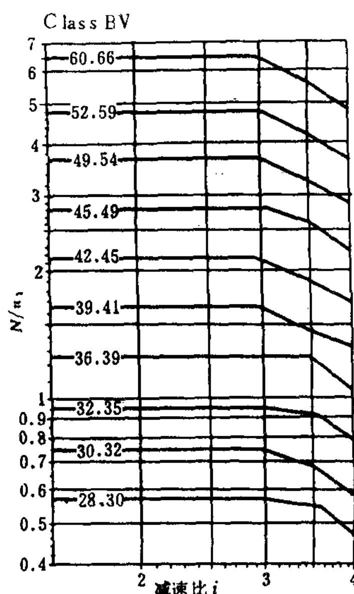


图 6.2.3—7　GWC/GWL 系列齿轮箱选用图





最高输入转速

齿轮箱型号	r/min
28.30	1800
30.32	1800
32.35	1800
36.39	1800
39.41	1600
42.45	1600
45.49	1400
49.54	1200
52.59	1200
60.66	1200
66.75	1000

N = 额定功率，PS

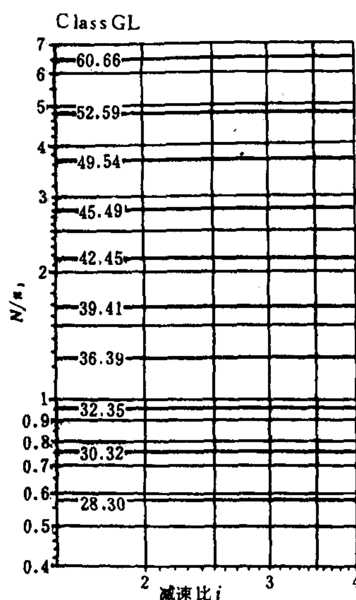
1 PS = 0.735 kW

n_1 = 输入转速，r/min

根据下列条件选择型号规格：

不超过规定转速。

缸数在 5 缸以上的直列机或 6 缸以上 V 型机并装有高弹性联轴节。



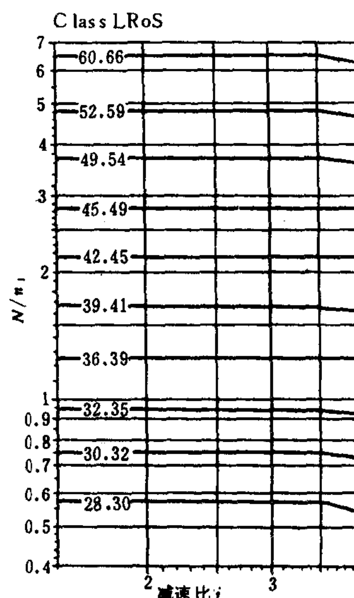


图 6.2.3—8　GWD/GWS/GWK/GWH 系列齿轮箱选用图

QCL_3 齿轮箱分左、右机组，若增加一套输入轴系可组成双机并车倒顺减速齿轮箱

2.2.5　710L 型离合减速齿轮箱

710L 型离合减速齿轮箱用于柴油机本身具有逆转功能的轴系上，输入法兰采用 XL 型高弹性橡胶联轴节与主机联连，输出轴用刚性凸缘联轴节与尾轴或中间轴联连。输出轴与输出轴呈水平异心布置。

710L 型齿轮箱的主要性能参数见表 6.2.3—5。

表 6.2.3—5 **710L 型齿轮箱主要参数**

项　目	参　数	项　目	参　数
主机型号	G12V—300	摩擦材料主动片	芯钣 65Mn，一衬层铜基粉末冶金
输入功率 kw (ps)	2205(3000)	从动片	65Mn
输入转速 r/min	600	计算摩擦系数	0.1
减速比	2.475	比压 MPa (kgf/cm²)	2.94(30)
中心距 mm	710	储备系数	1.43～1.74
工作油压力 MPa(kgf/cm²)	1.470～1.568(15—16)	齿轮齿数	主动 40　从动 99
滑油压力 MPa(kgf/cm²)	0.294(3)	模数	10
螺旋桨推力 N	～450000	压力角	20°
外形尺寸 mm	2090×1880×1880	螺旋角	10°30′
干重 kg	～10000	节圆直径 mm	主动 406.812　从动 1006.86
离合器传扭工作面数	16	齿宽	280
摩擦片直径主动片外径 mm	500	K 系数值	～22
从动片内径 mm	360		

2.2.6 240A 型倒顺减速齿轮箱

240A 型齿轮箱用于小型高速柴油机，具有两种顺车速比，现已代替 ZF55、ZF80、ZF180 型倒顺齿轮箱，其性能参数见表 6.2.3—6。

表 6.2.3—6 **240A 型倒顺车齿轮箱主要参数**

项　目	参　数
功率/转速	0.24
额定功率 kW(Ps)	264.5(360)
额定转速 r/min	1500
额定扭矩 N·m	1720
螺旋桨推力 N	36×10^3
速比 i	快车 1.33；慢车 2.5　倒车 2.08
换向时间 S	≤10
工作油压力 kPa	100～120
滑油压力 kPa	0.5～3
外形尺寸 mm	815×890×795
干重 kg	700

2.3 辅助功率齿轮箱选用

四川齿轮箱厂生产 GC 型系列减速齿轮箱，都可加装辅助功率输出轴(PTO)，其选用是根据发电机的输入能力(kW)。计算方法：

对于直流发电机：输入功率为(kW)＝1.11×输出功率(kW)；

对于交流发电机：输入功率为(kW)＝0.89×输出功率(kW)；

速比＝发电机转速(r/min)/发动机转速(r/min)

GC 系列辅助功率齿轮箱选用图见图 6.2.3—9。

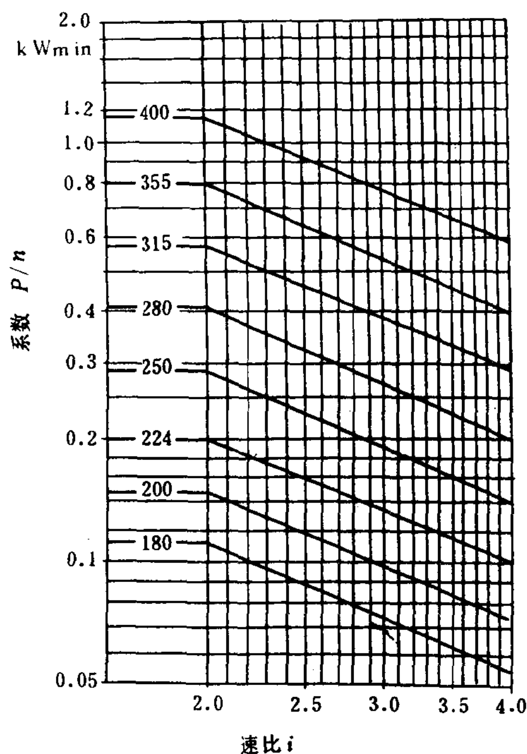


图 6.2.3—9 GC 系列(GUQ)辅助功率齿轮箱选用图

2.4 船用齿轮传动装置的系统

船用齿轮传动装置的系统有两类：

1)没有离合器操纵系统的齿轮和轴承的润滑和冷却系统；

2)包括齿轮和轴承的润滑和冷却系统在内的离合操纵系统。

离合操纵系统的操纵方式除手动机械式外，常用的有：1)液压操纵；2)压缩空气操纵；3)气液操纵；4)电液操纵。

2.4.1 液压操纵系统

图 6.2.3—10 是 240A 型船用齿轮箱液压系统原理图。齿轮油泵从齿轮箱底部油池吸入机油，

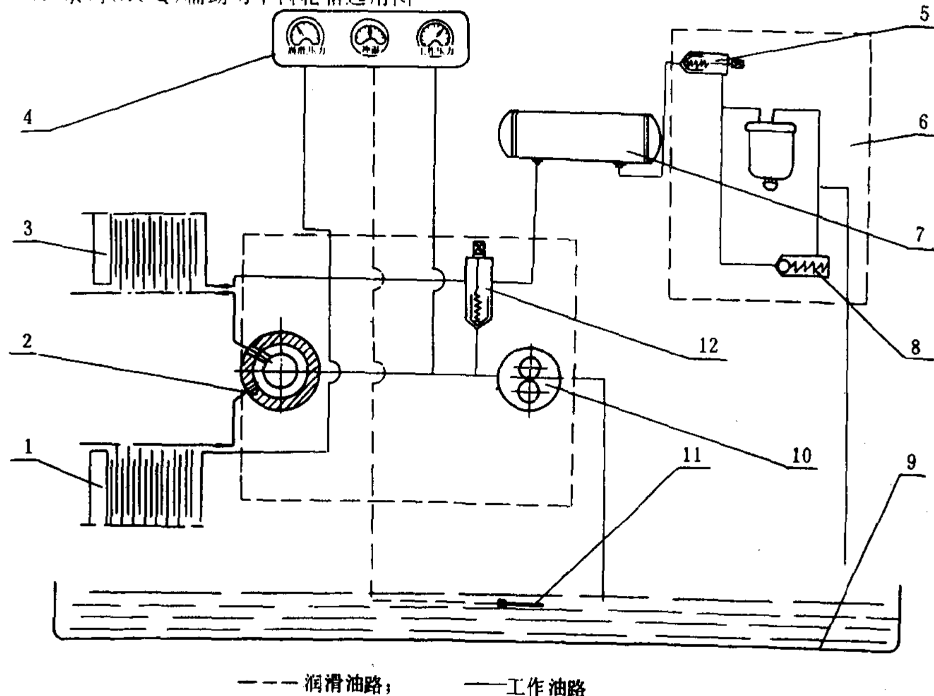


图 6.2.3—10 240A 型船用齿轮箱液压系统原理图

经压力阀建立工作油压力，其中一部分油通过换向阀接通离合器油缸，使输出轴正转或逆转。另一部分油通过压力阀分两路：一路送到各轴承的润滑油道；另一路经冷却器通过润滑油压力调节阀及滤油器后返回箱体底部油池，形成箱体内部的循环油路。

冷油器的冷却水流量应不少于 $4m^3/h$。

在换向时，手柄应在“停”位滞留 2～3S 后再换向，然后逐渐提高主机转速。

2.4.2 气液控制操纵系统

杭州齿轮箱厂按联邦德国罗曼—斯托尔福特公司(LOHMANN& STOLTERFOHT)许可证生产的产品“GW”族系船用齿轮箱是采用气液控制操纵系统。见图 6.2.3—11 所示。

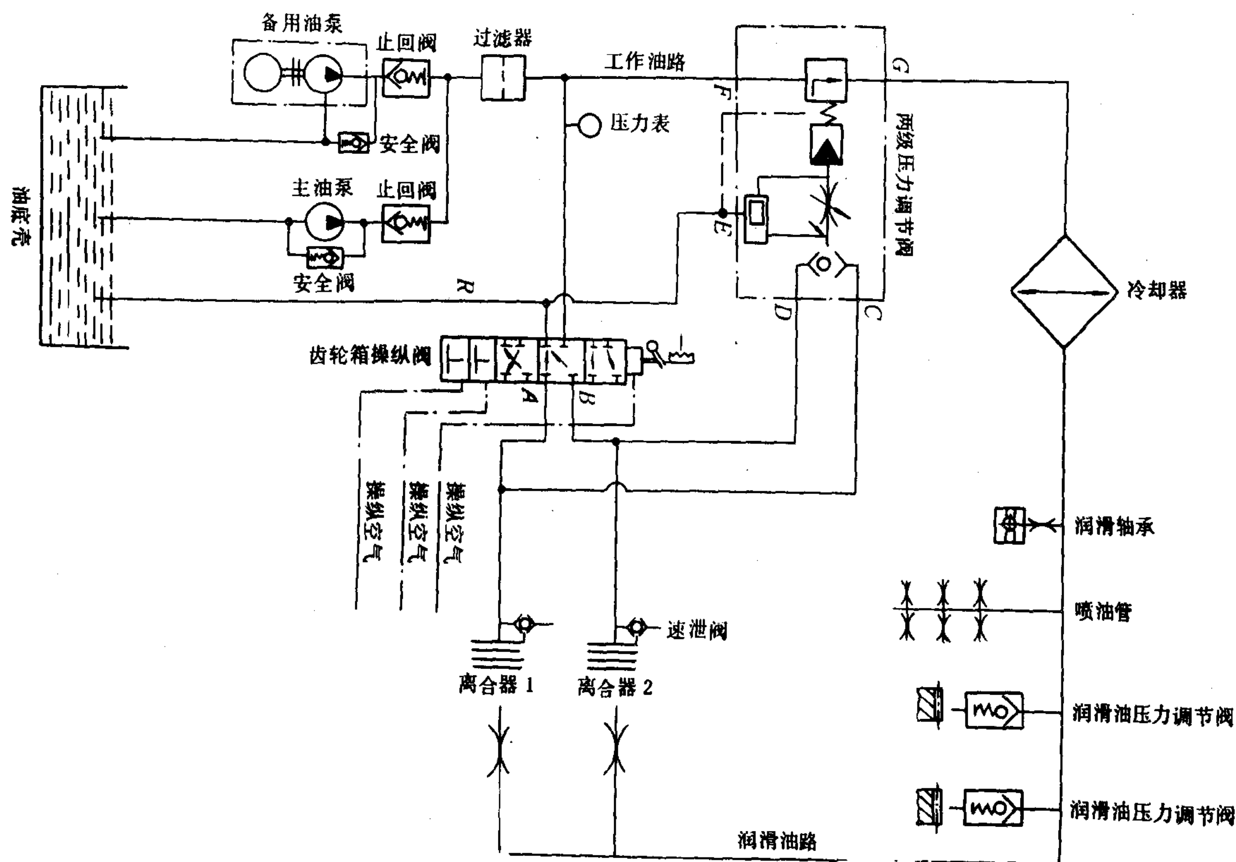


图 6.2.3—11 “GW”系列船用齿轮箱油路原理图

齿轮箱操纵阀可以用手操纵，但正常情况下，由驾驶室利用压缩空气来控制操纵阀的动作，达到离合器“倒车”、“顺车”和“停车”的工况。系统是由主泵或备用泵从油池吸油，泵出的油中分一路经滤油器到达操纵阀；另一路经二级控制阀，再经带有转换开关的滤油器和冷却器，供给轴承，齿轮和摩擦片的润滑用。二级控制阀是缓冲离合器油缸在进排油时的突然冲击。油泵都配有安全阀和止回阀。

2.4.3 多机并车用母子调速器式自动负荷平衡装置。

它的基本原理就是用一个由螺旋桨轴驱动的母调速器去控制所有参加并车运转的各主机，使它们的负荷均等。见图 6.2.3—12 三机并车负荷平衡系统。其工作过程如下：当需要驱动螺旋桨时，先把柴油机空车启动，并保持在最低稳定转速。当接合多片式摩擦离合器的同时，就接通电路，打开 ALB(即自动负荷平衡系统)电磁阀及控制子调速器电磁阀，压力油进入伺服器，使子调速器动作、控制柴油机供油泵并使柴油机转速升高到 500r/min。随着离合器的接合便带动螺旋桨转动，当柴油机转速上升时输出轴的转速也相应上升。螺旋桨通过传动装置将转速信号传给母调速器，母调速器的动作通过挠性轴使已充油的 ALB 受信装置(其作用是放大，伺服)动作，拉动摇臂顶杆去顶着供油泵齿条向减油方向移动、使柴油机转速下降到 450r/

min 运转。由于从元件设计保证了母调速器对供油泵齿条的作用大于子调速器的作用力，所以在并车运转工况下柴油机就只受母调速器的控制，而子调速器的作用仅使供油泵齿条控杆上的限位板紧贴在摇臂顶杆上。

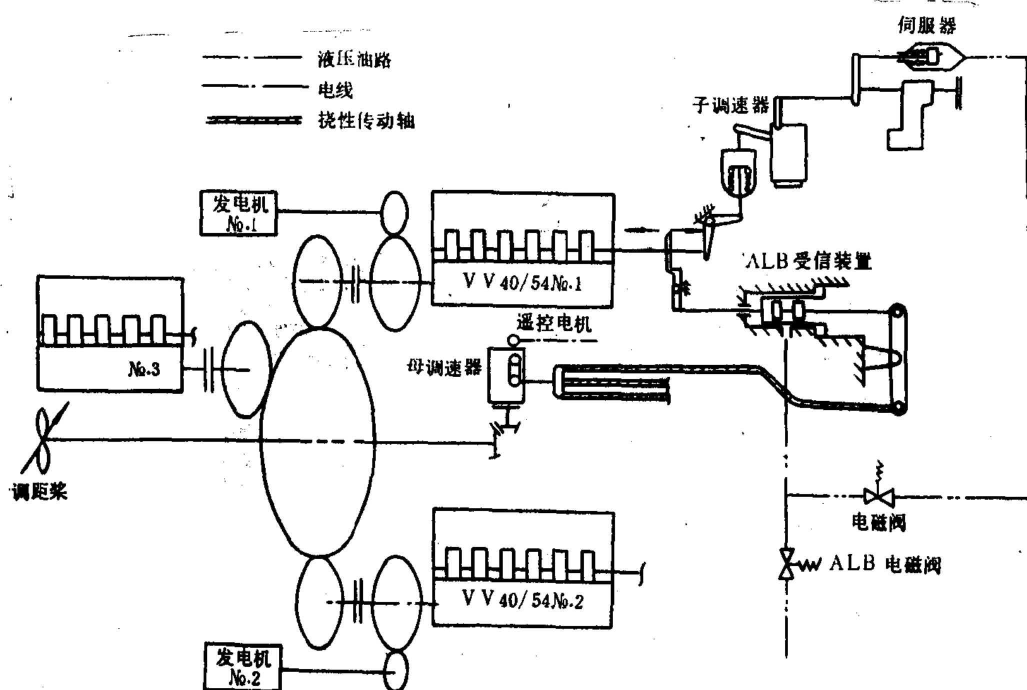


图 6.2.3—12　母子调速器式自动负荷平衡系统原理图

并机以后各主机都以 450r/min 的转速运转。航速的改变是通过变距桨来实现的，当螺距减小时，负荷下降，转速升高，母调速器的动作使柴油机供油泵齿条向减油方向移动；反之，当螺距增大时，会使供油齿条向加油方向移动。

在并车运行工况下需改变螺旋桨转速时，由装在母调速器上的遥控电机来实现。

当某台主机不参加并车工作，而需要单独驱动发电机时，就脱开离合器，并切断 ALB 电磁阀及控制子调速器的电磁阀，这时该机的 ALB 受信装置就不起作用，它的摇臂顶杆处于放松状态，这时该机就完全受子调速器控制。

该装置的负荷分配不均匀度，在额定负荷工况下为 65±2 格(供油泵齿条格数)。因为它采用的挠性轴传动距离过长，所以对分配不均匀度有较大影响。

四机并车装置的负荷平衡原理与三机相同。对二机并车装置来说，可不必专设母调速器，而是任选一台主机的调速器作为母调速器，另一主机用的便是子调速器，其作用原理相同。

2.4.4　液压式自动负荷平衡装置。

其原理是：柴油机的负荷通常可用燃油喷射泵齿条刻度表示，若并车中两机的齿条刻度一样，就认为它们负荷相等或称负荷平衡。该装置是用液压负荷平衡装置强制地使两机的燃油喷射泵齿条刻度达到一致，以实现负荷平衡。它由一个平衡阀和二个分别装于各机上的负荷平衡装置构成。它仅在并车运行而负荷约在 35%以上时才自动地工作，以把两台主机的负荷不均匀程度限制在规定值以内。当两机的负荷不平衡程度超过规定值时，负荷平衡杆的相对角度就发生变化，随着这个角度的变化，随动活塞产生动作，迫使两机的平衡杆达到一致的位置，使两机负荷平衡。见图 6.2.3—13 液压式自动负荷平衡装置系统图。

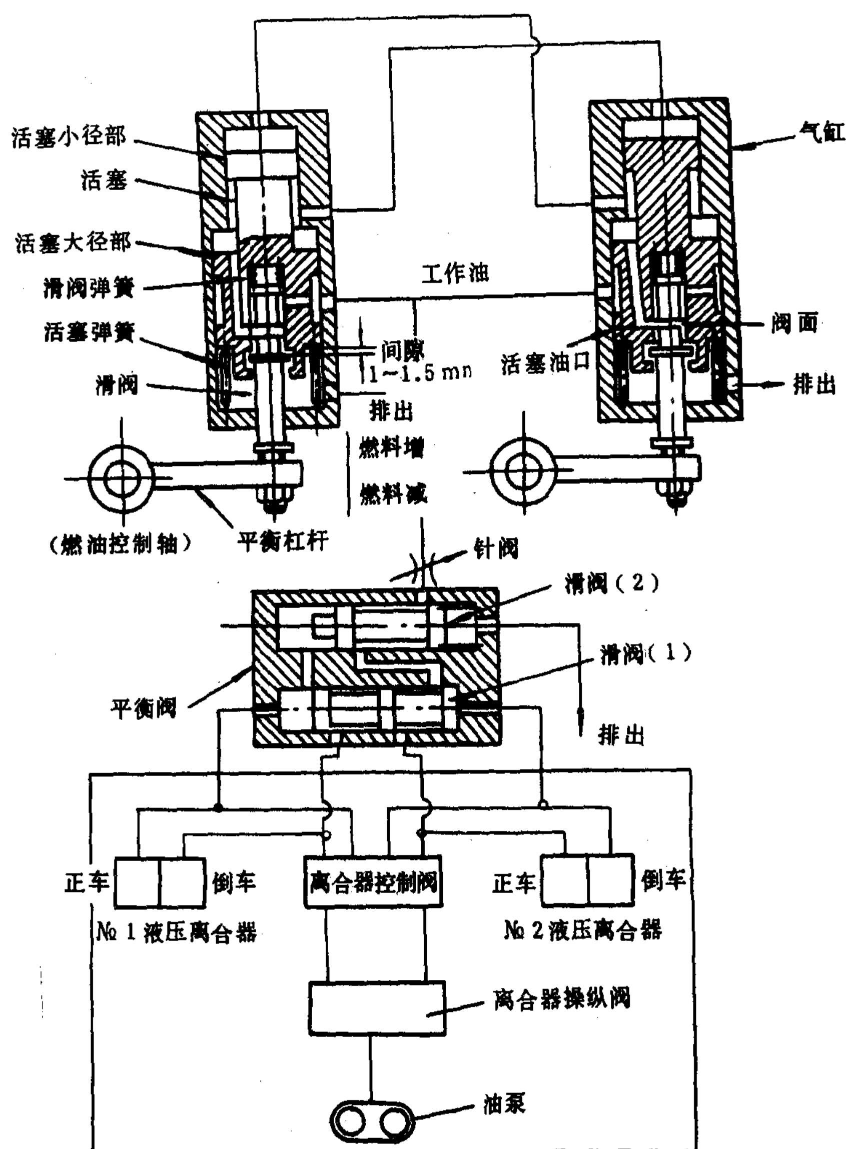


图 6.2.3—13　液压式自动负荷平衡装置系统图

其动作如下：若两机的平衡杆同时往减油方向旋转，滑阀就向下移动，使原先处于一致位置的阀肩与活塞槽口错开，结果压力油经这活塞槽口的上部进入活塞的大径部，并使活塞向下移动。当活塞槽口重新达到与阀肩一致的位置时，自动切断进油。于是两机负荷平衡装置的活塞就随着平衡杆同步移动而不受限制。

两机负荷不平衡时，其动作如下：两机负荷不平衡。也就是两机的平衡杆相对位置式角度不一致时，负荷大的那根平衡杆由于平衡装置起着限位器作用，使它与另一根负荷小的平衡杆强制处于相对一致的位置，也就是说负荷平衡装置起着限制增加燃油的作用，以自动实现负荷平衡。该负荷的平衡精度约为 1～2mm 的齿条刻度。图 6.2.3—14 为负荷平衡装置结构图。

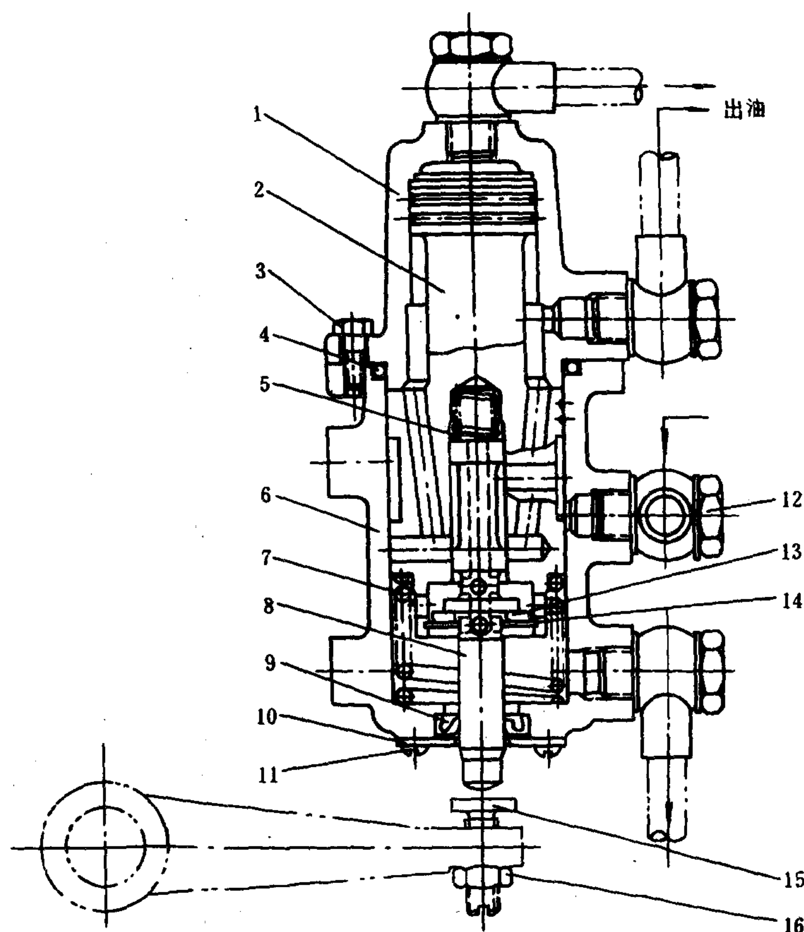


图 6.2.3—14 负荷平衡装置结构

1—盖；2—活塞；3—螺钉；4—O 型环；5—阀弹簧；6—缸体；7—活塞弹簧；8—操纵阀；
9—密封环；10—挡板；11—螺钉；12—管接头；13—垫环；14—卡环；15—调节螺栓；16—螺母

2.4.5 气动式自动负荷平衡装置

气动式自动负荷平衡装置的原理图。见图 6.2.3—15。其工作原理是：首先选定一台柴油主机作为“标准机”，其余并车主机就为“从动机”。各主机上的负荷发信器 1b 和 2b 把各主机的负荷状况转换成气压信号并传到负荷平衡阀 3 内，该阀把输入的二个气压信号加以比较并判断负荷高低及差值，然后把比较结果又以气压信号送入演算阀 4。演算阀便以某确定的比值对这一输入信号进行加减运算，然后，将结果以气压信号 P_f 送入“从动机”的调速器 2a 中，以调节“从动机”喷油量使两机负荷相等。

2.5 船用齿轮箱的散热

船用齿轮箱的承载能力与润滑方式，滑油种类和温度有密切关系。在轮齿最大负荷作用下，齿面间必须保持适当厚度的油膜，并要带走齿面间啮合和轴承里摩擦而产生的全部热量。这就必须控制滑油温度不宜过高。

首先，根据齿轮圆周速度由表 6.2.3—7 查得润滑油粘度，然后选择适当牌号的润滑油。

表 6.2.3—7　　**根据齿轮圆周速度查润滑油粘度**　　单位恩格尔度

<table>
<tr><th rowspan="2">材　料</th><th rowspan="2">抗拉强度
MPa</th><th colspan="7">圆周速度 V(m/s)时的 $E_{50}(E_{100})$</th></tr>
<tr><th><0.5</th><th>0.5～1</th><th>1～2.5</th><th>2.5～5</th><th>5～12.5</th><th>12.5～15</th><th>>15</th></tr>
<tr><td>钢</td><td>470—1000</td><td>36(4.5)</td><td>24(3)</td><td>16(2)</td><td>11</td><td>8</td><td>6</td><td>4.5</td></tr>
<tr><td>钢</td><td>1000—1250</td><td>36(4.5)</td><td>36(4.5)</td><td>24(3)</td><td>16(2)</td><td>11</td><td>8</td><td>6</td></tr>
<tr><td>钢</td><td>1250—1580</td><td rowspan="2">60(7)</td><td rowspan="2">36(4.5)</td><td rowspan="2">36(4.5)</td><td rowspan="2">24(3)</td><td rowspan="2">16(2)</td><td rowspan="2">11</td><td rowspan="2">8</td></tr>
<tr><td>渗碳或表面淬火的钢</td><td></td></tr>
</table>

注：未经渗碳的镍铬钢齿轮(>800MPa时)，需用粘度较高的润滑油(粘度等级较本表提高一级)

2.5.1　齿轮箱连续工作时的总发热量

图 6.2.3—15　气动式自动负荷平衡装置原理图
1—"标准机"；2—从动机；3—负荷平衡阀；4—演算阀；5—控制杆；6—气源装置
1a、2a—调速器；1b、2b—负荷发信器

齿轮箱总发热量计算公式：

$$Q_1 = 3600(1-\eta)P \qquad (6.2.3—1)$$

式中：Q_1 ——总发热量，kJ/n；

P ——输入轴的额定功率，KW；

η ——齿轮箱传动总效率，$\eta=\eta_1\eta_2\eta_3$；

η_1 ——啮合效率，一对齿的 $\eta_1=0.98\sim0.985$；

η_2 ——轴承效率，滚动轴承和液体摩擦滑动轴承，一只轴承的 $\eta_2=0.995$

η_3 ——润滑油飞溅和搅动损失的效率，其值可按下式计算(齿轮浸落油池深度不得超过轮齿高度)：

$$\eta_3 = 1 - \frac{0.000136VB\sqrt{E^{\circ}\frac{200}{Z_c}}}{P} \qquad (6.2.3—2)$$

式中：V ——齿轮圆周速度，m/s；

B ——浸入油中齿宽，mm；

E ——在工作温度下油的粘度，；

Z_c ——啮合齿轮总齿数，$Z_c=Z_1+Z_2$

2.5.2　箱体散热量

箱体散热量计算公式：

$$Q_2 = KS(t_1-t_2) \qquad (6.2.3—3)$$

式中：Q_2 ——箱体散热量，kJ/h；

K ——导热系数，kJ/m². h·℃；一般取 50～62kJ/m². h. ℃；

S ——齿轮箱散热计算面积，m²；

齿轮箱散热计算面积一般等于箱体表面积、加强筋(或散热鳍)散热表面积，凸缘和座等表面积之总和值。

t_1——滑油工作温度,℃

一般取 70℃,

t_2——周围空气温度,℃;

机舱温度在 30℃或以上。

2.5.3 滑油带走热量

滑油带走热量计算公式:

$$Q_3=60W_y\rho_y e_y(t_{1y}—t_{2y})\eta_{2y} \quad (6.2.3—4)$$

式中:Q_3——滑油带走热量,kJ/h;

W_y——润滑油循环流量,L/min;

ρ_y——润滑油相对密度,kg/L;一般取 0.9;

C_y——润滑油比热,kJ/kg℃;一般取 1.6;

t_{1y}——润滑油出口温度,℃;

一般取 55~65℃,

t_{2y}——润滑油进口温度,℃;一般取 45~55℃

一般润滑油进出口温差为 10℃左右。

η_{2y}——循环流量利用系数,一般取 0.5~0.8。

2.5.4 润滑油循环流量

按热平衡方程式计算:

$$Q_1-Q_2=Q_3 \quad (6.2.3—5)$$

$$W_Y=\frac{Q_1—Q_2}{60\rho_y C_y(t_{1y}—t_{2y})\eta_{2y}} \quad (6.2.3—6)$$

根据 Wy 计算值选择润滑泵流量。

2.6 船用齿轮箱的使用与保养

以 GW 系列船用齿轮箱的使用与保养为实例加以说明:

2.6.1 操作要点

1)最初运转

(1)按照油水系统管路图检查工作油管,润滑油管,冷却水管及备用油泵,过滤器,各种阀件和仪表等的状态;

(2)按照说明书规定的干净润滑油注入齿轮箱,油量按量油尺上刻有油位标志为准。量油尺上刻有“停止”和“运转”标志,即齿轮箱不工作时的油位和工作时的油位。若油位太低,油泵有吸入空气的危险;若油位太高,齿轮浸入油池太深,发热量会增高,主机功率也受到损失。

有时齿轮箱上排气孔因运输需要而封闭着,就要检查排气孔,使它通大气;

(3)把齿轮箱换向阀操作手柄推到“空车”位置,对主机和艉轴或中间轴进行盘车,检查主机和螺旋桨轴是否转动自如;

(4)起动主机,低速空车运转 5min。然后把操作手柄推到“顺车”或“倒车”位置,各运转 5min。检查油压(出厂时已调整过),空车时压力为 0.2~0.6MPa;当离合器接合时,工作油压力增加到 $2^{+0.2}_{-0.1}$MPa。它的提高是通过两级压力调节阀来实现的。这两级压力调节阀能够保证驱动齿轮箱平稳地、无冲击地换向,从而保护整个动力装置。

在正常工作温度时,最低润滑油压力允许为 0.04MPa(主机转速在额定值的三分之一)。

上述试运结束，停车检查油位，如果需要补充油量，则按规定供足。

(5)在单独安装油泵的情况下，第一次开动之前，必须在管路系统中串油约 2h。在齿轮箱入口处须嵌上一只细滤网，以过滤管道中遗留的杂物。若油管直径大于 Dg＝20mm，该细滤网须有带孔圆盘支撑着。圆盘由厚度 2mm 钢钣并在表面上占满 8mm 直径孔制成，以防止细滤网因油泥积累过多而被压坏，使油泥落入管道系统。在泵串油时，可以检查外部管系的渗漏情况；

(6)对于型号 52.59 以上尺寸的齿轮箱，滑动轴承设有油循环指示器；

(7)齿轮箱先在部分载荷工况下运转，转速要缓慢地逐步提高，直到温度达到 70℃ 时，就检查全部接头和连接部位的渗漏情况，以便再拧紧，保证密封良好。然后满负荷运转，再调节冷却水流量，直到保持温度恒定值为止。

总共运转 10h 后，检查地脚螺钉，拧紧已松动的螺钉；

(8)初运转后检查过滤器；

(9)齿轮箱的工作油压力视应配的主机功率不同而调整，按随机的说明书中规定操作。

2)应急运转

由于某种原因造成齿轮箱液压离合器失灵，则通过机械连接方法也能使摩擦片接合。

2.6.2 润滑说明

1)润滑油选择

采用柴油机油牌号：HC—11 或 HC—14。

请勿加入添加剂，以防降低摩擦系数，影响离合器的传扭能力。

2)油压的额定值见表 6.2.3—8。

表 6.2.3—8　**油压额定值**

油温 ℃ / 压力 MPa			启动时 15～30		正常工作时 40～60	
工作油压	空车	初始压力	$0.3^{+0.15}_{-0.1}$	$0.3^{+0.15}_{-0,1}$	$0.2^{+0.15}_{-0.05}$	$0.2^{+0.15}_{-0.05}$
		接合压力	$1.8^{+0.2}_{-0.1}$	$1.1^{+0.2}_{-0.1}$	1.8 ±0.2	1.1±0.2
	额定转速	初始压力	$0.6^{+0.2}_{-0.1}$	$0.5^{+0.2}_{-0.1}$	$0.5^{+0.15}_{-0.1}$	$0.4^{+0.15}_{-0.1}$
		接合压力	$2^{+0.3}_{-0.1}$	$1.3^{+0.3}_{-0.1}$	$2^{+0.2}_{-0.1}$	$1.3^{+0.2}_{-0.1}$
润滑油压	空车	最小	0.04		0.04	
		最大	0.25		0.15	
	额定转速	最小	0.10		0.10	
		最大	0.40		0.30	
接合时工作油升压时间			2.5～3.5 s		1.5～2 S	

齿轮箱匹配的柴油机功率不同时，工作油压也不相同，操作时见齿轮箱说明书。

3)备用油泵的使用

(1)齿轮箱开动前，先开备用油泵给以润滑轴承。

(2)若齿轮箱停车时间超过 5min，再要启动时，则先开动备用油泵给以润滑轴承。

(3)若齿轮箱停车时，螺旋桨自由旋转又无制动措施，超过 5min 也得开动备用油泵给以润滑轴承。

(4)若齿轮箱油泵停止工作时，齿轮箱可依靠冷却器及管路中的滑油仅维持 3min 的应急润滑，故须及时开动备用油泵。

(5)若齿轮箱油泵损坏或不能达到所规定油压值时，应开动备用油泵。

(6)对可逆转发动机，若转向或启动时间超过 5min，应开动备用油泵。

4)维护保养

(1)日保养——检查油位；检查过滤器前后压差；检查齿轮箱漏油情况；检查油压油温。

(2)周保养——检查远距离操纵系统；检查油中水分。

(3)年保养——检查齿轮箱外部所有连接螺栓；检查冷却器里接触海水部分的腐蚀情况。

(4)换油——在正常使用情况下，大约在 250h 后进行第一次换油；以后每隔 2000h 换油，最长不得超过 12 个月。换油时，齿轮箱底油池须冲洗干净。

2.6.3 更换说明

1)更换扇形推力块

只有 GW52.59 和 GW60.66 带有扇形推力块

(1)松开螺栓，垂直吊起轴承座。

(2)吊起上面的轴承座和支承推力块的环。

(3)借助沿圆周分布的孔转动下部的推力块，并吊出下部的支承环。

(4)重新安装推力块是按上述的相反程序进行，安装时须注意旋转方向，见图 6.2.3—16 所示。

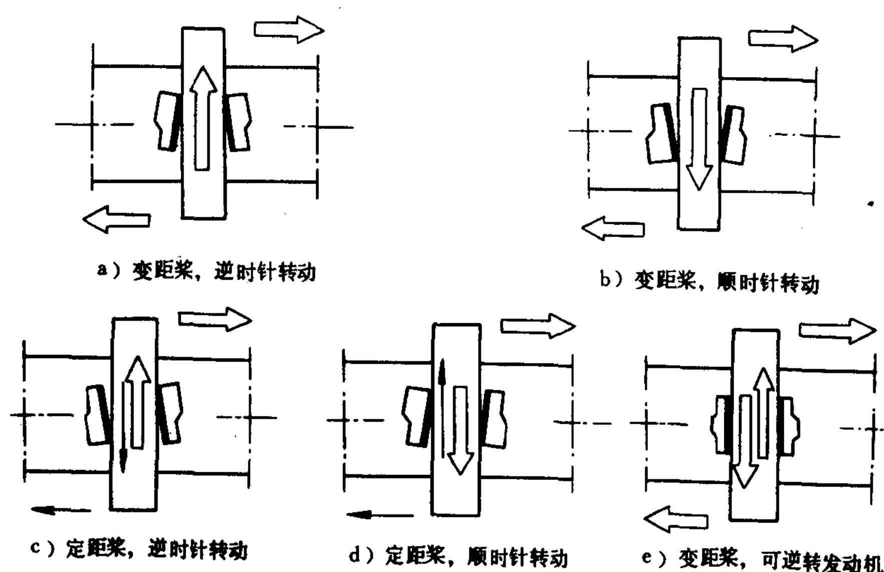


图 6.2.3—16 推力块旋转方向

2)螺栓的预紧力矩

(1)螺栓的机械性能见表 6.2.3—9。

表 6.2.3—9

强度等级			8.8
抗拉强度	MPa	min	785
		max	980
布氏硬度	HB	min	225
		max	300
洛氏硬度	HRC	min	18
		max	31
维氏硬度	HV30	min	225
		max	300
屈服点 $\sigma_{0.2}$	MPa	min	630
延伸率 δ_5	%	min	12
冲击强度	Nm/cm²	min	58.8

(2)螺栓的预紧力矩见表 6.2.3—10。

表 6.2.3—10

单位 N·m

螺栓直径	手板	冲击	螺栓直径	手板	冲击
M5	4.9	4.6	M30	1215	1137
M6	8.5	7.9	M33	1696	1539
M8	21	19.5	M36	2127	1970
M10	42.1	39.2	M39	2754	2568
M12	73.5	67.6	M42	3391	3146
M14	115.7	107.8	M45	4263	3969
M16	176.4	166.6	M48	5145	4782
M18	250.8	233.2	M52	6615	6174
M20	357.7	333.2	M56	8232	7644
M22	480.2	441	M60	9996	9330
M24	617.4	568.4	M64	12348	11466
M27	901.6	842.8	M68	14896	13818

2.6.4 故障排除

1)温度太高(过热)

可能的原因	排除方法
(1)油位太高	排油至油位正常
(2)滑油油压太低	重新调整工作油压到最低许可值
(3)齿轮箱过载	减小输入功率
(4)工作油压力太低(离合器打滑)	调整工作油压(用两级压力调节阀)
(5)油泵压力过高	清洗过滤器
(6)轴承外边油路不通	重新安装端盖或密封盖,使油路畅通
(7)轴承损坏	更换轴承
(8)密封垫太深	松开,调妥

2)油压不够

可能的原因	排除方法
(1)转向不对	使发动机反转或改变齿轮箱转向
(2)过滤器阻塞	净化过滤器滤网
(3)油位过低	再加油并找出油耗原因
(4)油粘度太低	换油,按规定加新的润滑油
(5)油温太高	见1)项
(6)吸油管堵塞	净化吸油管
(7)两级压力调节阀有毛病	更换有毛病的零件或整个阀
(8)油泵传动装置有毛病	更换新的传动装置
(9)油泵磨损	更换新的
(10)开关位置不正确	调整远距离操纵系统
(11)油质变坏	更换新油
(12)速泄阀关不严	净化速泄阀

3)漏油

可能的原因	排除方法
(1)放油塞不紧密	更换垫圈和旋紧放油塞
(2)量油尺联接不紧	更换量油尺垫圈并旋紧
(3)高压系统泄漏	旋紧所有接合部位
(4)油通过气帽损失	在气帽下装一块钣
(5)壳体接合面不密封	用新的化合物密封并拧紧所有螺栓
(6)轴的密封处漏油	a)更换密封环
(7)冷却器漏油	b)安装密封盖,使轴承外面的油流回更换冷却器衬垫

4)螺旋桨转速达不到发动机的对应转速

可能的原因	排除方法
(1)压力表失灵,读数比实际压力高	换压力表,重调油压
(2)工作油压太低	a)净化过滤器;b)检查两级控制阀
(3)齿轮箱遥控装置在“前进”位置不正确	调整遥控系统
(4)齿轮箱操纵阀失灵	更换操纵阀
(5)安装摩擦片不正确	正确地安装摩擦片
(6)摩擦片损坏	更换坏了的摩擦片
(7)螺旋桨轴轴承损坏	更换坏了的轴承
(8)离合器密封环损坏	更换坏了的密封环
(9)离合器花键磨损	修理花键齿或更换另件,检查是否超过临界转速

5)在“空车”位置螺旋桨转动不停止

可能的原因	排除方法
(1)船仍在运动 (2)因为水流驱动螺旋桨	等到船完全静止
(3)齿轮箱换向阀不在“空车”位置	调整遥控系统

续上表

可能的原因	排除方法
(4)齿轮箱换向阀故障(工作油流入离合器)	更换换向阀
(5)摩擦片损坏	更换坏的摩擦片
(6)密封环损坏,卡住活塞	更换密封环
(7)离合器花键齿损坏	修理花键齿或更换另件
(8)压缩弹簧不能工作	清洗离合器,必要时更换弹簧

6)齿轮箱噪音

可能的原因	排除方法
(1)空车转速在临界转速范围内	增加空车转速
(2)齿轮箱在临界转速范围内运转(噪声不是在整个转速范围内出现)	齿轮箱避开在临界转速区域内连续运转
(3)输入法兰松动	拧紧或更换
(4)油位太低(油泵吸入空气)	加油使油位正常
(5)吸油管不密封(油泵吸入空气)	拧紧吸油管的所有连接部位
(6)过滤器堵塞(油泵压力过高)	净化过滤器
(7)油泵转动不规律(齿轮损坏或松动)	修理或更换另件
(8)发动机与齿轮箱找正误差太大	重新找正
(9)齿轮箱轴承损坏	更换坏的轴承
(10)齿轮齿面损坏(由于外来物质)	修磨损伤部位,必要时更换齿轮
(11)齿圈超负荷松动	重新固定齿圈
(12)螺旋桨损坏	更换或修理螺旋桨
(13)输出法兰松动	拧紧或更换法兰
(14)齿轮箱输出端找正误差太大	重新找正

7)发动机换向时失速

换向时,发动机可能熄火。此时,必须增大发动机喷油量,使输出功率大于螺旋桨的功率。

可能的原因	排除方法
(1)空车转速太低	提高空车转速
(2)工作油压力太高,离合器接合太快	调节工作油压力至正常值
(3)齿轮箱换向阀失灵(工作油流入离合器)	更换齿轮箱换向阀
(4)摩擦片损坏	更换坏的摩擦片
(5)离合器花键损坏	修理花键或更换零件
(6)离合器返回弹簧不工作	清洗离合器或必要时更换弹簧
(7)离合器活塞卡死,密封圈损坏	更换坏的密封圈

3 联 轴 节

3.1 简 述

联轴节的种类很多，按功能可分为下列几种：

联轴节
- 刚性
  - 固定式——凸缘联轴节(整锻型、焊接型)可折联轴节，夹壳联轴节、液压联轴节等
  - 可移式——圆盘联轴节、销型联轴节、爪型联轴节、齿轮联轴节十字滑块联轴节等
  - 万向节
- 弹性
  - 金属弹簧——卷簧片联轴节、簧片联轴节、盖斯林格挠性片联轴节、蛇簧片弹性联轴节、金属膜盘挠性联轴节等
  - 非金属弹簧——橡胶圈柱销式联轴节、轮胎式联轴节、整圈夹板式橡胶联轴节、伏尔康高弹性橡胶联轴节、高弹性橡胶联轴节等

3.2 联轴节的选用

选用联轴节类型应考虑下列几点：

1)传递扭矩的大小和载荷的性质(如冲击、周期性及共振可能性等)。

2)转速高时应验算外缘的离心应力和弹性元件的变形，并需进行平衡检验。

3)由制造和装配误差、轴受载和热膨胀变形，以及部件之间相对运动等引起两轴轴线的相对位移程度。

4)许用的外形尺寸和安装方法，使装配、调整和维修能适应给定的操作空间，应能在轴不需作轴向移动的条件下、装拆大型联轴节。

此外，还应须考虑工作环境，使用寿命以及润滑和密封等条件。

常用联轴节的性能。特点及应用见表 6.2.3—11。

表 6.2.3—11 **常用联轴节的性能、特点及应用**

名称	许可转矩 N·M	轴径范围 mm	最大转速 min	允许使用偏差	使用条件	优点	缺点
凸缘联轴节	400~1000,000	40~600		偏移≤ 0.10~0.25mm 曲折≤ 0.15~0.25mm	船上推进轴条中广泛使用。常用于振动不大，低转速的条件下。	构造简单，制造成本低，管理方便，能传递较大的转矩，能受轴向推力。	不能消除冲击，不能消除超过允许使用偏差所产生的不良结果，安装要求高。
可拆联轴节		40~300		偏移≤ 0.10~0.25mm 曲折≤ 0.15~0.25mm	较常用。尾轴从船外向船里的安装方法时采用，轴上装滚动轴承时采用。	便于尾轴从船外装入船内。避免锻制或焊接凸缘盘。	由于轴上螺帽容易松脱，可靠性较差。加工要求高，安装要求高。自重大，占空间大。

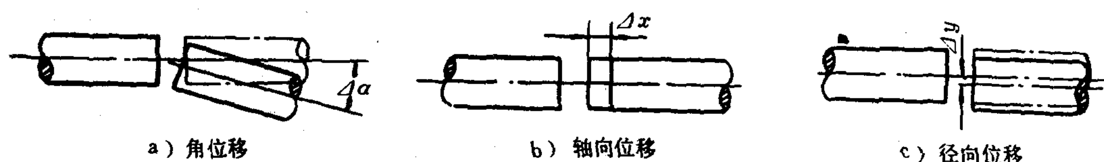
续上表

名称	许可转矩 N·M	轴径范围 mm	最大转速 min	允许使用偏差	使用条件	优点	缺点
夹壳形联轴节	90~9000	30~110	380~900	偏差≤	中小功率船上轴系使用。要求占空间尺寸小。要求装滚动轴承。在船外联接轴系使用。	横截面尺寸较小，不需锻制或焊接#缘盘。装卸简便。无需轴移动就可折下轴。中心对准良好。	自重大1.5—2倍（比凸缘式）平衡困难，转速不高。靠摩擦力传递扭矩，对螺栓要求高。
液压联轴节					大船上使用较多。	构造简单，占空间容积小，能传递较大扭矩，使用中不容易变形。	不能消除冲击，装拆要使用高压油泵，加工要求高，材料质量要求较好如，GCr15。
圆盘联轴节					用于汽轮机主轴接出端联接，多用于中小功率汽轮机齿轮机组上。扭转轴上才采用。	轴向厚度小，汽轮机纵向温度变形靠圆盘的变性变形吸收。	圆盘中应力非常大。轴稍不对中，圆盘材料会发生疲劳现象。
销型联轴节	100~400'000	12~400	800~7'800	角位移≤30'轴向位移≤1~6mm	带负荷起动，起动频繁的高低速传动装置上。可代替弹性圈柱销联轴节。主要用于汽轮机发电机组上。	结构简单，制造容易、维护更换方便。两面对称可互换。寿命长，允许有较大轴向窜动。	外形尺寸较大。柱销材料有的要用高质尼龙。
爪型联轴节	20~4800	‹125	4'000~10'000	角位移≤40'mm轴向位移≤0.3mm径向位移≤0.2mm	用于小功率，高转速的中间轴上，装在推力轴承前端。	结构紧凑，尺寸小，其飞轮力矩也小。	制造较复杂。
齿轮联轴节	710~1'000'000	18~650	314~4000	角位移≤30'轴向位移≤1mm径向位移≤0.4mm	两轴平行误差较大，用于汽轮机齿轮机组上，	两面对称可互换。尺寸相同时，传递扭矩最大。	制造相当困难。较笨重需润滑。
十字滑块联轴节	120~20'000	15~150	100~250	角位移≤30'径向位移≤0.04d（d为轴径）	用于低转速，两轴同心度误差较大的情况下。装在推力轴承前端。	结构紧凑，尺寸小，飞轮力矩小。使用寿命长。	制造较复杂。

续上表

名称	许可转矩 N·M	轴径范围 mm	最大转速 min	允许使用偏差	使用条件	优点	缺点
弹性圈柱销联轴节	67~15380	25~180	1100~5400	角位移≤40′径向位移≤0.3mm 轴向位移≤1mm	正反转变化多，起动频繁有震动现象。柴油机飞轮与齿轮箱组联接。	弹性较好，能缓冲减震。能补偿轴位移。	寿命低，制造要求高。需要高质橡胶材料。
轮胎联轴节	10~100'000	10~300	450~4000	角位移≤5~12°径向位移0.1D 轴向位移0.2D(D为联轴节外径)。	用于潮湿多尘，正反变化多，起动频繁，两轴角度误差大，受冲击。可代替齿轮联轴节或弹性圈柱销联轴节。	能缓冲，减振，补尝位移，无噪声，寿命长，结构简单，无相对摩擦，不需润滑，两面可互换。	径向尺寸大，飞轮力矩大。需要橡胶材料。轮胎无正式产品。
弹性联轴节	2000~10000	50~320	800~2500	角度位移≤4°	轴长又细，容易变形，冲击和振动。安装在推力轴承前端。	结构简单，制造方便，维修容易。	外形尺寸较大。钢片与工业橡胶质量要好。
蛇形弹簧联轴节	N/n0.005~38	15~300	500~15000	角位移≤1.4°轴向位移≤4~20mm 径向位移≤0.5~3mm	汽轮机齿轮机组。	能吸收扭转振动和螺旋桨撞击载荷。轴线不对中时仍能很好工作。	直径较大，制造成本较高。

注：1)轴线相对位移示意图：



a) 角位移　　b) 轴向位移　　c) 径向位移

2)许用相对径向位移一般不超过 0.05mm；许用相对角位移在 1m 长度上不超过 0.05mm。

3.3 刚性固定式联轴节

刚性固定式联轴节的许用相对径向位移一般不超过 0.05mm；许用相对角位移在一米长度上不超过 0.05mm。

3.3.1 凸缘联轴节

凸缘联轴节(法兰联轴节)的结构主要有两种，一为凸缘盘同轴一起整锻制成，另为凸缘盘焊接于轴端上，见图 6.2.3—17 和图 6.2.3—18。

主要尺寸见表 6.2.3—12。

对整锻工艺的技术要求(JT4162—77):

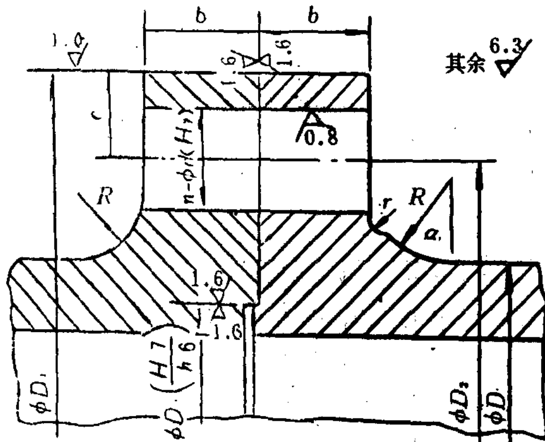


图 6.2.3—17 整锻式凸缘联轴节结构图

1)船轴及联轴节锻件成品,不得有过烧现象。表面不允许有裂纹、折痕、夹渣、夹层及密集的花纹。轴材端部不得有缩孔或疏松。

2)表面缺陷若能在加工后保证去除,且不影响表面质量时,允许存留。

3)联轴节非接合面允许存留个别不大的凹陷,刻痕或黑点,允许用焊补的方法修补表面缺陷。大面积焊补后应重新热处理。

4)船轴及联轴节锻件应经高温退火或正火并回火热处理,以消除内应力,并获得均匀细致的细晶粒组织。

5)锻件经粗加工后,应进行退火处理,消除内应力。

6)直接由钢锭制造锻件时,应遵照正确的锻打工艺程序。锻造比(锻打前后横截面积之比值,)在轴径部分应等于或大于 3;凸缘盘部分应等于或大于 1.5。

表 6.2.3—12 **凸缘联轴节尺寸表** (mm)

零件 / 尺寸 / 中间轴径 D	凸缘盘						螺栓			
	外径	节径	厚度	凹孔直径	凹孔深度	半径	配合直径	只数	螺纹直径	鱼眼坑
	D_1	D_2	b	D_3	b_1	R	d	n	d_1	d_2
40	90	62	14	35	3	5	13	4	M12	21.9
(45)	100	74	16	40	3	6	15	4	M14	25.4
50	110	82	18	45	3	7	17	4	M16	27.7
(55)	125	92	20	50	3	7	19	4	M18	31.2
60	130	98	20	50	3	8	19	4	M18	31.2
(65)	135	102	20	50	4	9	19	6	M18	31.2
70	140	108	20	60	4	9	19	6	M18	31.2
(75)	148	115	20	60	4	10	19	6	M18	31.2
80	160	124	22	70	5	10	21	6	M20	34.6
(85)	170	130	24	70	5	12	23	6	M22	36.9
90	175	135	24	70	5	12	23	6	M22	36.9
100	195	142	26	80	5	14	26	6	M24	41.6
110	220	170	30	90	5	16	28	6	M27	47.3
120	240	185	35	100	5	16	32	6	M30	53.1
130	270	205	40	110	5	18	38	6	M36	63.5
140	280	215	40	110	8	18	38	6	M36	63.5
150	290	225	40	120	8	20	38	6	M36	63.5
160	325	250	45	130	8	20	44	6	M42	75

续上表

中间轴径D \ 尺寸 \ 零件	凸缘盘						螺栓			
	外径	节径	厚度	凹孔直径	凹孔深度	半径	配合直径	只数	螺纹直径	鱼眼坑
	D_1	D_2	b	D_3	b_1	R	d	n	d_1	d_2
170	335	260	45	140	8	22	44	6	M42	75
180	345	270	45	140	8	24	44	8	M42	75
190	355	280	45	150	8	24	44	8	M42	75
200	375	300	45	160	8	25	44	8	M42	75
210	405	315	55	170	8	28	50	8	M48	86.5
220	415	325	55	170	8	28	50	8	M48	86.5
(230)	440	350	55	180	8	30	50	8	M48	86.5
240	465	365	60	190	8	30	58	8	M56	101
250	480	375	60	190	10	35	58	8	M56	101
260	490	385	60	200	10	35	58	8	M56	101
(270)	530	410	70	220	10	35	66	8	M64	116
280	540	420	70	220	10	35	66	8	M64	116
(290)	550	430	70	220	10	40	66	8	M64	116
300	560	445	70	240	10	40	60	8	M64	116
320	600	475	80	240	10	40	75	8	M72×6	130
340	640	505	80	260	10	45	75	8	M72×6	130
360	660	525	80	260	10	45	75	10	M72×6	130
380	700	555	85	280	10	50	80	10	M76×6	137
400	720	580	85	300	10	50	80	10	M76×6	137
420	770	610	90	320	10	55	88	10	M85×6	153
440	790	635	90	320	10	55	88	10	M85×6	153
450	820	655	90	340	10	60	95	10	M90×6	162
460	830	665	90	340	10	60	95	10	M90×6	162
480	870	695	105	360	10	60	100	10	M95×6	171
500	890	715	105	380	10	65	100	10	M95×6	171
520	930	750	110	380	10	65	105	10	M100×6	180
(530)	950	770	110	400	10	70	105	10	M100×6	180
540	970	780	115	400	10	70	110	10	M105×6	189
560	1020	810	120	420	10	70	115	10	M110×6	198
580	1050	850	120	440	10	75	115	10	M110×6	198
600	1070	860	125	440	10	75	120	10	M115×6	207

图 6.2.3—18 为焊接凸缘联轴节焊接结构尺寸图，是规范里推荐的两种焊接结构。

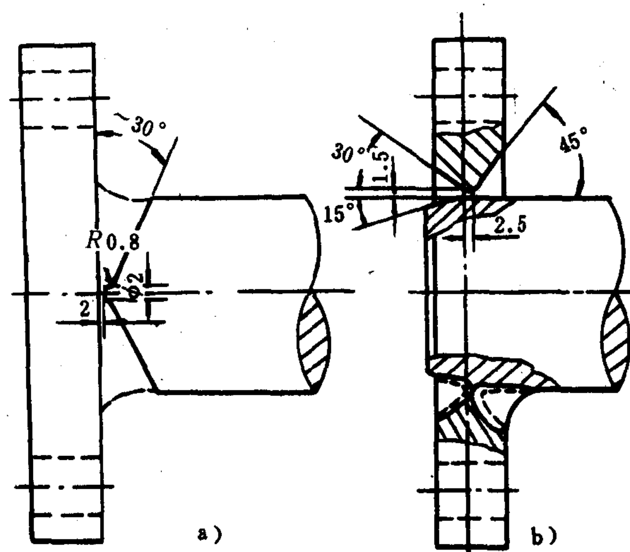


图 6.2.3—18　焊接凸缘联轴节焊接结构尺寸图

在下述两种情况下采用焊接凸缘联轴节：1)轴材采用热轧钢，不需锻打时；2)制造厂不具备应有的锻打条件时。因此，焊接凸缘联轴节常用于中小功率的船舶轴系上。

凸缘盘材质与轴相同。焊剂与焊丝的配合应根据母材的机械性能选定。

图 6.2.3—18a)为凸缘盘毛坯不需加工，凸缘盘单面烧焊。

图 6.2.3—18b)为凸缘盘与轴端都需加工，凸缘盘双面烧焊。

焊接工艺要求有：

1)凸缘盘与轴端区(一倍半轴径的长度内)在焊接前应进行预热，焊接中严格注意保温，在焊接后采用缓冷措施，降低焊接处的冷却速度。

2)焊后必须进行整体或局部退火。局部退火时，加热区同上述，以消除内应力。

3)焊缝应进行探伤检查内部质量。

结构尺寸与“船规”计算

整锻的或焊接的凸缘联轴节在加工后，结构尺寸必须满足“船规”要求或通过“船规”计算公式选用，见图 6.2.3—44。

1)凸缘盘厚度 b 等于或大于 25%轴径 Dz；焊接凸缘盘厚度 b 等于或大于 30%。

2)圆角半径 R 应等于或大于该轴直径的 12%。

3)联轴节螺栓直径应等于或大于下式计算所得之值。

$$d=0.545\sqrt{\frac{D_Z^3}{n\cdot r_2}}\quad \text{m} \qquad (6.2.3\text{—}7)$$

式中：d ——螺栓直径，m；

n ——螺栓数目，个；

r_2——轴中心到螺栓中心的距离 $r_z=\frac{D_2}{2}$，m；

D_2——螺栓节圆直径，m；

D_z——中间轴直径，m。

4)联轴节螺栓的紧配螺栓数目应等于或大于 50%的螺栓数 n。

5)联轴节若经过拆卸修理加工，则要求：

(1)螺栓中心至凸缘盘外边的距离 e 应等于或大于$\frac{4}{5}d$；

(2)凸缘盘厚度 b 应等于或大于 20%D_Z；

(3)紧配螺栓数目应等于或大于 50%n。

其它结构尺寸，一般推荐如下比例数：

$$D_2=(1.35\sim1.50)D_Z \tag{6.2.3—8}$$

$$D_1=(1.35\sim1.90)D_Z \tag{6.2.3—9}$$

$$d=(0.17\sim0.25)D_Z \tag{6.2.3—10}$$

定位圆孔 D_3 是为了保证轴系中心对中的高精度要求。有二种做法：

1)一对都是定位圆凹孔，中间置一个定位圆环，但使用得少；

2)制成一凸一凹的定位圆，通常轴首为凹孔，轴尾为凸圆。

有定位圆的轴系在装拆时必须有轴向位移的条件。

"船规"计算螺栓直径公式：

螺栓抗剪强度

$$M_b=\left(\frac{\pi d^2}{4}\right)nr_2[t_b]\ N\cdot m \tag{6.2.3—11}$$

式中：$[t_b]$——螺栓抗剪许用应力，一般取 4.5MPa；

n ——螺栓个数；

d ——螺栓直径；

r_2——轴中心到螺栓中心的距离。

轴允许传递扭矩，即轴的抗扭强度

$$M_{cp}=(\frac{\pi D_z{}^2}{4}[t_{cp}]N\cdot m \tag{6.22.3—12}$$

式中：$[t_{cp}]$——中间轴抗扭许用应力，取 5.4MPa；

D_z——中间轴直径，m。

螺栓直径

$$d=0.545\sqrt{\frac{D_z{}^2m}{nr_2}} \tag{6.2.3—13}$$

凸缘联轴节失效原因：

1)螺栓剪断；

2)螺栓扭断；

3)螺栓受锁紧力后拉断；

4)螺栓受螺旋桨后退力拉断；

5)螺栓弯曲断裂；

6)凸缘盘环圈剪断。

螺栓预紧力 p_0 为：

$$p_0=\frac{4KM}{D_2nf}\ N \tag{6.2.3—14}$$

式中：K ——工作情况系数，取 3～4；

M ——轴传递的额定扭矩，N·m；

f ——摩擦系数，取 f=0.15；

n ——螺栓个数；

D_2——螺栓节圆直径，m。

凸缘联轴节的加工技术要求：

1）船轴凸缘盘径向及端面跳动量应小于表 6.2.3—13 的规定值。

表 6.2.3—13 凸缘盘径向及端面跳动量 (mm)

凸缘盘外径(D_1)	加工后径向及端面跳动量	径向极限跳动量	端面极限跳动量
<120	0.02	0.10	0.05
120～180	0.03	0.12	0.06
180～260	0.03	0.14	0.07
260～360	0.04	0.16	0.08
360～500	0.05	0.18	0.09
500～700	0.05	0.20	0.10
>700	0.95	0.24	0.12

2）船轴凸缘盘定位圆凸肩的径向跳动量，不得超过表 6.2.3—13 中加工后径向跳动量的允许值。推力轴首凸缘盘端面跳动量不得超过 0.03mm。

3）船轴凸缘盘端面不得有凸度，只允许有 0.03～0.05mm 的凹度。

螺栓是凸缘联轴节传递扭矩的重要另件。螺栓结构形式有二种，如图 6.2.3—19 所示。

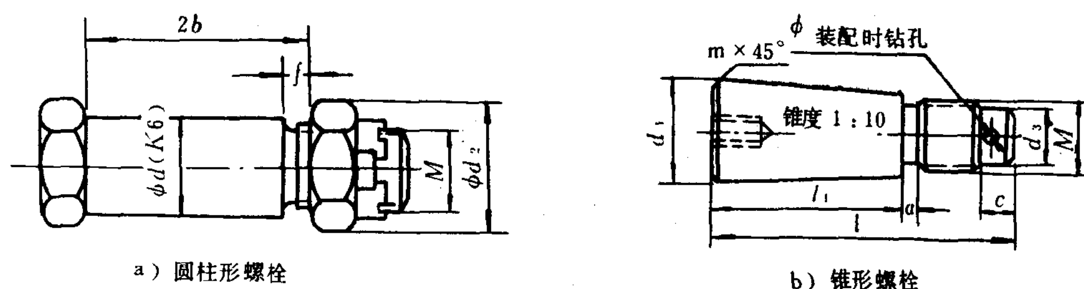


图 6.2.3—19 螺栓结构图

螺栓材料为 35 号优质碳素结构钢或合金钢。

螺母通常采用冕形螺母(GB58～76)和开口销(GB91—76)，以防松动。

螺栓的加工技术要求：

1）要求松紧螺栓的间隔排列相配。紧配螺栓与螺栓孔的配合加工精度应按表 6.2.3—14 规定。其圆柱度方向应为顺锥；

表 6.2.3—14 螺栓与螺栓孔的配合加工精度 (mm)

螺栓直径 d		<30	30～50	50～70	70～100
配合值		0～0.01	−0.0052+0.005	−0.015～0	−0.02～+0.005
螺孔螺栓	圆柱度	0.02	0.02	0.03	0.03
	圆　度	0.01	0.01	0.02	0.02
	不柱度	0.015	0.015	0.02	0.02
	圆　度	0.01	0.01	0.015	0.015

2）圆锥形螺栓应与螺孔均匀接触，接触面积在 75%以上，装配后螺栓大端不得埋入锥孔内。用 0.03mm 塞尺检查时，在锥孔大端局部可插入的深度不得超过 3mm；

3）对修理船舶螺栓杆体上不大的擦伤或刮痕，螺孔内表面少量的刮痕，允许修刮后继续使用；

4)连接螺孔加工时，应将成对的轴安放在合理支承上，见图 6.2.3-20，并使相配凸缘盘的偏移与曲折皆为零值，两凸缘盘紧密拉平，接触后进行铰镗螺孔；

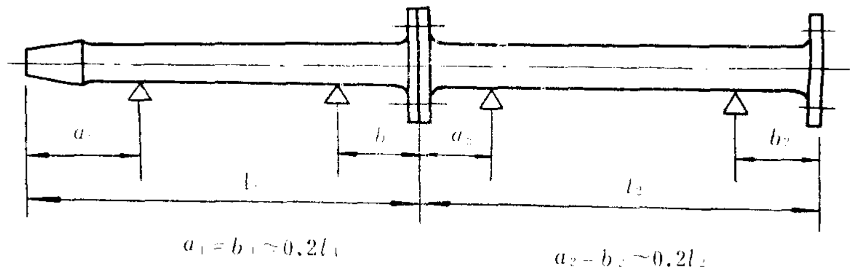


图 6.2.3-20 轴系凸缘盘铰孔支承布置图

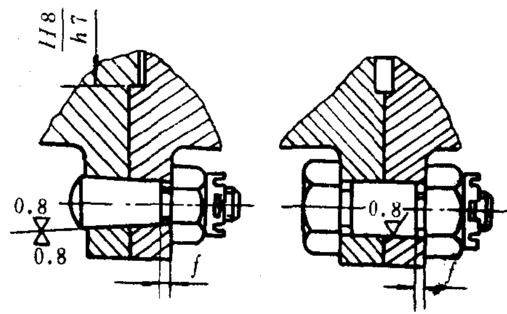


图 6.2.3-21 轴端凸缘盘与连接螺栓

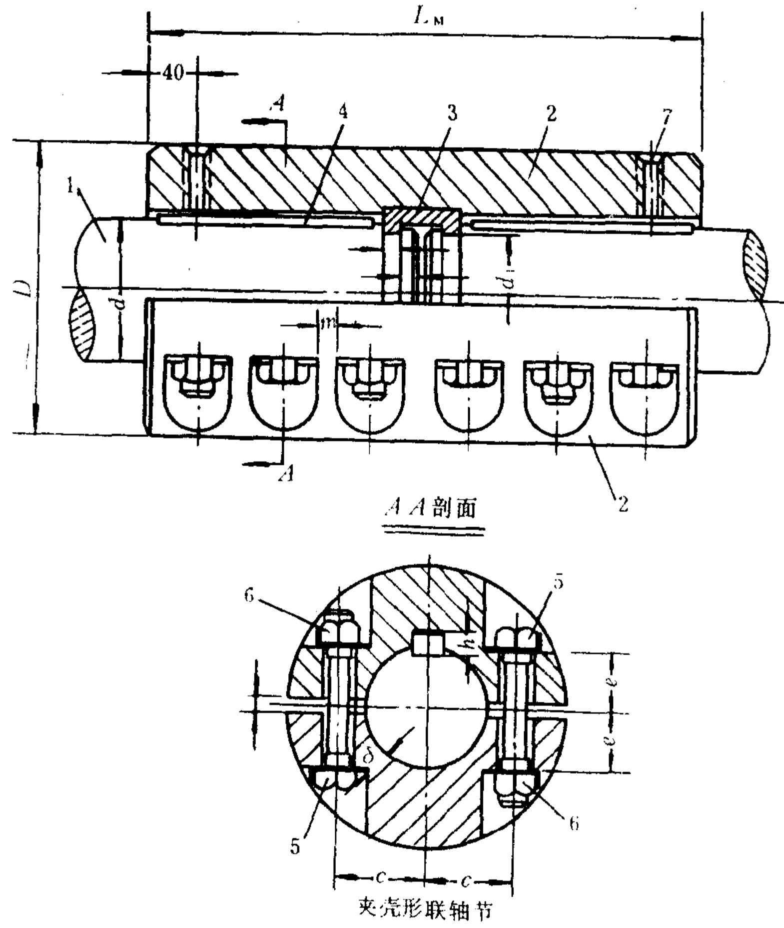


图 6.2.3-22 可拆联轴节结构图

5）新制螺栓装配后的拧紧余量 f=6～12ι m，见图 6.2.3—21 所示。螺栓与螺孔装配后，螺栓头或螺母的支撑面与凸缘盘之间应紧密接触，在 75%周长上应插不进 0.05mm 塞尺。并应采用双螺母或冕形螺母等防松装置，以免松动；

6）绝大多数情况下，螺栓从船尾方向向首方向装入螺孔里。

3.3.2 可拆联轴节

尾管里的尾轴要求从尾部舷外抽出，或在轴上须安装滚动轴承等套入式机件时，联轴节就必须制成可拆式。其结构及其尺寸见图 6.2.3—22 所示。其结构参数见表 6.2.3—15。但是应经规范公式计算和必要的强度校核。材料应不低于轴材料的机械性能，常用 35 号锻钢或铸钢 ZG30、ZG35。

表 6.2.3—15　　**可拆联轴节结构尺寸图**　mm

尺寸 / 中间轴径D	直径				长度					螺栓键			
	A	B	C	D_1	L	L_1	L_2	H	F	d	d_1	n	b
40	125	50	94	65	116	49	72	19	15	M12	26	4	12
45	132	56	102	75	130	55	82	22	15	M12	26	4	12
50	138	62	108	82	140	61	90	24	15	M12	26	4	14
55	150	70	118	92	158	67	100	28	18	M14	28	4	16
60	158	75	125	98	168	73	109	28	18	M14	28	6	18
65	165	82	132	108	180	80	118	34	18	M14	28	6	18
70	182	88	145	116	192	85	127	36	18	M16	32	6	20
75	190	94	152	125	204	92	136	38	20	M16	32	6	20
80	210	100	165	132	218	98	145	42	20	M18	38	6	20
85	220	106	175	140	226	104	152	45	22	M20	38	6	24
90	226	112	182	148	238	110	166	45	22	M20	38	6	24
100	250	125	202	165	252	122	178	48	25	M22	42	6	28
110	264	138	216	182	274	134	192	55	30	M24	42	6	28
120	295	150	240	198	305	146	216	58	30	M27	48	6	32
130	318	162	258	215	322	160	228	64	32	M30	54	6	36
140	335	175	275	230	348	172	248	68	40	M30	54	6	36
150	368	188	298	248	362	183	257	72	40	M36	64	6	40
160	385	200	314	264	382	195	275	76	45	M36	64	6	40
170	398	212	328	280	400	208	288	78	45	M36	64	6	40
180	438	225	355	298	428	220	312	80	45	M42	77	6	40
190	452	238	370	314	444	232	326	82	48	M42	77	6	45
200	472	250	388	330	464	244	342	85	50	M42	77	8	45
210	488	262	402	346	484	256	356	92	52	M42	77	8	45
220	502	275	418	362	508	268	372	100	55	M42	77	8	50
230	538	288	442	380	524	280	386	102	58	M48	88	8	50
240	555	300	460	396	552	293	402	105	60	M48	88	8	50
250	570	312	474	412	575	305	419	110	62	M48	88	8	50

续上表

尺寸 / 中间轴径D	直径				长度					螺栓键			
	A	B	C	D_1	L	L_1	L_2	H	F	d	d_1	n	b
260	608	325	500	430	592	318	433	115	65	M56	102	8	60
270	628	338	518	445	615	330	452	118	68	M56	102	8	60
280	642	350	532	462	638	342	473	120	70	M56	102	8	60
290	655	362	545	480	656	354	486	120	72	M56	102	8	60
300	702	375	578	495	675	366	503	125	75	M64	118	8	70

可拆联轴节装在轴端后，应有防松装置。

与轴联接的键的强度应校核。键尺寸按照锥轴的平均直径，从普通平键标准GB1096中选取。主要核算键的压碎应力。其公式：

$$\sigma_e=\frac{28.6\times10^4P}{D_PLh_Zn}\leqslant0.5\sigma_s \qquad \text{MPa} \qquad (6.2.3-15)$$

式中：P——传递额定功率，kW；

n——传递额定转速，r/min；

D——轴锥体的平均直径，m；

L——键的工作长度，可取75%总长，m；

h——键的工作高度，m；

Z——键的数量，一般取1～2只；

σ_s——键材料的屈服强度，MPa。

可拆联轴节加工技术要求：

1)联轴节凸缘盘外表面的精加工，应在锥孔刮配后套装到轴上进行。其光洁度和加工技术要求与整锻凸缘联轴节相同。

2)键槽加工的宽度、高度与轴线平行度都与轴键槽加工要求相同，以最终与轴键一起相配质量为验收标准。

可拆联轴节装配技术要求：

1)联轴节锥孔与轴锥体的表面光洁度0.4▽，其接触应良好，接触面积在75%以上，且每25×25mm² 面积内，不得少于三个接触点。塞尺检查锥体大端时，0.03mm塞片插入深度不超过3mm。接触面上允许存在1～2处面积不大的空白区，总面积小于锥体表面15%，最大长度或宽度不应超过该处锥体直径的1/10，且不得分布在同一母线或圆周线上；

2)键及键槽工作面的表面粗糙度为0.8▽，两侧的接触面积不少于75%，与联轴节键槽相配时有75%长度上应插不进0.05mm塞尺，其余部分应插不进0.10mm塞尺。平键与轴键槽底应不少于30%～40%的接触面；

3)螺栓装配技术要求见凸缘联轴节螺栓部分相同；

4)联轴节紧固螺母装妥后(轴端)，接合面的90%周长上应插不进0.05mm塞尺，其接触面积不少于75%，并有可靠的防松装置。

3.3.3 夹壳形联轴节

夹壳形联轴节是固定式刚性联轴节之一。其结构见图6.2.3—23。

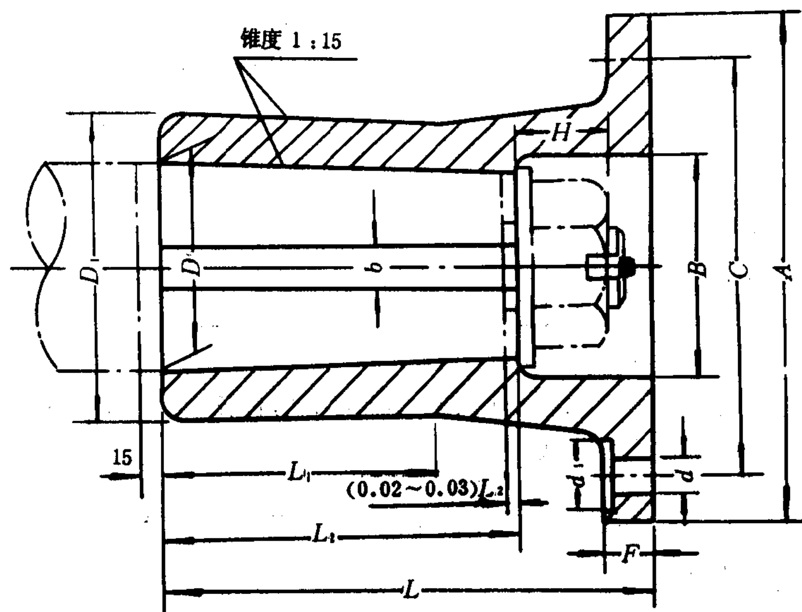


图 6.2.3 23 夹壳形联轴节

夹壳形联轴节的横截面尺寸比凸缘联轴节小，轴向长度大，自重为凸缘联轴节的1.5～2.0倍。一般用于中小功率的船舶轴系上。

夹壳联轴节的优点是装拆容易。拆卸时不需要将轴作轴向移动，径向间隙小，对中心好。

材质用铸钢 ZG30、ZG35 或锻钢 35 号。

夹壳形联轴节的结构尺寸比值推荐如下

联轴节总长度　　$L_M=(3.0\sim4.0)d$

夹壳外直径　　$D=(1.8\sim2.0)d$

两半夹壳间的间隙　　$n=(0.025\sim0.050)d$

夹壳最小厚度值　　$\delta=0.125d$

推力环宽度　　$b=(0.12\sim0.15)d$

推力环槽直径　　$d_1=d-b$

螺栓数目　　Z =12 只

螺栓与轴中心距　　$C=0.4d+1.5d$。

螺栓之间筋的厚度　　$m=\frac{2}{3}d$。

键可采用 1～2 只，键尺寸按轴径 d 根据 GB1095—79 国标选用。

夹壳形联轴节强度校核步骤：

1)不考虑键的作用，按摩擦力传递扭矩，计算螺栓的锁紧力。锁紧力 Q 值计算公式：

$$Q=\frac{2KM_k}{C\cdot Z\cdot f} \qquad (6.2.3-16a)$$

式中：M_k ——轴传递的额定扭矩，N·m；

C ——螺栓与轴的中心距，m；

Z ——螺栓数目，一般取 12 只；

f ——摩擦系数，钢对钢，干式静摩擦，

取 f=0.15；

K ——工作情况系数，取 K=3～4。

2）螺栓拉应力：

$$\sigma=\frac{p}{\frac{\pi}{4}d_o^2}\leqslant[\sigma]\ MPa \qquad (6.2.3—16b)$$

式中：P ——作用在每只螺栓上的力，N；若按预紧力计算，则 P=QN；若按传递扭矩计算，则 $P=\frac{2M_k}{C\cdot Z}N$；

[σ] ——螺栓材料的许用应力，MPa；$[\sigma]\leqslant0.5\sigma_s$

σ_s 为材料屈服强度，MPa；

其它符号同上。

3）推力环应力：船舶前进或后退的推力，由二个推力环半体承受。

（1）压碎重力

$$\sigma_y=\frac{T}{\frac{\pi}{4}(d^2-d_1^2)}\leqslant[\sigma_Y]MPa \qquad (6.2.3—17)$$

（2）剪切应力

$$\tau=\frac{T}{\pi\left(\frac{d+d_1}{2}\right)b}\leqslant[\tau]MPa \qquad (6.2.3—18)$$

式中：T ——螺旋桨的最大推力，N；

$[\sigma_y]$ ——轴或环材料的许用压碎应力，

$$[\sigma_Y]\leqslant0.5\sigma_s \qquad MPa$$

[τ] ——轴或环材料的许用剪切应力，

$$[\tau]\leqslant(0.25\sim0.50)\sigma_s \qquad MPa$$

其它符号同上。

4）键的压碎应力计算时不考虑轴壳间静配合传递扭矩，而是承受全部扭矩，计算公式见（4.2.3—15）。

夹壳形联轴节加工技术要求：

1）壳体内圆的圆度和圆柱度不应大于表 6.2.3—16 数值规定，但夹壳长度每超出轴径一倍时，不柱度允许增加 0.01mm。其内圆直径应较轴径大 0.04～0.08mm；

表 6.2.3—16 **夹壳形内圆的圆度和圆柱度的要求** (mm)

内孔直径 d	<80	80—180	180—260	260—360	360—500
圆度圆柱度	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05

2）两半壳体的内圆表面粗糙度不低于 3.2▽；

3）键的装配质量见 3.2.2 章节中有关内容；

4）推力环内圆与轴槽应紧密配合，接触面积在 60%以上，两侧面与轴槽或壳槽配合应插不进 0.05mm 塞尺。装配后两半环剖面应接触齐平，推力环外圆与夹壳内孔之间允许有 0.20

～0.40mm 间隙。

3.3.4 液压联轴节

常用液压联轴节有液压套筒联轴节和液压法兰联轴节两种。图 6.2.3—24 是液压套筒联轴节典型结构图。

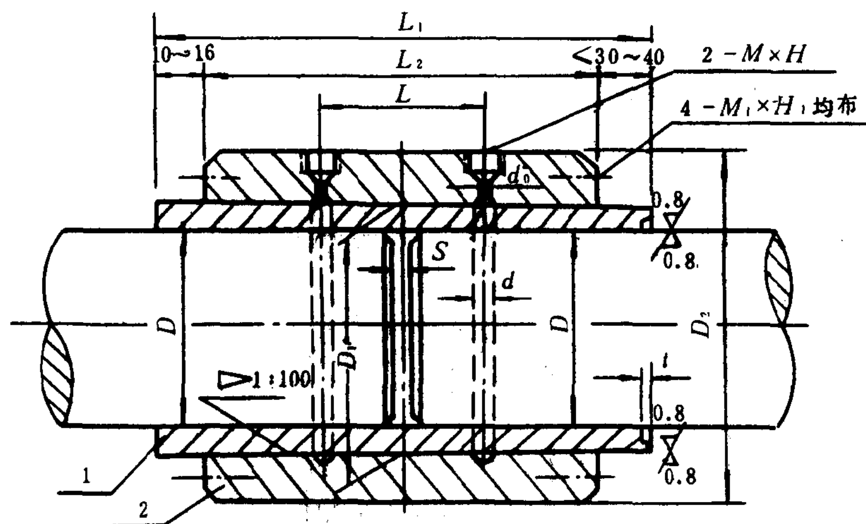


图 6.2.3—24 液压套筒联轴节典型结构图

图中件 1 内套，其内孔与轴配套，为便于装入，在自由状态时往往做成间隙配合，按装后形成过盈配合。件 2 外套，其内孔与内套外圆配装，它们的配合接触圆面是锥形体，常采用锥度 K＝1∶100（或 K＝1∶80）。安装时，外套从首方向套入内套外圆。外套内锥体表面开二条压力油的油槽，其宽度 d，深度以 $\frac{1}{2}$d 为半径的半圆孔。在外套外表面上加工二个进油孔 d_0，螺孔 M 深 H，二孔相距 L，一般 L＝$\frac{1}{3}L_2$。外套两端面在圆周面上各均布加工 4 个螺孔 M_1 深 H_1，用于装拆。外套长度 L_2＝(1.8～2.1)D；内套平均外径 D_1＝(1.05～1.10)D；进油螺孔常选用 1M20×1.5，深 H＝30。该典型结构常用于轴径 D＝100～500，D 值愈大，L_2 与 D_1 采用低比例值。当 D＜100 时，进油螺孔与油槽采用一条，设计在外套长度的中间位置。

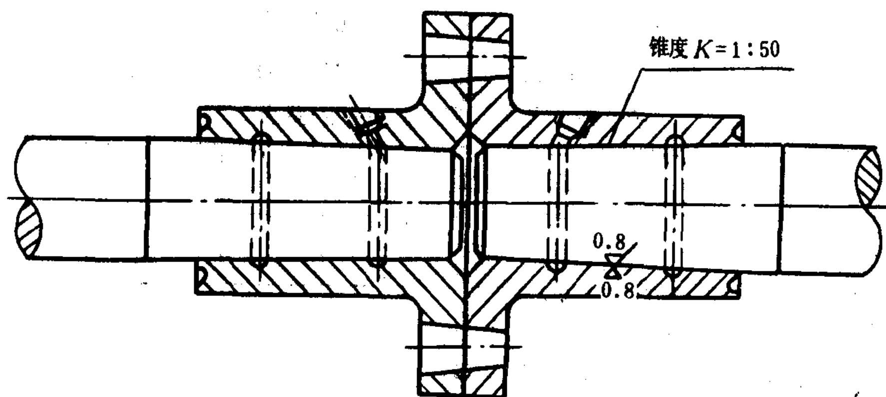


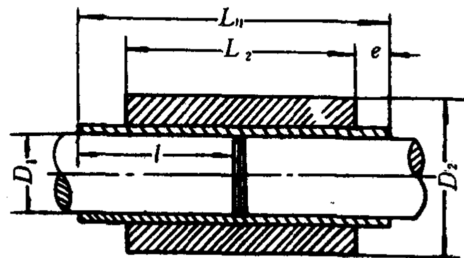
图 6.2.3—25 液压法兰联轴节结构图

在安装时，根据计算的高压油通过进油螺孔引入油槽内，充满在外套与内套之间，使外套内外径扩大，内套内外径收缩，利用外套尾端面 4 个螺孔，装上拉杆，拉外套徐徐向尾移动(也可在外套首端面加上轴向推力)，到达设计位置时，放掉压力油，由于材料的弹性变形，使外套紧配内套，内套也紧配轴，都达到过盈配合的目的。

装配前，应先将内外套接触的锥体表面用丙酮或汽油清洗干净，然后涂上一薄层油，减少移动时摩擦阻力，使安装时轴向推力或拉力降低。

图 6.2.3—25 为液压法兰联轴节结构图。凸缘部分尺寸与技术要术跟常用的凸缘联轴节相同。在与轴相配的形式上采用液压安装工艺。常常把轴端加工成锥形体，其锥度 K＝1∶50 (或 K＝1∶30)，用高压油把联轴节装在轴上。按装方法同上述。假使采用内套，则轴不需加工成锥形体，而在内套外圆上采用锥形体。该联轴节一般用于 D≤200。以上二种型式的结构参数，见表 6.2.3—17 和表 6.2.3—18。

表 6.2.3—17 **液压套筒联轴节结构参数**



D mm	D2 mm	L2 mm	L1 mm	l mm	e mm	δ+λ mm	G kg
20	45	40	50	25	5	0.02	0.4
40	70	80	93	48	5	0.08	1.6
60	105	120	135	70	5	0.10	5.5
80	135	160	190	103	7	0.14	12
100	170	200	240	132	8	0.16	23
150	250	300	350	188	12	0.23	74
200	330	400	520	285	35	0.32	170
250	400	500	630	340	40	0.40	300
300	480	600	760	410	50	0.47	520
400	640	800	990	530	60	0.60	1240
500	800	1000	1220	650	65	0.73	2400

注：1. 两轴间轴向间隙 S：

D≤100 时，S＝1mm，

D>100 时，S＝0.01Dmm。

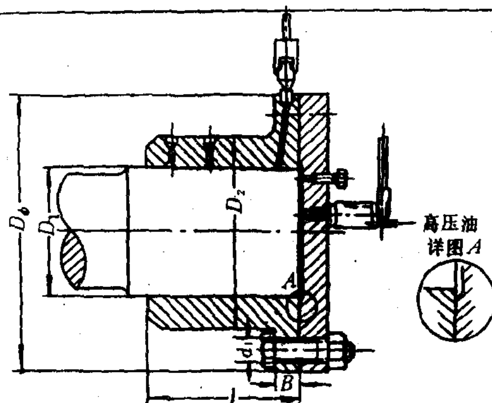
2. 内套两端凹槽尺寸：

2.0≤D≤90 时，5×5mm

100≤D≤560 时，10×10mm

3. 当 D<60 时，锥度 K＝1∶50。

表 6.2.3—18　　液压法兰联轴节结构参数



D mm	D_Φ mm	D_2 mm	l mm	B mm	d_1 mm	n 螺孔数	G kg
100	220	145	115	22	20	8	1
150	330	220	170	34	31	8	38
200	425	290	230	40	37	10	83
300	630	440	340	56	54	12	280
400	810	580	460	66	62	15	610
500	990	720	570	78	74	15	1120
600	1190	870	690	92	78	15	1990

注：当采用液压时，轴锥度 K＝1∶50。

安装所选用的压力油品种与操作环境温度有关，当温度低于 15℃ 时可用 20 号机械油(HJ20)或 3 号锭子油(HJ3)；当温度大于或等于 15℃ 或使用上述油类在操作中发现漏油时，则采用 HH20 号航空润滑油。

材料与技术要求：

1)外套材料 $40C_r$ 或 GC_r15，硬度 HB＝275～350。

(1)外圆圆柱度每 100mm 长不大于 0.01mm；

(2)外圆与内圆的圆度不大于二级公差之半；

(3)内外圆同轴度不大于 0.025mm。

2)内套材料 40 号钢，硬度 HB＝240～300。

(1)内圆与轴颈配合$\frac{H_7}{h_6}$；

(2)外圆与外套内圆的配合要求接触面积不少于 90%，且每 $25\times25mm^2$ 面积内具有 4～6 油点斑；

(3)内外圆同轴度不大于 0.02mm；

(4)刮配合后，内套大端伸出外套的距离应大于计算值。

3)锻件应作高温退火处理，粗加工后应作调质外理。

4)液压联轴节拆装所用油泵及螺塞应彻底清洁干净，所用油应仔细过滤，各接触面不允许有污粒或刮痕。

5)配合面粗糙度不低于0.8。

拆装设备与工具

1)手动高压油泵一只，压力可达 156.9MPa，供油给内外套接触面间；

2)外套轴向移动装置，可用拉式也可用推式。拉则利用外套尾端面4只螺孔并配备拉条等工具；推则采用轴向液压千斤顶，在外套首端面顶推，其油泵压力为49MPa；

3)高压油泵用的高压油管两套，长度按现场决定；

4)压力表按所需油压值配齐；

5)外套轴向位移测量仪表，如指针千分表等均配齐。

安装表面的粗糙度平均高度 R_Z 见表6.2.3—19。

表6.2.3—19　**粗糙度平均高度 R_Z 值**

表面粗糙度级别(▽)	3.2▽	1.6▽	0.8▽	0.4▽	0.2▽	0.1▽	0.05▽	0.025▽
R_Z 值(mm)	0.0200	0.0100	0.0063	0.0032	0.0016	0.0008	0.0004	0.0002

3.4　弹性联轴节

弹性元件有金属弹性元件和非金属弹性元件。

金属弹性元件：强度高，传递载荷能力大，使用寿命长，受温度影响小，但成本较高。常用材料为高强度的弹性钢，如60Si2Mn和50CrVA等。

非金属弹性元件：橡胶弹性元件，弹性模量变化范围大，具有内摩擦大；重量轻，阻尼性能好、无机械摩擦与滑动等优点。但橡胶强度低、易蠕变、耐油耐热性差，振动剧烈时要注意温升。

3.4.1　卷簧弹性联轴节

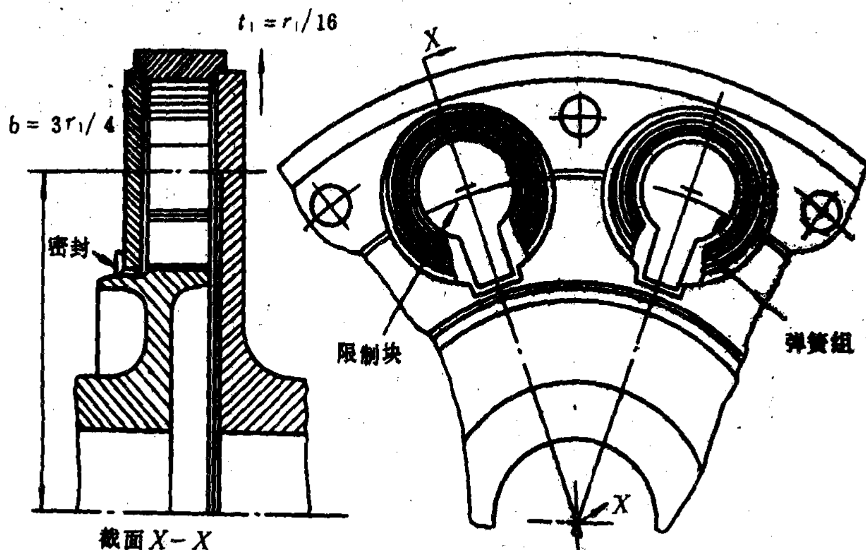


图6.2.3—26　卷簧弹性联轴节结构图

卷簧联轴节由内外构件和均布在内外构件之间的沿圆周分布的卷簧组件构成，见图6.2.3—26。每组卷簧组件是由若干个用弹簧钢板制成的开口卷簧组成。卷簧组件中各片厚度不同，由外向内逐渐减薄，这样可使每片弹簧承受的弯曲应力基本相同。卷簧压缩时所产生的最大弯曲力矩和最大变形由限制块限制。当卷簧围绕限制块弯曲时，卷簧的有效长度变短，故其扭转变形曲线是非线性的。当联轴节内外构件作相对运动时，由于卷簧组件中各片卷簧之间

的摩擦和滑油的流动阻尼作用，使该联轴节具有相当大的阻尼特性。允许径间不对中偏差可达1.524mm，角度偏差2°，轴向位移3.05mm。

3.4.2 簧片式弹性联轴节

簧片式弹性联轴节又称盖斯林格联轴节，是由带沟槽的内轴、簧片、中间块、锥形环、压紧环及两块侧板等元件构成，簧片的外端被中间夹住，并由锥形环靠压紧的压力而紧固，簧片的内端则自由地伸至轴槽中，工作时内轴的扭矩通过轴槽传至簧片顶端，经簧片传至外构件，或者相反。在两侧板的锥形环之间构成一个密闭的空腔，里面充满滑油。除了对簧片起润滑作用外，还起着阻尼的功能。工作时簧片弯曲变形，使簧片前面空腔中的液体（即滑油）受到挤压，其中滑油经侧板间隙挤入相邻空腔，当扭转时簧片前后弯曲、滑油不断地通过缝隙来回流动，这就把扭矩变动的能量变成了滑油流阻损失而消耗了，从而起到阻尼减振的作用。其主要结构见图6.2.3—27，表6.2.3—20为簧片联轴节的主要性能参数。

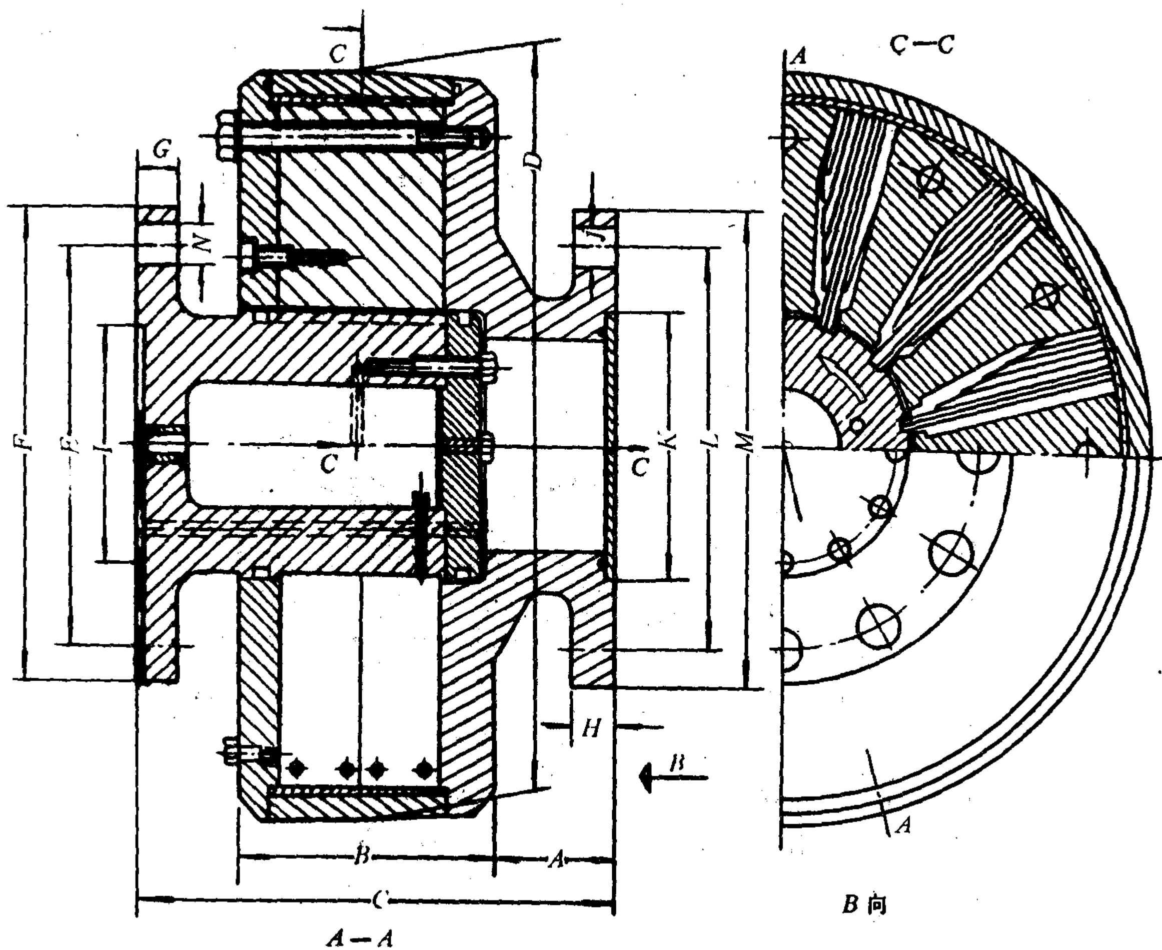


图6.2.3—27 簧片式弹性联轴节

选用原则：

1）根据装置可否反转，选用单向承载或双向承载联轴节；

2）根据柴油机额定功率和转速算出柴油机平均扭矩M_0，由柴油机的缸数选定载荷系数K

表 6.2.3—20　　**簧片式联轴节性能参数表**

型　号	最大有效扭矩 Md 时扭角α°	最大有效扭矩 Md (N·m)	最大许用转速 (r/min)	扭转刚度 Md/a (N·m/rad)	用于法兰轴连接	
					许用径向位移 (mm)	许用轴向位移 (mm)
41/2.5/13	3.4°	4020	3,600	0.67×10^5	0.45	±1.5
41/5/13	3.4°	8040	3,600	1.35×10^5	0.45	±1.5
41/7.5/13	3.4°	1,2060	3,600	2.02×10^5	0.45	±1.5
48/7.5/13	3.4°	1,6530	3,100	2.77×10^5	0.50	±2.0
48/10/13	3.4°	2,2040	3,100	3.70×10^5	0.50	±2.0
56/10/13	3.4°	3,0000	2,600	5.03×10^5	0.55	±2.5
56/12.5/13	3.4°	3,7510	2,600	6.29×10^5	0.55	±2.5
56/15/13	3.4°	4,5010	2,600	7.55×10^5	0.55	±2.5
56/17.5/13	3.4°	5,2520	2,600	8.80×10^5	0.55	±2.5
72/12.5/13	3.4°	6,2000	2,000	10.40×10^5	0.60	±3.0
72/15/13	3.4°	7,4400	2,000	12.50×10^5	0.60	±3.0
72/17.5/13	3.4°	8,6800	2,000	14.6×10^5	0.60	±3.0
72/20/13	3.4°	9,9200	2,000	16.6×10^5	0.60	±3.0
72/22.5/13	3.4°	11,1600	2,000	18.7×10^5	0.60	±3.0
90/12.5/13	3.4°	9,6880	1,600	16.3×10^5	0.70	±3.0
90/15/13	3.4°	11,6250	1,600	19.5×10^5	0.70	±3.0
90/20/13	3.4°	15,5000	1,600	26.0×10^5	0.70	±3.0
90/25/13	3.4°	19,3750	1,600	32.5×10^5	0.70	±3.0
100/20/13	3.4°	19,1360	1,450	32.1×10^5	0.70	±3.0
100/25/13	3.4°	23,9200	1,450	40.1×10^5	0.70	±3.0
100/30/13	3.4°	28,7040	1,450	48.1×10^5	0.70	±3.0
110/25/12	3.4°	28,9430	1,300	49.0×10^5	0.80	±4.0
110/30/13	3.4°	34,7310	1,300	58.0×10^5	0.80	±4.0
110/35/13	3.4°	40,5200	1,300	68.0×10^5	0.80	±4.0
125/30/13	3.4°	44,8500	1,100	75.0×10^5	0.85	±4.0
125/35/13	3.4°	52,3240	1,100	88.0×10^5	0.85	±4.0
140/30/13	3.4°	56,2590	1,050	94.0×10^5	0.90	±5.0
140/35/13	3.4°	65,6360	1,050	110.0×10^5	0.90	±5.0
140/40/13	3.4°	75,0120	1,050	126.0×10^5	0.90	±5.0
160/35/13	3.4°	85,7280	925	144.0×10^5	1.00	±5.0
160/40/13	3.4°	97,9750	925	164.0×10^5	1.00	±5.0
160/45/13	3.4°	110,2200	925	185.0×10^5	1.00	±5.0

表 6.2.3—21 **载荷系数**

柴油机驱动							电动机驱动
气缸数	1～2	3～5	6～7	8～10	12～14	16～20	
载荷系数	3	2	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2

(见表 6.2.3—21)。然后按计算扭矩 $M_k = KM_0$ 小于式等于联轴节额定扭矩 M_a 的要求选定联节型号。但在输出端或输入端扭矩变动大的情况下，则用下式求载荷系数(M'_{max}——瞬时最大扭矩)：

$$K = \frac{M'_{max}}{M_0} \quad (6.2.3\text{—}19)$$

联轴节簧片组工作时不仅承受静负荷，有时还承受动负荷和瞬时冲击负荷，许可负荷见表 6.2.3—22

表 6.2.3—22 **联轴节的许可负荷工况**

工 况	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
允许平均扭矩 M_0	$M_0 = M_d$	$M_0 = 1.3M_d$	$M_0 = 0$	$M_0 = 0$
允许变动扭矩 M_w	$M_w = 0.3m_d$	$M_w = 0$	$M_w = +0.6M_d$ (长期)	$M_w = 1.3M_d$ (瞬时)

3)进行扭矩验算经扭振计算，作用于联轴节上的弹性力矩 T_{el} 应小于联轴节允许的附加振动力矩$[M_w]$。

$$T_{el} = \frac{C_s}{C_d} = \frac{T}{\sqrt{1+x^2}} \quad (6.2.3\text{—}20)$$

$$[M_w] = \frac{[\sigma_w] \cdot b \cdot h_m^2 \cdot R \cdot Z \times i_m}{6l_m} \quad (6.2.3\text{—}21)$$

$$T_{el} < [M_w] \quad (6.2.3\text{—}22)$$

式中：C_s，C_d ——联轴节静刚度和动刚度；

T——扭振计算中作用于联轴节的总振动力矩；

x——阻尼值；

$[\sigma_w]$——材料许用动态应力，取$[\sigma_w] = 19.6 \times 10^5$Pa；

b——簧片宽度；

h_m——主簧片厚度；

l_m——主簧片阶段长；

R——花键轴半径；

Z——簧片组数；

i_m——主簧片数。

4)根据轴系的联接情况选择合适的外形结构形式。

3.4.3 压缩橡胶式弹性联轴节

压缩橡胶式弹性联轴节据橡胶件的形状尺寸可分为多种形式的联轴节。图 6.2.3—28 为橡胶圈柱销式弹性联轴节，图 6.2.3—29、图 6.2.3—30 为橡胶套柱销式和矩形橡胶块联轴节结构图。

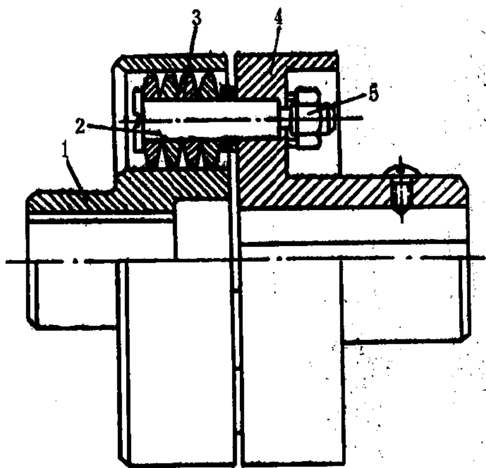


图 6.2.3—28　橡胶圈柱销式弹性联轴节结构图

1—从动轴；2—柱销；3—橡胶圈；4—主动轴；5—螺母

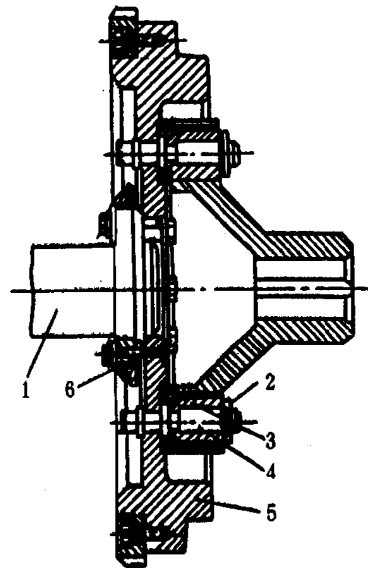


图 6.2.3—29　橡胶套柱销式弹性联轴节结构图

1—主动轴；2—垫圈；3—橡胶圈；4—柱销；5—从动轴；6—压板

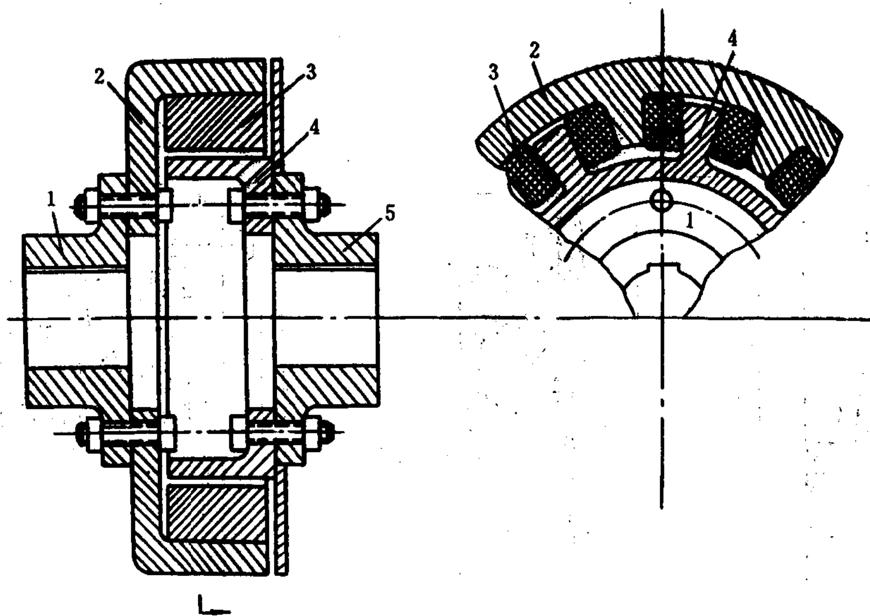


图 6.2.3—30　矩形橡胶块式联轴节

1—主动安装边；2—金属外环；3—橡胶块；4—金属内环；5—从动安装边

英国豪尔斯特公司生产具有压缩橡胶元件的弹性联轴节共有四种型号，其中 SB 和 RB 型用于较小功率的柴油机上。

3.4.4　轮胎式橡胶弹性联轴节

橡胶元件可制成轮胎状以承受扭转剪切力见图 6.2.3—31。

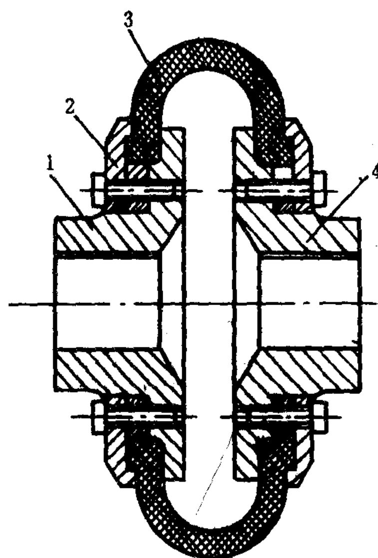


图 6.2.3—31　轮胎式橡胶联轴节

1—主动安装边；2—压紧环；3—橡胶环；4—从动安装边

3.4.5　圆盘式橡胶弹性联轴节

德国原斯托马格公司生产的圆盘式橡胶弹性联轴节具有 PS，PE 和 PD 三种系列见图 6.2.3—32。

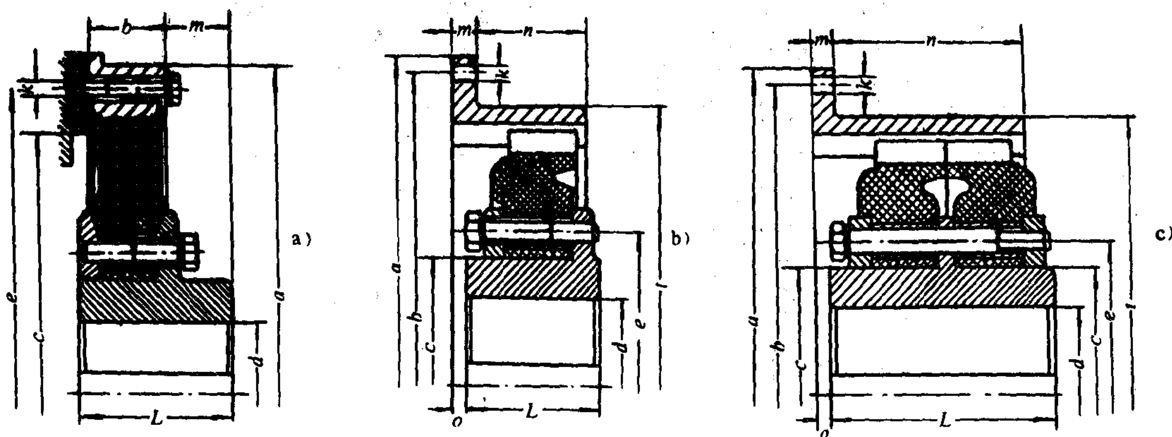
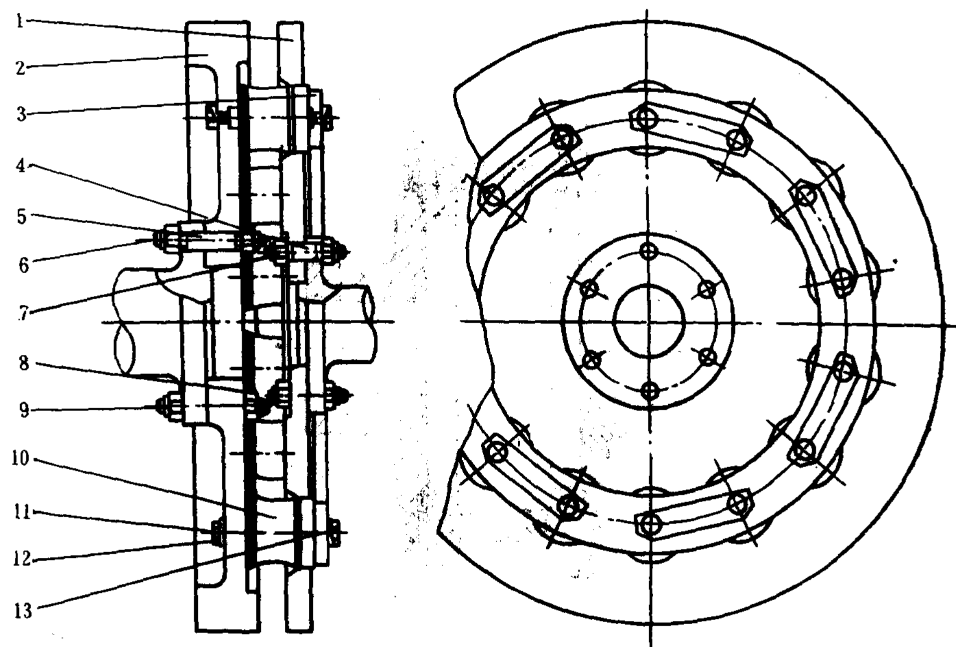


图 6.2.3—32　圆盘式橡胶联轴节结构图

a)PS 系列；b)PE 系列；c)PD 系列

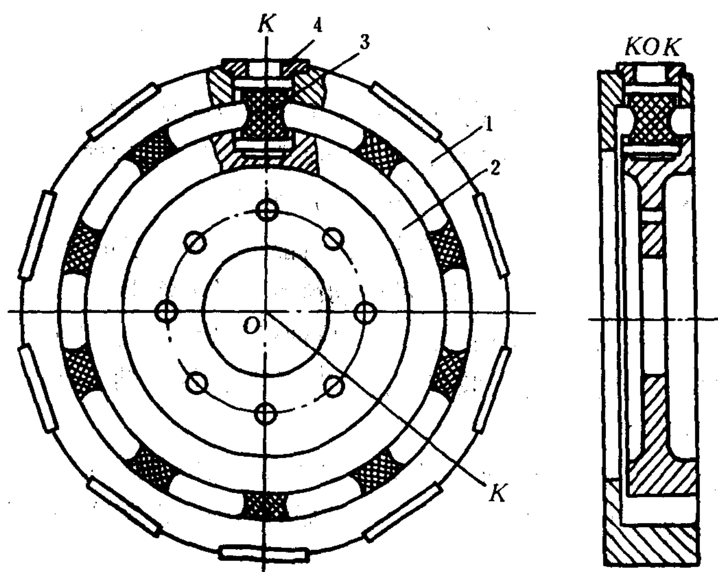
3.4.6　柱销式橡胶联轴节

日本大菱公司生产的柴油机用柱销式橡胶联轴节可传递扭矩为 8450N・m 见图 6.2.3—33。



a)日本大发公司柴油机用联轴节结构图

1—惯性盘；2—飞轮；3—橡胶配件板；4—铰制螺栓；5—铰制螺栓；6—螺母；7—螺母；8、9—开口销；10—橡胶件；11—螺栓；12—防松垫片；13—螺栓



b)径向柱销橡胶联轴节

1—金属外圈；2—金属内圈；3—柱销式橡胶元件；4—压板

图 6.2.3—33　柱销式橡胶联轴节

3.4.7 圆筒型橡胶联轴节

见图 6.2.3—34 圆筒型橡胶联轴节。

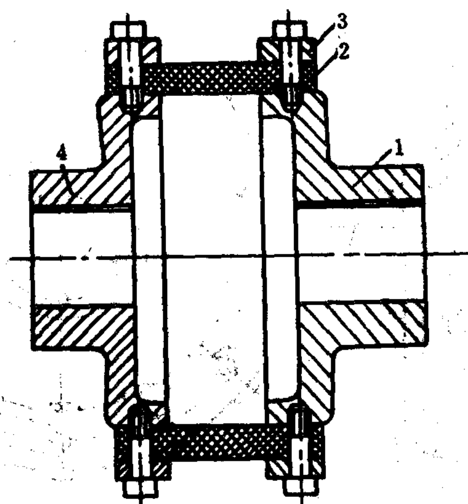


图 6.2.3—34 圆筒型橡胶联轴节

1—主动安装边；2—橡胶环；3—压紧环；4—从内安装边

3.4.8 伏尔康 RATO 型高弹性联轴节

联邦德国伏尔康(Vulkan)公司生产 RFAO 型高弹性联轴节是一种扭转弹性橡胶联轴节，它可以补偿轴线的径向位移，轴向位移和角度位移。用弹性元件来保证联轴节的扭矩传递，并能提供各种不同的扭转刚度和阻尼系数。

RTAO 型联轴节的系列参数见表 6.2.3—23a)，性能参数见表 6.2.3—23b)。

3.4.9 XL 高弹性橡胶联轴节

无锡船用减震器生产的 XL 型高弹性联轴节具有较大的扭转弹性(扭转角达 $\varphi=10\sim12°$)，有一定的滞后阻尼特性，刚度较小，减振性能好，结构简单，轴向尺寸短，重量轻和选用功率范围大，其主要参数见表 6.2.3—23c)。安装时应注意：

1)与联轴节输入凸缘盘相联接的部件应有尽可能大的转动惯量。

2)与联轴节输出凸缘盘相联接的部件的转动惯量应尽可能小。

3)轴系中有传动齿轮箱时，联轴节需安装在柴油机与齿轮箱之间。

4)与柴油机飞轮联接时，最好安装在飞轮输出短轴处，因短轴有轴承支承，这样不会影响柴油机最后一缸的曲柄拐挡差。

5)联轴节不宜承受螺旋桨轴向推力，只能安装在推力轴承前的适当位置上。

6)联轴节在安装和工作时，要注意紫外线、油脂，焊接火花，酸类物，有机溶剂等对橡胶元件的污染和接触。

表 4.2.3—24 中轴向、径向和角度位移系指使用时允许的位移值，而不是指联轴节安装时允许的轴向位移值。

表 6.2.3—23a)

RATO 联轴节系列参数

用途	图形	系列号 O.D①	系列号 m.D②	尺寸组	T_{KN} kNm	说明
用于飞轮或类似飞轮与轴的联接		2100	2101	1210 7040	3.15 630	短结构长度用内装轴毂 更换元件无须移动联接的机器
用于 SAE 飞轮 J620 与轴的联接		2110	2111	1210 1920	3.15 10.0	带 SAE 联接尺寸的过渡法兰时与系列 2100/2101 相同
用于飞轮或类似飞轮与轴的联接		2200	2201	1210 7040	3.15 630	外装轴毂 更换元件无须移动联接的机器
用于 SAE 飞轮 J620 与轴的联接		2210	2211	1210 1920	3.15 10.0	带 SAE 联接尺寸的过渡法兰时与系列 2200/2201 相同
用于飞轮或类似飞轮与法兰或法兰轴的联接		2300	2301	1210 7040	3.15 630	膜片内挡夹紧结构与法兰或法兰轴联接 更换元件无须移动联接的机器
用于二轴间的联接		2400	2401	1210 7040	3.15 630	轴毂一个内装,一个外装 更换元件无须移动联接的机器

① O.D=不带扭转限位装置;

② m.D=带扭转限位装置。

表 6.2.3—23b)

RATO 联轴节技术性能参数

型号	尺寸组	额定扭矩	最大扭矩	许用变动扭矩	许用功率损失	许用转速	许用轴向位移	许用径向位移	许用最大径向位移	轴向反作用力	径向刚度	动态扭转刚度	相对阻尼
3)4)	3) T_{KN} kNm	T_{KmaX} KNm	T_{KW} KNm	2) P_{KV} KW	P_{kmaX} 1/min	$\triangle K_a$ mm	$\triangle Ki$ mm	7) $\triangle Kr$ min mm	7) $\triangle krmax$ mm	5) Fax1.0 KN	8) Crdyn KN/mm	1)6)8) GTdyn KNm/rad	8) ψ
1211[10)]	1210[9)]	3.15	9.45	0.79	0.36	3550	3.5	3.0	6.0	0.60	2.0	25.2	1.13
1212	1210	3.15	9.45	0.79	0.36	3550	3.5	1.5	3.0	0.60	3.6	50.4	1.50
1213	1210	3.15	9.45	0.79	0.36	3550	3.5	0.9	1.3	0.60	6.7	94.5	1.50
1221	1220	3.15	9.45	0.79	0.72	3550	3.5	6.0	12.0	0.60	1.0	12.6	1.13
1222	1220	3.15	9.45	0.79	0.72	3550	3.5	3.0	6.0	0.60	1.8	25.2	15.0
1311[10)]	1310[9)]	4.00	12.00	1.00	0.39	3400	3.5	3.0	6.00	0.60	2.1	32.0	1.13
1312	1310	4.00	12.00	1.00	0.39	3400	3.5	1.5	3.0	0.60	4.2	64.0	1.50
1313	1310	4.00	12.00	1.00	0.39	3400	3.5	1.0	2.0	0.60	7.6	120.0	1.50
1321	1320	4.00	12.00	1.00	0.78	3400	3.5	6.0	12.0	0.60	1.1	16.0	1.13
1322	1320	4.00	12.00	1.00	0.78	3400	3.5	3.0	6.0	0.60	2.1	32.0	1.50
1411[10)]	1410[9)]	5.00	15.00	1.25	0.40	3100	4.0	3.0	8.0	0.60	2.4	40.0	1.13
1412	1410	5.00	15.00	1.25	0.40	3100	4.0	2.0	4.0	0.60	4.2	80.0	1.50
1413	1410	5.00	15.00	1.25	0.40	3100	4.0	1.0	2.0	0.60	8.0	150.0	1.50
1421	1420	5.00	15.00	1.25	0.80	3100	4.0	6.0	12.0	0.60	1.2	20.0	1.13
1422	1420	5.00	15.00	1.25	0.80	3100	4.0	4.0	8.0	0.60	2.1	40.0	1.50
1511[11)]	1510	6.30	18.90	1.58	0.46	2900	5	3.5	7.0	0.64	2.5	50.4	1.13
1512	1510	6.30	18.90	1.58	0.46	2900	5	2.0	4.0	0.64	4.8	100.8	1.50
1513	1510	6.30	18.90	1.58	0.46	2900	5	1.0	2.0	0.64	9.0	189.0	1.50
1521	1520	6.30	18.90	1.58	0.92	2900	5	7.0	14.0	0.64	1.3	25.2	1.13
1522	1520	6.30	18.90	1.58	0.92	2900	5	4.0	8.0	0.64	2.4	50.4	1.50
1611[11)]	1610	8.00	24.00	2.00	0.50	2700	5	4.0	8.0	0.64	2.8	64.0	1.13
1612	1610	8.00	24.00	2.00	0.50	2700	5	2.0	4.0	0.64	5.3	128.0	1.50
1613	1610	8.00	24.00	2.00	0.50	2700	5	1.0	2.0	0.64	9.8	240.0	1.50
1621	1620	8.00	24.00	2.00	1.00	2700	5	8.0	16.0	0.64	1.4	32.0	1.13
1622	1620	8.00	24.00	2.00	1.00	2700	5	4.0	8.0	0.64	2.7	64.0	1.50
1711[11)]	1710	10.00	30.00	2.50	0.55	2500	5	4.0	8.0	0.64	3.1	80.0	1.13
1712	1710	10.00	30.00	2.50	0.55	2500	5	2.0	4.0	0.64	5.7	160.0	1.50
1713	1710	10.00	30.00	2.50	0.55	2500	5	1.0	2.0	0.64	10.5	300.0	15.0
1721	1720	10.00	30.00	2.50	1.10	2500	5	8.0	16.0	0.64	1.6	40.0	1.13
1722	1720	10.00	30.00	2.50	1.10	2500	5	4.0	8.0	0.64	2.9	80.0	1.50
1911[12)]	1910	12.50	37.50	3.13	0.59	2300	6	5.0	10.0	0.64	3.2	100.0	1.13
1912	1910	12.50	37.50	3.13	0.59	2300	6	2.5	5.0	0.64	6.0	200.0	1.50

续上表

型号	尺寸组	额定扭矩	最大扭矩	许用变动扭矩	许用功率损失	许用转速	许用轴向位移	许用径向位移	许用最大径向位移	轴向反作用力	径向刚度	动态扭转刚度	相对阻尼
1913	1910	12.50	37.50	3.13	0.59	2300	6	1.4	2.8	0.64	11.1	375.0	1.50
1921	1920	12.50	37.50	3.13	1.18	2300	6	10.0	20.0	0.64	1.6	50.0	1.13
1922	1920	12.50	37.50	3.13	1.18	2300	6	5.0	10.0	0.64	3.0	100.0	1.50
2111[12)]	2110	16.00	48.00	4.00	0.65	2100	6	5.0	10.0	0.64	3.5	128.0	1.13
2112	2110	16.00	48.00	4.00	0.65	2100	6	2.5	5.0	0.64	6.4	256.0	1.50
2113	2110	16.00	48.00	4.00	0.65	2100	6	1.5	3.0	0.64	11.9	480.0	1.50
2121	2120	16.00	48.00	4.00	1.30	2100	6	10.0	20.0	0.64	1.8	64.0	1.13
2122	2120	16.00	48.00	4.00	1.30	2100	6	5.0	10.0	0.64	3.2	128.0	1.50
2311[12)]	2310	20.00	60.00	5.00	0.70	2050	6	5.5	11.0	0.64	3.9	160.0	1.13
2312	2310	20.00	60.00	5.00	0.70	2050	6	3.0	6.0	0.64	7.3	320.0	1.50
2313	2310	20.0	60.00	5.00	0.70	2050	6	1.6	3.2	0.64	13.4	600.0	1.50
2321	2320	20.00	60.00	5.00	1.40	2050	6	11.0	22.0	0.64	2.0	80.0	1.13
2322	2320	20.00	60.00	5.00	1.40	2050	6	60	12.0	0.64	3.7	160.0	1.50
2511[12)]	2510	25.00	75.00	6.25	0.76	1800	6	6.0	12.0	0.76	3.9	200.0	1.13
2512	2510	25.00	75.00	6.25	0.76	1800	6	3.0	6.0	0.76	7.4	400.0	1.50
2513	2510	25.00	75.00	6.25	0.76	1800	6	2.0	4.0	0.76	13.7	750.0	1.50
2521	2520	25.00	75.00	6.25	1.52	1800	6	12.0	24.0	0.76	2.0	100.0	1.13
2522	2520	25.00	75.00	6.25	1.52	1800	6	6.0	12.0	0.76	3.7	200.0	1.50
2711[12)]	2710	31.50	94.50	7.88	0.90	1700	6	6.5	13.0	0.76	4.3	2520	1.13
2712	2710	31.50	94.50	7.88	0.90	1700	6	3.5	7.0	0.76	8.1	504.0	1.50
2713	2710	31.50	94.50	7.83	0.90	1700	6	2.0	4.0	0.76	15.1	945.0	1.50
2721	2720	31.50	94.50	7.88	1.80	1700	6	13.0	26.0	0.76	2.2	126.0	1.13
2722	2720	31.50	94.50	7.88	1.80	1700	6	7.0	14.0	0.76	4.1	252.0	1.50

注：2911—7042 型号简略。

表 6.2.3—23c) **XL 系列高弹性整圈橡胶联轴节主要参数**

参数 / 型号	w/r/min (HP/r/min) $\frac{Ne}{ne}$	额定扭矩 M_0 (N·m)	瞬时最大扭矩 M_{max} (N·m)	连续变动扭矩 M_{ws} (N·m)	最大允许转速 n_{max} (r/min)	M_0时扭转角 φ_0(°)	M_{max}时扭转角 φ_{max} (°)	静态扭转刚度 K(×10^7 N·cm/rad)	允许偏差值		
									轴向 x (mm)	径向 y (mm)	角度 s (°)
XL7	72.08(0.098)	700	1750	±175	4000	10	25	0.040	0.7	1.4	3.2
XL11	113.27(0.154)	1100	2750	±275	3800	10	25	0.065	0.8	1.5	3.2
XL18	184.61(0.251)	1800	4500	±450	3400	10	25	0.103	0.9	1.7	3.2
XL28	287.58(0.391)	2800	7000	±700	3000	10	25	0.160	1.0	1.8	3.2
XL40	411.14(0.559)	4000	10000	±1000	2700	10	25	0.251	1.2	2.2	3.2
XL55	564.86(0.768)	5500	13700	±13700	2500	10	25	0.340	1.3	2.4	3.2

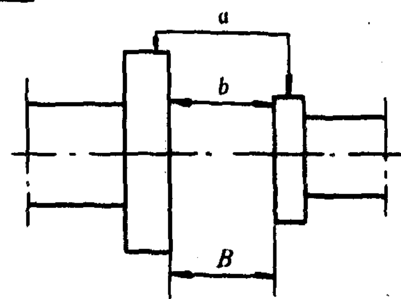
续上表

型号 \ 参数	w/r/min (HP/r/min) Ne/ne	额定扭矩 M_0 (N·m)	瞬时最大扭矩 M_{max} (N·m)	连续变动扭矩 M_{ws} (N·m)	最大允许转速 n_{max} (r/min)	M_0时扭转角 φ_0(°)	M_{max}时扭转角 φ_{max} (°)	静态扭转刚度 K(×10^7 N·em/rad)	允许偏差值		
									轴向 x (mm)	径向 y (mm)	角度 s (°)
XL75	770.07(1.047)	7500	18750	±1875	2200	10	25	0.430	1.4	2.6	3.2
XL110	1129.73(1.536)	11000	27500	±2750	1900	10	25	0.630	1.6	3.0	3.2
XL180	1848.31(2.513)	18000	45000	±4500	1600	10	25	1.031	2.0	3.7	3.2
XL240	2464.66(3.351)	24000	60000	±6000	1500	10	25	1.375	2.2	4.0	3.2
XL300	30811.00(4.189)	30000	75000	±7500	1400	10	25	1.720	2.4	4.4	3.2
XL390	4004.80(5.445)	39000	97500	±9750	1300	10	25	2.235	2.6	4.8	3.2
XL540	5545.67(7.540)	54000	135000	±13500	1100	10	25	3.096	3.0	5.8	3.2
XL700	7188.77(9.774)	70000	175000	±17500	1000	10	25	3.439	3.2	6.0	3.2
XL900	9442.29(12.566)	90000	225000	±22500	900	10	25	5.157	3.6	7.0	3.2
X_2L700	14377.55(19.548)	140000	350000	±35000	1000	10	25	6.879	3.2	6.0	3.2
X_2L900	1848.32(25.133)	180000	450000	±45000	900	10	25	10.314	3.6	7.0	3.2

在安装 XL 型联轴节时，要求联轴节输入，输出凸缘盘联接的零件之间的安装偏差，见表 6.2.3—24a)。

表 6.2.3—24a)　**XL 型联轴节加工和安装偏差的允许值**

允许偏差(mm) \ 型号	XL7～XL40	XL55～XL150	XL180～XL390	XL540～XL900
外圆径向跳动量 a	0.12	0.15	0.20	0.25
端面平行度 b	0.12	0.15	0.20	0.25
端面距离允差 B	±0.25	±0.30	±0.40	±0.50



3.4.10 钢片挠性联轴节

中国浙江省淳安船厂生产海神牌 GNLC 系列钢片挠性联轴节，基本参数如下表

表 6.2.3—24b)　**海神牌 GNLC 系列船用钢片挠性联轴节基本参数**

型号	公称扭矩 MkN N·m	功率转速比 N/n w/r/min,(HP/r/min)	最大允许转速 n_{max} r/min (HP/r/min)	外形尺寸 D×L mm×mm	最大偏转角(°)	配用机型
GNL—C—8	63	5.884 (0.008)	5000	90×200	1	165,175,185,195
GNL—C—22	160	16.181 (0.022)	4500	106×200	1	485,295,2105,2110
GNL—C—44	315	32.362 (0.044)	4000	126×260	1	490,495,4105,2135
GNL—C—70	500	51.485 (0.070)	3500	144×260	1	695,6105,6110,4135Ca

续上表

型号	公称扭矩 MkN N·m	功率转速比 N/n w/r/min (HP/r/min	最大允许转速 n_{max}r/min (HP/r/min)	外形尺寸 D×L mm×mm	最大偏转角(°)	配用机型
GNL—C—110	800	80.905 (0.110)	3000	170×260	1	4135ACa,6135Ca4140,6120
GNL—C—175	1250	128.713 (0.175)	2600	194×260	1	6135ACa,6135ZCa,4140Z
GNL—C—280	2000	205.940 (0.280)	2200	210×260	1	12V135Ca,12V135ACa,6160A—1
GNL—C—350	2500	257.425 (0.350)	2000	244×300	1	12V135ZCa,6160A—11,6180C—1
GNL—C—550	4000	404.525 (0.550)	1800	276×300	1	6160A—13,6180ZC
GNL—C—700	5000	514.850 (0.700)	1500	276×300	1	6180ZCL,6200ZC,6250C
GNL—C—1100	8000	809.050 (1.100)	1400	290×300	0.5	6250ZC,4L20/27,6200—1
GNL—C—1750	12500	1287.125 (1.750)	1300	320×350	0.5	6250GZ,5—9L20/27,6300C
GNL—C—2200	16000	1618.100 (2.200)	1200	330×350	0.5	6300ZC
GNL—C—3500	25000	2574.250 (3.500)	1200	370×350	0.5	G6300ZC,6350ZC,5—7S28LU

4 摩擦离合器

4.1 简 述

离合器是机械传动系统中一种重的传动装置。主要用于原动机和工作机之间、机械内部的主动轴和从动轴之间实现运动和动力的传递和脱离。它可以实现机械的启动和停车、齿轮箱速度的变换、传动轴间在运动中的同步和相互超越、机器起动时和超载时的安全保护，此外、还可以防止从动轴的逆转、控制传递扭矩的大小和满足时间等方面的要求。

离合器的传动原理主要是依靠本身的工作元件在接合时的啮合或摩擦作用来传递运动和扭矩。啮合属于刚性接合，摩擦属于柔性接合，其接合元件接触后相互压紧，利用压紧后产生的摩擦力传递扭矩。

4.2 摩擦离合器的基本类型

在船舶推进装置的传动轴系中，主要采用摩擦离合器，其基本类型：

1）按接合脱开特性分，见表 6.2.3—25 船用离合器的基本类型；

表 6.2.3—25　**船用离合器的基本类型**

1	2		3	4			5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
				结构特点			优缺点											使用情况		
类型	型别	代号	简图	接合原理	工作面数及工作条件	常用压紧方式	结构复杂性	分离彻底性	接合平稳性	热负荷、散热及滑摩特性	效率	外型尺寸 直径	外型尺寸 长度	重量及接合惯量	接合的压紧力	费用	安装要求	功率大小	使用多少	实例
摩 摩擦片式 L_1	单片摩擦式	L_{1-1}		该类型的主从动件为具有互相压紧的圆盘工作面，靠其圆周的摩擦力传递扭矩	2（圆盘）干式	手动杠杆机械	简单	较好，无带排	差	有热负荷散热情况好、滑摩速度差、大（内、外圆）	较高	大	小	中	大	低	一般	小功率	少	国内最大功率用于12V150CZ柴油机配套，功率为331kW(450HP)，1500r/min
	双片摩擦式	L_{1-2}			4（圆盘）干式	气动液压活塞	较简单	一般，无带排	稍差	有热负荷、散热情况稍差、滑摩速度差中等（内、外圆）	较高	中	较小	中	中	较低	一般	中小功率	较少	国内某艇经济航行离合器用。美国Wichita ATD型离合器，荷兰DESchelde，英国Napier三角形柴油机配套，功率2758kW，(3750HP)，2100r/min
	多片摩擦式	L_{1-3}			4-30（圆盘）湿式	液压活塞	一般	差，有带排	良好	有热负荷、散热情况差、一般用油冷、滑摩速度差中等（内、外圆）	一般	小	较大	中	小	较高	一般	大中小功率	较多	国内较大功率有QCL_2，QCL_3，LJ_4，以及ZCS710L等，其$(\frac{N}{n})=5$，德国RENK为中速机提供13239kW（18000HP）日本新泻及美国Twin Disc已提供29420kW（4000HP）的离合器(HL型)
	单锥体摩擦式	L_{2-1}			1（圆锥面）干式	手动杠杆机械	简单	较好，微量带排（湿式）无带排（干式）	差	有热负荷、散热情况好、滑摩速度差小（内、外圆）	高	大	中	中	稍大	低	较高	小功率	较少	国内6260C柴油机配套的上水型离合器

续上表

1		2		3	4			5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
					结构特点			优缺点													使用情况
摩擦式	摩擦圆锥面式 L_2	锥平面摩擦式	L_{2-2}		该类型的主从动件为具有互相压紧的圆锥工作面，靠其圆周的摩擦力传递扭矩	各1(圆盘及圆平面)干或湿	气动、液压活塞	简单	同 L_{2-1}	差	同 L_{2-1}	较高	中	中	中	中	较低	较高	小功率	较少	英国THORNYCROFT倒顺离合减速齿轮箱
		双锥面摩擦式	L_{2-3}			2(圆锥面)干或湿	杠杆气动或液压活塞	较简单	同 L_{2-1}	稍差	同 L_{2-1}	较高	中	大	中	中	较低	较高	大中小功率	较多	国内弹性双锥体摩擦离合器(L_7型)，德国LS的KA型等，目前最大功率达19859 kW (27000 HP)
		多锥面摩擦式(环牙)	L_{2-4}			16～28(圆锥面)湿式	液压活塞	一般	同 L_{2-1}	稍差	同 L_{2-1}	较高	中	中	中	中	一般	高	大中小功率	较少	国内试制；英国MWD及瑞士SLM等有系列产品，最大功率达8826kW(12000HP)
	摩擦圆柱面式 L_3	气胎式(或气囊式)	L_{3-1}		通过气胎充气压紧摩擦块与内鼓轮传递扭矩，用于干式			较复杂	好，无带排	好	有热负荷，散热情况好，比压均匀	高	大	中	中	大	较高	较低	大中功率	中速机较多使用	国内300、12V230ZC、6E390、12E390等柴油机采用 目前国内最大传递扭矩达900kN·m
		外闸块式	L_{3-2}		通过一排活塞压紧摩擦块与内鼓轮传递扭矩，气动用于干式，油压用于湿式			较复杂	较好，无带排	稍差	有热负荷，散热情况好，比压不大均匀	较高	大	中	较小	大	较高	一般	中小功率	较少	国内6250倒顺离合减速齿轮箱(741)液压刹车，德国AERO气动外闸块离合器
		内闸块式	L_{3-3}		通过二个或二个以上的闸块，由机械作用(螺旋或杠杆等)而压紧鼓轮传递扭矩，手动机械作用，手湿都用			简单	较好，微量带排	稍差	有热负荷，散热情况一般，比压不均匀	较高	中	中	较小	大	低	一般	小功率	较少	国内LDJ101型，由于操作及调整不方便，目前较少使用

续上表

1		2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
					结构特点	优缺点													使用情况
摩擦式	(见上页)	带式(外闸)	L_{3-4}		通过挠性钢带或半刚性制动箍制动鼓轮外径，传递扭矩，气动、液压、手动都有，干、湿式都有	一般	较好，无带排	稍差	有热负荷、散热情况好，比压不均匀	较高	中	中	中	带拉力大	一般	一般	中小功率	在制动方面用得较多	国内42160，轻12V—180及12V180Z柴油机行星倒顺离合器中倒车用的制动器等
滑差式 L_4		液力偶合器	L_{4-1}		通过油充入或放出而离合，主动泵轮转动，使内部油产生离心动能带动涡轮转动而传递扭矩，无接触	一般	一般，有微量风损带排	好、抗扭振冲击好	有热负荷，由油本身循环解决	低97%~98%	大(高速)中(中速机)	中	中	无，有一定轴向力	一般	一般	大中小功率	较少	国内红救6号并车装置及QCL_2倒顺离合器的倒车元件采用，见德国WESER偶合器，外径最大达3m，目前船上使用不多
		电磁滑差离合器	L_{4-2}		由电路的接通或断开而离合，主从部分分别为绕组与电枢，相对转动产生感应电流及磁场，使被动件转动	较复杂	好，无带排	好、抗扭振冲击好	有热负荷，散热情况好	较低(98%~99%)(中低速)	大	大	大	无，无轴向力	高	一般	大中功率	少	远洋货轮杭州号(双机并车)，德国AEG公司生产系列(200~13000kg.m)
啮合式 L_5		牙嵌式(爪式)	L_{5-1}		主从动件具有互相啮合的爪(或齿)，靠其工作面法向压力传递扭矩	简单	好，无带排	基本无滑差时接合，有冲击响声	无热负荷	高	小	小	小	小	低	一般	大中小功率	很少	很少在运转中接合，仅用于小艇。大都在停转时接合，常用于应急，如QCL_2倒顺离合器的应急接合
		内齿轮式	L_{5-2}		爪多半具有负倾角，齿大多为渐开线，操纵有手动、气动、液压、电动，通过弹簧作用	简单	好，无带排			高	小	较小(比L_{5-1}长)	小	小	低	一般	大中小功率	很少	大都在停转时接合，用于脱开螺旋桨，给动力提供它用，如德国TACK。国内ZF240型用作应急接合

续上表

1	2		3	4			5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
				结构特点			优缺点													使用情况
组合式 L_6	主啮合式副同步摩擦式	L_{6-1}		副同步离合器使从动件加速接近主动件转速时，将主离合器接合，传递扭矩。副同步离合器有摩擦式、滑差式，主离合器有啮合式或摩擦式	副 L_1、L_2、L_3 主 L_5	操纵有手动、气动、液压、电动等	结构及操纵系统复杂	较好，带排几乎无	减少滑差而接合，响声有所减轻	有热负荷	稍高	较小	较小	较小	较小 （与单独的摩擦离合器比）	较高	一般	中小功率	很少	42V160，轻 12V180 用，国内航空发动机 690 型用，爪与摩擦片，美国挠性联轴节公司采用内齿轮与摩擦片
	主啮合式副同步滑差式	L_{6-2}			副 L_{4-1} 主 L_5					有热负荷	较高	较小	一样	较小	较小 （与单独滑差式离合器比）	较高	一般	中小功率	很少	联邦德国 RENK 采用内齿与液力偶合器
	主摩擦式副同步滑差式	L_{6-3}			副 L_{4-1} 主 L_1、L_2、L_3				平稳性较好，无响声	有热负荷	高	较小	一样	较小	较大 （与单独滑差离合器比）	较高	一般	大中小功率	很少	英国 Pamotrada 采用摩擦片与液力偶合器。前苏联乌克兰科学院水力机械研究所采用多摩擦锥（环牙）与偶合器
	主啮合式主摩擦式	L_{6-4}		主啮合式的接合、脱开必须先脱开主摩擦式，一般主啮合式不少于二个	主啮合 L_5 主摩擦式 L_1、L_2、L_3			好，无带排	有冲击响声	有热负荷	一样	一样	一样	较小	一样 （与单独的主摩擦离合器比）	高	一般	中小功率	很少	有两个爪式与一个圆柱面摩擦离合器，国内 LDJ101 型倒顺离合减速齿轮箱采用；有两个爪式与一个片式摩擦离合器，用于德国 MaybuckKS15 型及国内 ZF30 型；两个内齿轮式与一个片式摩擦离合器用于美国 BORG WARNER 的 Higgin 型

2)操纵方式分类,有外力操纵、自行操纵。外力操纵又可分为机械、气动、液压、电磁操纵等。表 6.2.3—26 船用离合器操纵的基本类型。

表 6.2.3—26　　　　船用离合器操纵的基本类型

操纵类型	手　动	液　压	气　动	电　磁	组　合
结构	简单	一般	一般	一般	复杂
能源及附件要求	人力操纵机构	液压能源,需油路系统及进油装置	气压能源,需气路系统及进气装置	电源。需电气元件及引电装置	需相应能源,系统元件及装置
摩擦副磨损对压紧力的影响	需及时调整	影响很小	影响很小	影响很小	同操纵类型有关
接合平稳性和时间可调性	较平稳,难调节	平稳,时间可调平稳,时间可调	平稳,时间可调	平稳性差,可调性差	同操纵类型有关
可靠性	好	要应急措施	要应急措施	要应急措施	要应急措施
操纵力	大	小	小	小	小
适用范围	用于小功率干、湿式离合器或应急离合器	广泛用于船用大、中、小功率湿式离合器	广泛用于大、中功率船用离合器	中、小功率	大、中功率
应用情况	803 型,以及 12V150CZ 型柴油机用的倒顺离合减速齿轮箱,即双盘式(美国 TwinDisc 的 MG200 型)	QCL_2,QCL_1 倒顺离合器以及 QCL_3, GCO_{13}, ZF40、ZF120A, ZF240A 等倒顺离合减速齿轮箱,美国 SNOW—NABS—TEDTSN—3900 型	高弹性摩擦离合器,LT 系列气胎离合器,气囊片式(干式)离合器	200N·m 电磁倒顺离合减速齿轮箱(采用单片干式离合器)联邦德国,ZF 生产 BW800 型(采用电磁多片式、离合器)	L_2,ZF750 型、采用液压控制液缸,遥控是由气或电控制其液压操纵系统。其离合器、齿轮箱的结构基本同单独液压操纵

3)按摩擦副工作条件分,有干式和湿式两类。干式的摩擦副之间无滑油、摩擦系数高、摩擦副许用温升高,采用自然或强制通风冷却、分离较彻底,但摩擦副易摩 损、寿命短。湿式摩擦副之间有润滑、摩擦系数低,摩擦副许用比压高,热量由滑油带走,分离不彻底,但摩擦副较耐磨,寿命长。

在各类摩擦离合器中,液压片式摩擦离合器和气动高弹性双锥体摩擦离合器(简称高弹性摩擦离合器)应用较广泛。

4.3　液压片式摩擦离合器

4·3·1　基本型式

船用液压片式离合器的基本型式有:

1)单离合离:一根轴上只装有一个离合器,即仅有一个离合元件。见表 6.2.3—27

表 6.2.3—27　　**船用液压片式单离合器的基本型式**

基本型式		I	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	V
结构特点	操纵活塞、油缸和承压板的位置油进入油缸方式	与摩擦片外圈(外壳)外摩擦片同侧①,常用于主动同侧进油②	同I异侧进油	与内摩擦片座,内摩擦片同侧同侧进油	油缸活塞与内摩擦座,内摩擦片等同侧,而承压板与外圈同侧同侧进油	2个Ⅲ型共同传递扭矩(或2个I型)同侧进油
简图(见4.2.3—35)		图a)	图b)	图c)		图d)
优缺点	结构	简单,有同侧进油优点	复杂,有异侧进油缺点	一般,有同侧进油优点	一般,有同侧进油优点	复杂,有同侧进油优点
	外形尺寸:长度/直径	小/中	小/中	中/中	较小/中	大/小
	重量	轻	轻	较重	较轻	较轻(I型),较重(Ⅲ型)
	承压板变形	小	小	较大	小	无(力两面平衡)
	接合时被动惯量	小	小	较大	中	较大
	通用性	一般	一般	较好	一般	较好(与小的通用)
使用场合	离合器,离合减速齿轮箱,倒顺离合器,倒顺离合减速齿轮箱,双速齿轮箱	使用特点及实例：优点多,应优先采用。广泛使用于L_2ZF系列,808等离合器上,日本新泻H/L型采用	在采用I型,进油难解决,采用Ⅲ型又嫌其长度、尺寸较大的情况下采用,使用较少QCL_3倒车离合器及美国TwinDisc的MGN514型采用	采用I型,进油难解决,采用Ⅱ型,又有异侧进油的缺点。使用面仅次于I型。ZF240,ZF80,德国RenK,Ortlinghaus等离合器采用	代替Ⅱ、Ⅲ型,既有同侧进油的优点,又不致于使长度过大,特别是适应外壳兼作齿轮。使用较少。QCL_2,QCL_3正车离合器采用	具有I和Ⅲ型特点但比I、Ⅲ现有离合器的传扭能力大一倍,适用于大功率。其工艺设备受到限制。极个别使用,德国RenK并车装置采用

① 同侧,指一起转动的零件(无相对转动);异侧,脱开时二个转动件有相对转动;

② 同侧进油,指油缸与其上的进油件(轴)一起转动,其优点在接合处无须密封圈。异侧进油,脱开时有相对转动,接触处要有耐转动的密封圈。

图6.2.3—35a)、b)、c)、d)分别为单离合器中I Ⅱ Ⅲ及V等基本型式的结构图。

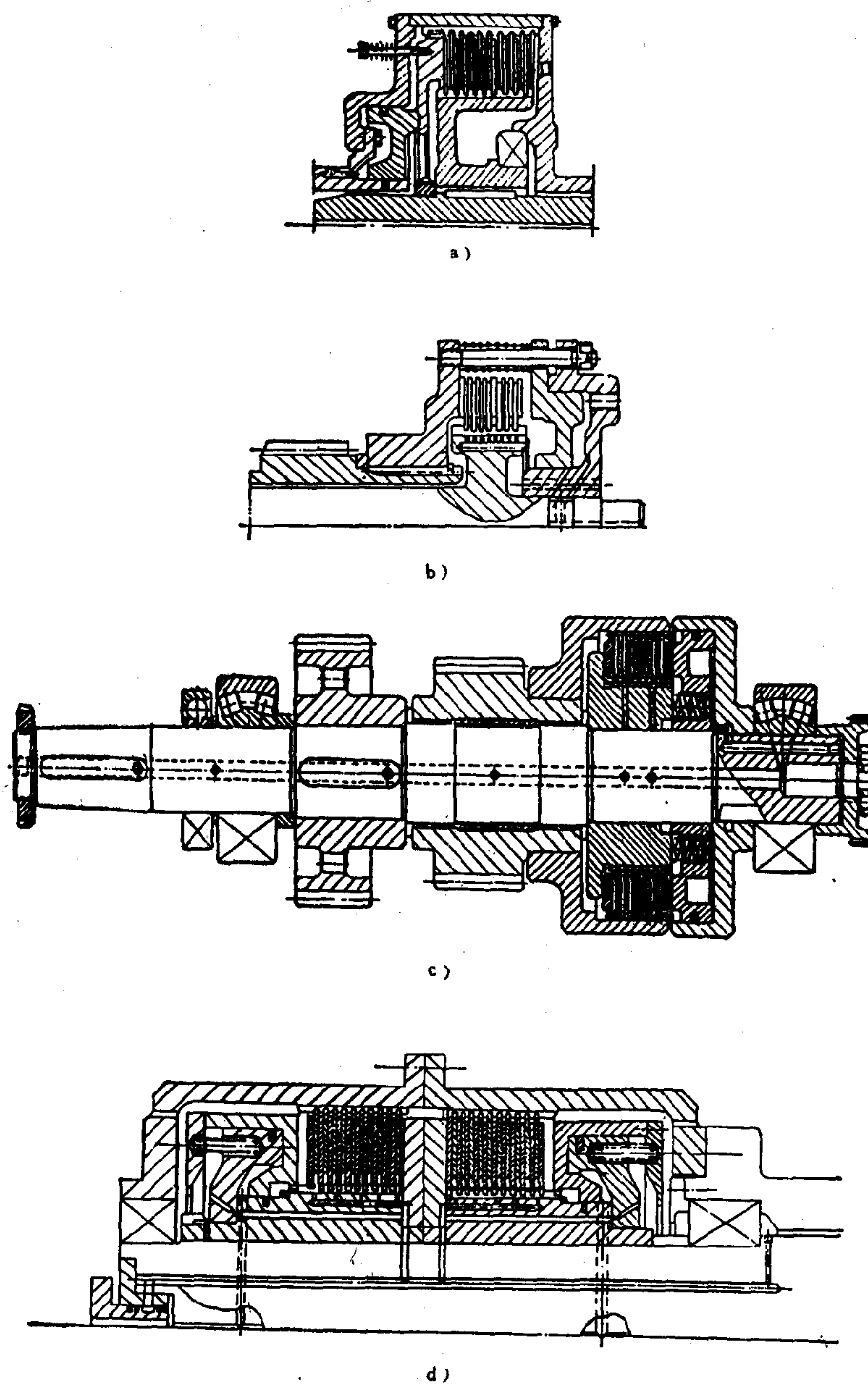
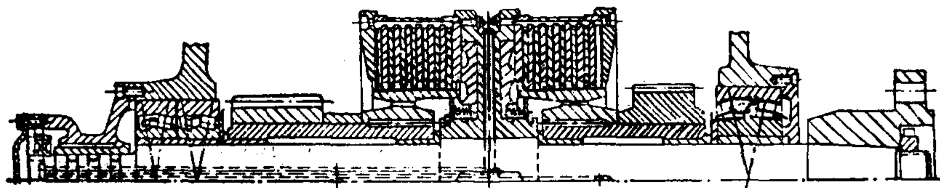


图 6.2.3—35　单离合器结构图

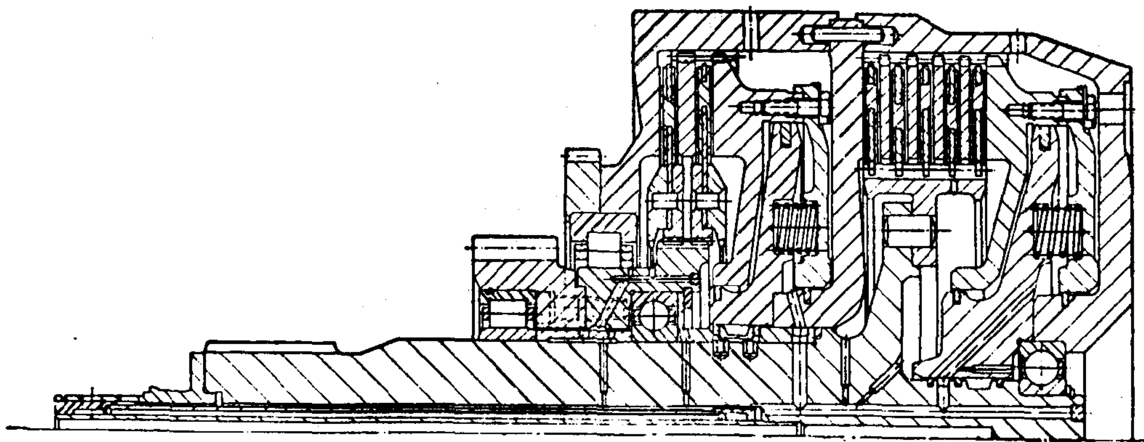
2)双离合器：一根轴上装有二个离合器即有两个离合元件。见表 6.2.3—28 船用液压片式双离合器的基本型式。其各类型式的结构图见图 6.2.3—36。

表 6.2.3—28　　**船用液压片式双离合器的基本型式**

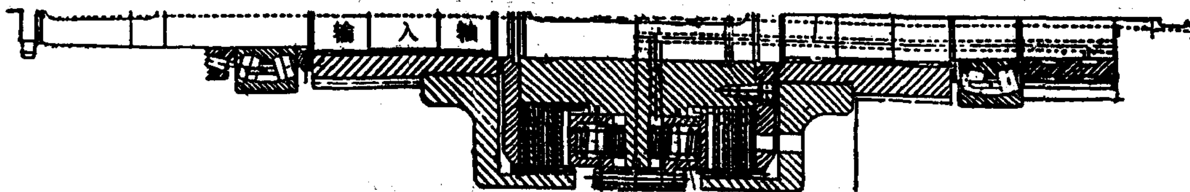
基本型式		Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ	Ⅸ	Ⅹ
结构特点	离合器组成型别	2—Ⅰ型串联	2—Ⅱ型串联	2—Ⅱ型串联	Ⅳ—Ⅱ型串联	Ⅰ—Ⅱ型并联
	活塞油缸组数	公用一组或单独二组	公用一组或单独二组	单独二组	单独二组	单独二组
	离合器与齿轮组合	二个离合器位于二齿间，二个离合器位于二齿一端	二个离合器位于二齿间	二离合器外壳兼作齿轮	二离合器外壳兼作齿轮	二个离合器位于二齿的一端
简图(见 6.2.3—36)		图 a)，图 b)	图 c)及图 d)	图 e)	图 f)	图 g)
优缺点	结构、外形尺寸、重量、承压板变形，接合被动惯量，通用性	具有Ⅰ型特点	具有Ⅱ型特点	具有Ⅱ型特点	具有Ⅳ与Ⅱ型特点	具有Ⅰ与Ⅱ型特点
	活塞油缸一组与二组比较	一组的结构简单，尺寸紧凑，无同时接合的可能性，有可能用非工作活塞油缸背压减少接合冲击				
	串联与并联(一根轴)比较	串联的长度较大，直径较小，并联的工艺复杂，冷却及散热效果较差				
使用场合	倒顺离合减速齿轮箱 倒顺离合器 双速齿轮箱	使用特点及实例： 异心 使用较多 英国 Napial 三角形柴油机及 GCO13 倒顺离合减速齿轮箱(离合器分别位于二齿轮中间和一端)二组活塞，对于采用一组公用活塞，位于一端者见图 6.10.4.15	异心 使用仅次于Ⅵ型 ZF80 及德国 ZF-BW1500　HS18(位于二齿中间)一组活塞，美国 TwinDisc 采用一油缸，二组活塞	同心 使用个别 QCL_1 离合器	同心 使用较小 QCL_3 离合器	异心 船上未使用



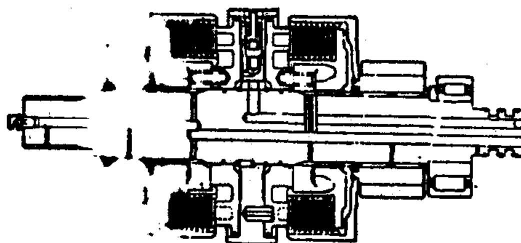
a)



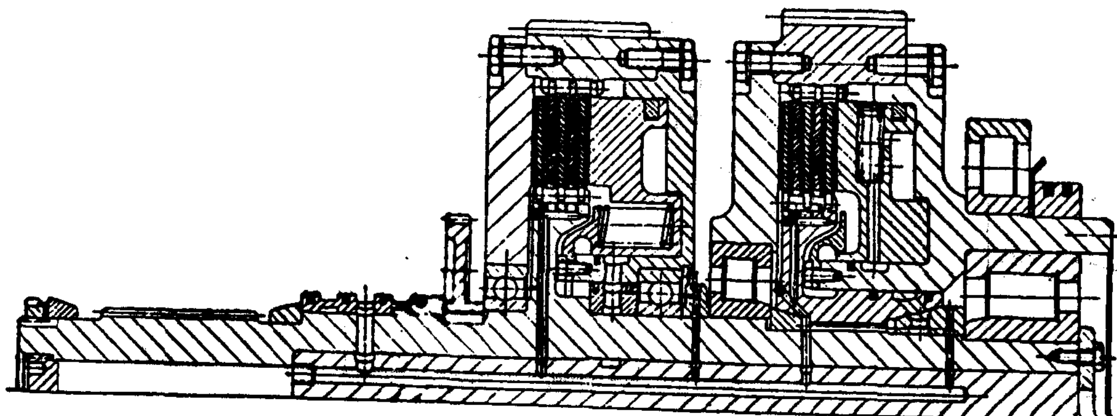
b)



c)



d)



e)

图 6.2.3—36

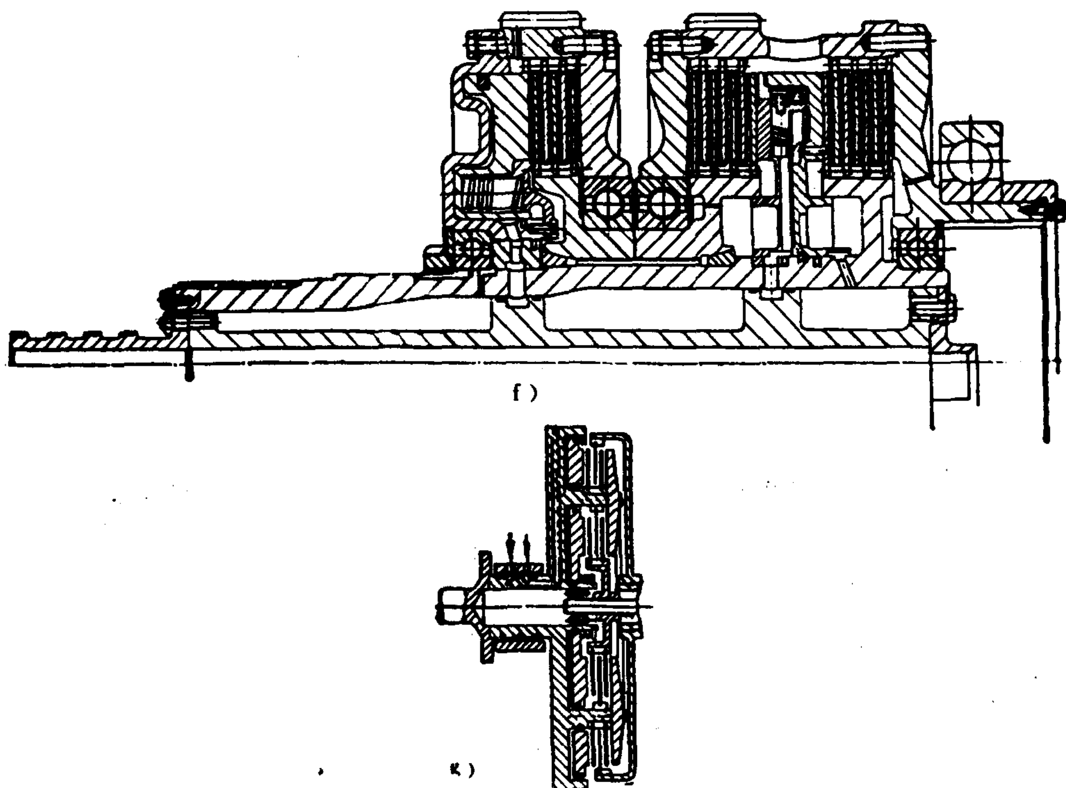


图 6.2.3—36 船用液压片式双离合器结构图

4.3.2 国内船用液压片式离合器

国内常用的船用液压片式离合器的主要参数及性能见表 6.2.3—29。

表 6.2.3—29 **国内船用液压片式离合器主要参数及性能**

产品参数＼型号	单位	ZF40	Z80	ZF 120A	ZF 240A	ZF 750A	808	GCO13	L_2	QCL_2	QCL_3 (正)	QCL_3 (倒)	LJ_4	ZCS 710L
传扭能力 $\frac{N}{n}$	w/r/min (HP/r/min)	29.42 0.04	58.84 0.08	88.26 0.12	176.52 0.24	551.6 0.75	500.14 0.68	632.53 0.86	1471 2	1618.1 2.2	2324.18 3.16	919.38 1.25	3493.63 4.75	3677.5 (3898.15) 5(5.3)
额定扭矩 M_e	N·m	285	570	860	1720	5370	9800	6200 (2800)	14320	15600	22600	8950	34070	35810
额定转速 n_1	r/min	1500	1500	1500	1500	1000	1500	1500	400	2200	1900	820	400～600	600
允许接合转速 n_{max}	r/min	1500	1500	1500	1500	1000	750	800		750	820	640		300
名义比压 q_0	N/cm²	190	8.850	190	296	220	55	118 (193)	～270	170～210	246	342	365	167 (202)
有效比压 q	N/cm²	230	14.40	270	440	320	～60	138 (219)	410	233～285	350	490 (250)	446	267 (324)
最大接合线速度 U_{max}	m/s	21.4	36	26.8	31.4	28.3	16	21.9	9.42	28.1	34.5	24.9		15.7
工作油压 P	N/cm²	100	50～70	100	100	150	70	50～110 (～160)	100～120	80～120	80～120	160 (80)	150	100 (120)

续上表

产品参数 \ 型号	单位	ZF40	Z80	ZF 120A	ZF 240A	ZF 750A	808	GCO13	L_2	QCL_2	QCL_3（正）	QCL_3（倒）	LJ_4	ZCS 710L
离合器外径 D	cm	16.5	26.5	21.2	23.6	32.9	50.0	43.0	53.6	46.5	52.0	52.0	−53.0	61.0
离合器长度 l_0	cm	9.2	15.5	11.2	17.3	19.0	22.0	14.5 (12.5)	22.0	23.0	23.0	15.0	~22.0	31.0
扭矩贮备系数 B		2.26	2~2.4	2.12	2.42	1.82	2.12	1.3 (1.3)	2.12	1.7	1.75	1.33	2.12	1.43 1.71
重量(单离合器)G	kg N/N·m	~12	~47	24.6	47	100	225	126 (108)	350	260	335	210	350	450
重量/额定扭矩 G/M_e	N/N·m	0.42	0.82	0.287	0.275	0.19	0.46	0.186 (0.389)	0.24	0.166	0.156	0.234	0.103	0.125
重量/最大扭矩 $N/N_e\cdot\beta$	N/N·m	0.186	0.34~0.41	0.135	0.114	0.105	0.217	0.143 (0.296)	0.114	0.098	0.090	0.176	0.049	0.088
体积(单离合器)V	cm^3	~1950	~8286	3920	7950	16100	43000	21000 (18100)	49500	39000	49000	32000	48500	[illegible]
体积/额定扭矩 V/M_e	cm^3/N·m	6.8	14.5	4.55	4.48	3.0	4.4	3.4 (6.5)	3.461	2.5	2.17	3.58	1.42	[illegible]
体积/最大扭矩 $V/M_e\cdot\beta$	cm^3/N·m	3.0	7.25~6.05	2.14	1.89	1.66	2.08	2.6(5.0)	1.63	1.47	1.24	2.68	0.67	1.74
离合器类型	正车 倒车	Ⅰ Ⅰ }并	Ⅵ (Ⅱ Ⅱ 串)	Ⅰ Ⅰ }并	Ⅱ Ⅱ }并	Ⅰ Ⅰ }并	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅵ	Ⅸ (Ⅳ Ⅱ串)	Ⅲ	Ⅰ	Ⅰ

4.3.3 船用摩擦离合器的应急装置

船用摩擦离合器备有的应急装置有下列几种：

1)双油路系统应急　工作油路与滑油路互通，其中任一路的油泵损坏时，通过转换伐的控制，由另一路的油泵同时供油，仍能正常工作。油泵容量适当增大。741 型和 GCO13 型离合器等采用该系统应急。

2)手动操纵应急　其特点是可靠和方便，无须停机就能应急操纵。但结构复杂，操纵力大。12V—180 型柴油机倒顺离合器采用该型式。

3)手动机械应急　机械应急时必须停机，采用简单机械方法，实现正车应急工况。它简单可靠，使用最多。由于要停机，又只有正车应急，操纵手柄要确保在空位(有联销装置)。应急方式有：

(1)端面爪啮合式　机构典型，可直接在箱外控制，比较方便。QCL_2 型离合器采用该型式。

(2)内齿轮啮合式　图 6.2.3—37 是 ZF240 型倒顺离合减速齿轮箱的应急装置。应急使用时，取下固定应急手柄的螺钉 1，扳动手柄 2，移动拔叉 3 及齿轮内套 4，将主、从齿轮(Z_1. Z_2)连接而传递扭矩。结构简单，使用方便，也可直接在外部控制。见图 4.2.3—37。

(3)摩擦式　图 6.2.3—38 是 741 型双行星倒顺离合减速齿轮箱采用的应急装置。应急时，用绳索 1 转动索轮 2，带动可转动螺栓 3，轴向移动锥形制动轮 4，迫使中心轮制动，达到正车应急工况。其结构复杂，使用方便，特别适用于行星传动的应急。

(4)直接在外部用螺钉压紧摩擦片(无须拆开盖板)　美国 TWin DiSC MG514 等离合器采用该结构型式，见图 6.2.3—35(b)所示。应急时，将螺钉拧入 B 孔，推动活塞压紧摩擦片。

(5)拆开盖板采用螺钉压紧摩擦片 ZF80 和 808 型离合器及联邦德国 Reintjes WAV 型离合器采用该结构型式。应急时没有上述方便,但结构简单可靠,应用极广泛。见图 6.2.3—35a)及图 6.2.3—36c)所示。

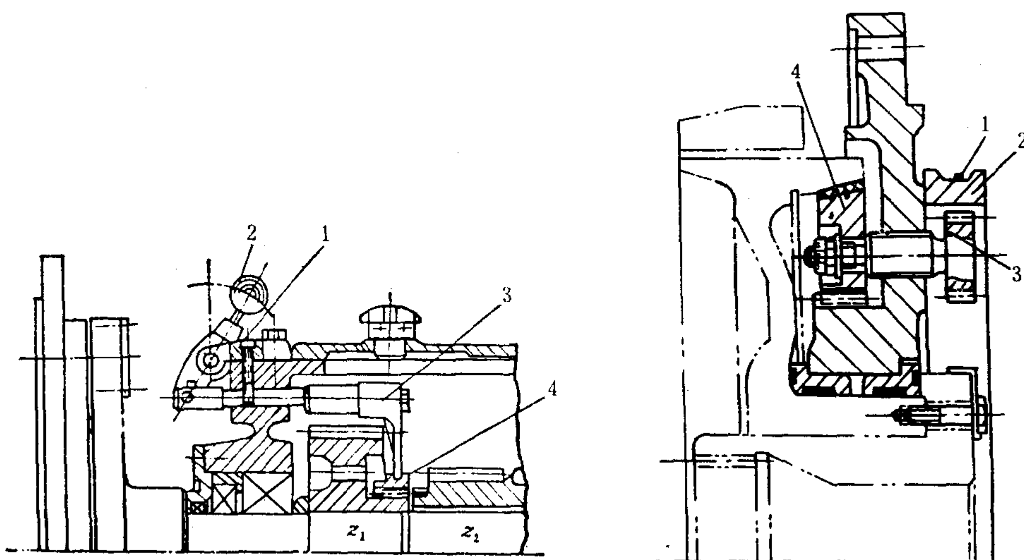


图 6.2.3—37 内齿轮机械应急的装置　　图 6.2.3—38 摩擦式(制动)机械应急的装置

4·3·4 摩擦片的分离装置

分离装置的作用是减少带排附加扭矩,摩擦片的滑油粘性、摩擦片倾斜和机组振动是引起附加扭矩的原因。因此,在外摩擦片或内摩擦片之间采用各种型式的弹簧分离或脱开定位装置,图 6.2.3—39 为几种摩擦片分离装置的基本型式。

1)图 a)为圆柱弹簧分离装置,联邦德国 Renk 的离合器等采用;

2)图 b)为蝶形片组弹簧分离装置,808 倒顺离合器等采用;

3)图中 c)为波形盘弹簧分离装置,日本岛津 MW570 倒顺离合器等采用;

4)图中 d)为锥形脱开定位器,美国 Nopier 三角形柴油机倒顺离合器减速箱等采用,多用于干式摩擦片,片较厚,片数较少。

以上这些机械分离装置能改善带排程度,但结构复杂和可靠性差。目前从离合器另件加工精度着手,尽可能减小摩擦片花键齿的间隙,选用合适的摩擦片油槽,采取拥有一定波形度或碟形度的钢片,同时尽量减少进入摩擦片的滑油量。还可采用将摩擦片分成几组,中间用厚承压钣隔开,如日本新泻 MGN 及 HL 型离合器;或将油缸活塞设在离合器中部,把摩擦片组分成二部,如 QCL_2,QCL_3 型离合器。

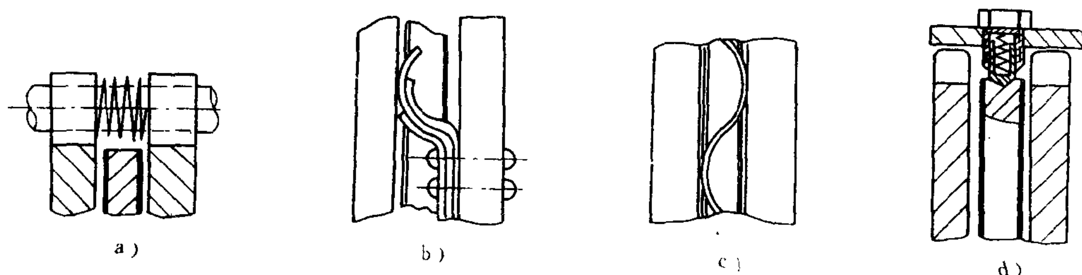


图 6.2.3—39 摩擦片分离装置基本型式

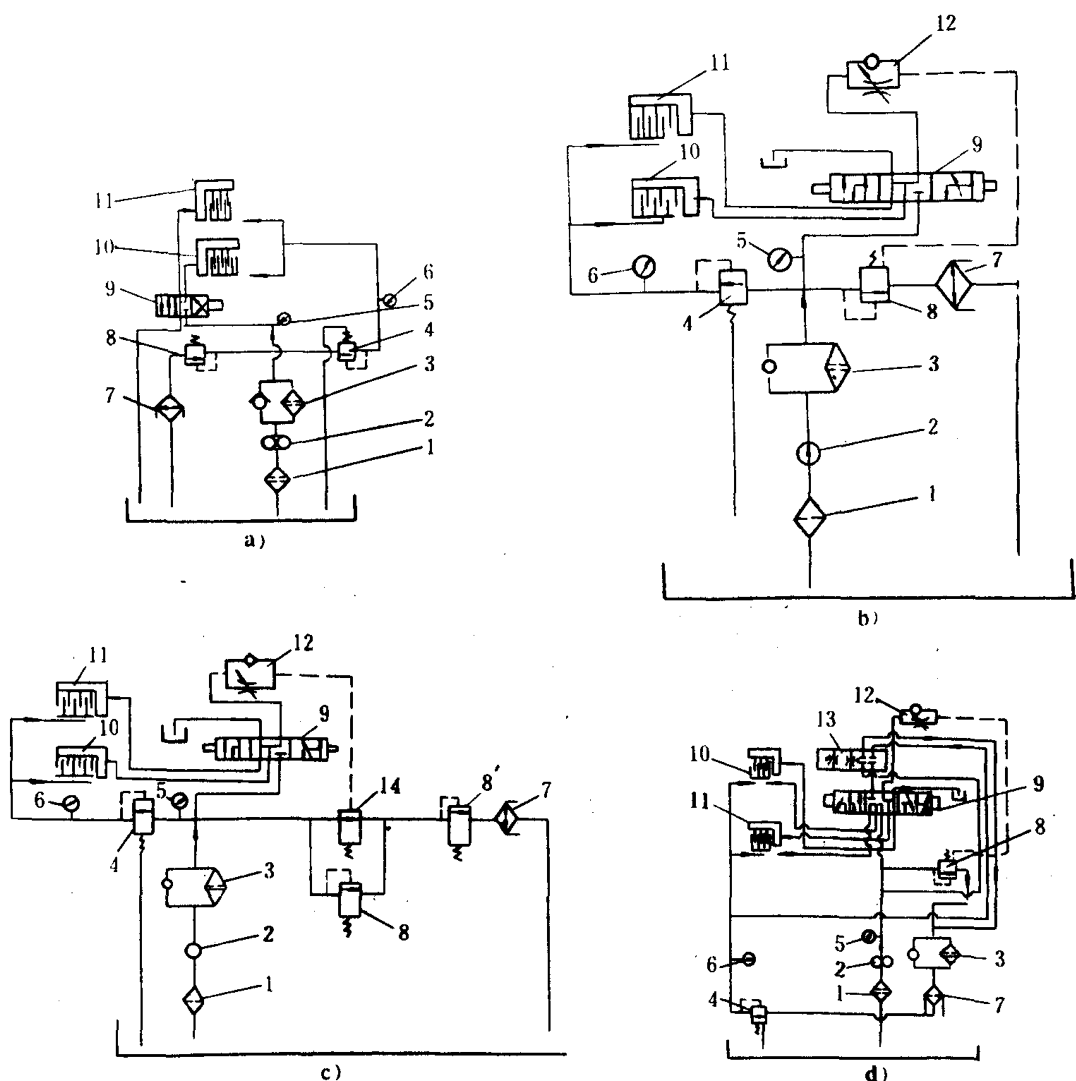


图 6.2.3—40 摩擦离合器的液压控制系统

1—粗滤器；2—油泵；3—精滤器；4—滑油减压阀；5—工作油压力表；6—滑油压力表；7—滑油冷却器；8—工作油压调压阀(高压)；8′—工作油压调压阀(低压)；9—控制阀；10—液压离合器；11—液压离合器；12—节流阀；13—微速调压阀；14—二次油压控制阀

4.3.5 摩擦离合器的液压控制

图 6.2.3—40 是摩擦离合器的液压控制系统。图中控制阀 9 为三位控制，又称双离合器控制。

油压控制方法有下列几种：

1)简单液压控制(图 a)，结构简单，接合时冲击大，适用于小功率主机用的离合器；

2)节流升压液压控制(图 b)，有节流阀 12 调节流量，使工作油压逐步升高；

3)二次升压液压控制(图 c)，在调节阀 12 后接一只低压阀 8，达到低压滑摩接合，然后再高压接合递传扭矩；

4)微速调节液压阀 13，降低油压，产生滑摩打滑，从而达到减速航行。

除上述采用调节油压方法外，还采用速度限制器来限制最大接合线速度，其速度限制器的结构及性能见图 6.2.3—41。图中 I 孔为控制油进口；Ⅱ、Ⅲ 为控制油出口，当离合器接合而柴油机在允许换向转速以上运转时，飞块拉动滑阀，使 I 孔有油，Ⅱ、Ⅲ 孔无油；当转速下降到换

向转速时、Ⅱ孔有油，并断开正常离合器油缸进油路，使正车油缸卸油；当转速继续下降、直到允许倒车离合器接排转速，Ⅲ孔有油、打开倒车、油缸进油阀，使倒车油缸充油，逐步实现倒车接排。中国GCO13和QCL_3及德国Mayb ' KS13 油压控制系统均采用这个结构。

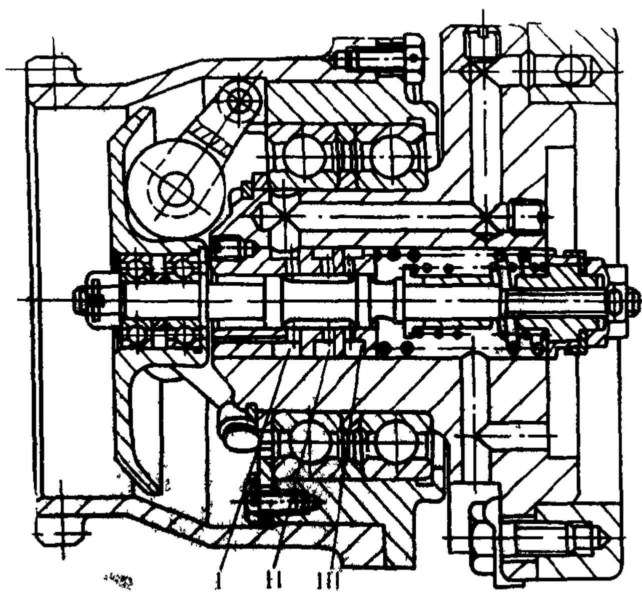


图6.2.3—41 速度限制器结构图

4.4 高弹性双锥体摩擦离合器

由双锥体摩擦离合器与高弹性橡胶联轴节组合而成。具有结构简单、紧凑、重量轻、减震性能好，以及便于遥控等优点。其结构分为并联与串联两种。

4.4.1 并联结构

德国LS公司"Pneumaflex"的KA型为并联式的典型结构之一，它是由双锥体摩擦离合器与KJ型"Spiroflex"整圈式橡胶联轴节组合而成，结构见图6.2.3—43。

KA型系列的主要性能参数见表6.2.3—30。

中国LT_{23}型高弹性摩擦离合器也为并联结构，其性能参数见表6.2.3—31。

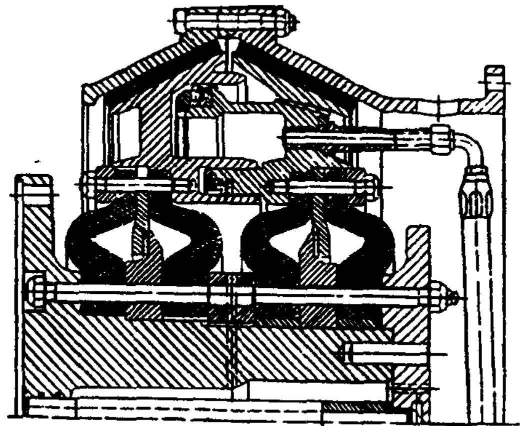


图6.2.3—42 ESLU—S型高弹性离合器

a）　　　　b）

1—调整垫圈；2—右外锥体；3—左外锥体；4—传动轴；5、6、7、8—橡胶组合件；9—支承块；10—限制盘；11—螺栓；12—左内锥体；13—右内锥体；14—活塞；15—气缸；16—摩擦片；17—进气管；18—软管；19—支承块；20—应急销；21—平键；22—拉力螺栓；23—螺栓；24—螺栓；25—进气接头；26—内密封圈；27—外密封圈

2. 德国 Vulkan 公司 ESLU—S 型为另一典型并联结构，它由双锥体摩擦离合器与 VulkanEZ 型高弹性橡胶联轴节组合而成，见图 6.2.3—42。

4.4.2 串联结构

图 6.2.3—44 为德国 LS 公司的高弹性双锥体摩擦离合器，它由 KJ 型联轴节与 Pneumaflex 离合器组成。

图 6.2.3—45 为 Vulkan 公司的产品，它由 MESLU 离合器与 EZ—S 型联轴节串联而成的高弹性双锥体摩擦离合器。

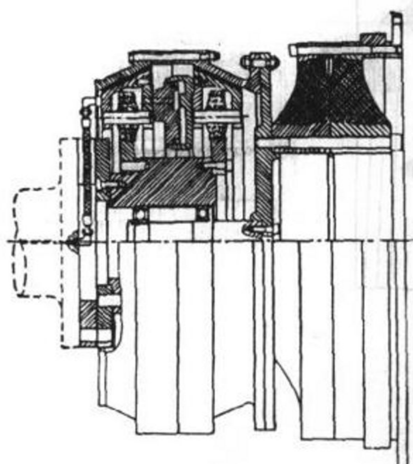


图 6.2.3—44　KJ 型联轴节与 Pneumaflex 离合器组成

表 6.2.3—30　　LS 公司“Pneumaflex”KA 型高弹性摩擦离合器系列的主要参数及其性能

参数 / 型号	$\frac{N}{n}$ kW/r/min	额定扭矩 M N·m	最大扭矩 M_{max} N·m	最大许用交变扭矩 M_{w5} N·m	最大转速 n_{max} r/min	最大接合转速 $n_{接}$ r/min	额定扭角 φ°	最大扭角 φ°_{max}	扭转刚度 c10^6N·cm/md	径向刚度 c_x N/mm	轴向刚度 c_y N/mm	径向位移许用值 x mm	轴向位移许用值 y mm	角度位移许用值 α (°)	径向间隙 δ/2 mm	轴向间隙（行程）X_{min} mm	摩擦片厚度 S mm	最小片厚 S_{min} mm	最大轴向间隙 X_{max} mm	最大直径 D_0 mm	最大长度 L_0 mm	重量 G kg
KA70	141.2	1370	4100		4000				0.0790	2670	760	0.8	1.4		1.0	2.36				400	206	89
KA80	185.3	1810	5400		3600				0.1035	2910	820	0.8	1.5		1.0	2.36				425	213	1.7
KA90	238.3	2320	7000		3200				0.1350	3180	900	0.9	1.6		1.1	2.36				455	220	125
KA100	308.9	3000	9000		3200				0.1725	3450	970	0.9	1.7		1.1	2.60				490	224	142
KA110	404.5	3950	11850		2800				0.2255	3750	1060	1.0	1.8		1.2	2.84				520	225	168
KA120	476.6	4640	14000		3200	2000			0.2700	6360	1800	1.0	1.9		1.3	3.08				476	415	205
KA140	617.8	6000	18000		2800	1800			0.3450	6900	1950	1.1	2.0		1.4	3.31	8	5	X_{min}+7	515	430	235
KA160	809.1	7900	23700		2800	1800			0.4510	7500	2120	1.2	2.2		1.5	3.55				555	445	290
KA180	1509.1	10300	30900		2500	1600			0.6000	8220	2340	1.3	2.4		1.6	3.79				600	480	360
KA200	136.07	13260	39600		2240	1500			0.7600	9000	2600	1.4	2.6		1.8	4.26				650	520	470
KA220	1765.2	17200	51600		2240	1400			0.9900	9760	2800	1.5	2.8		1.9	4.50				710	545	575
KA240	2294.8	22360	66900		2000	1250			1.29000	10660	3000	1.6	3.0		2.0	4.72				765	575	740
KA260	3000.8	29300	880000	±25%	1800	1120	10°	30°	1.6800	11700	3300	1.8	3.4	0.3°	2.3	5.45				820	605	880
KA280	3883.4	38000	114000		1700	1000			2.1800	12840	3600	2.0	3.7		2.5	5.92				900	650	1180
KA300	5119.1	50000	1500		1600				2.8800	14000	4000	2.2	4.0		2.8	6.63				990	720	1440
KA320	6472.1	63600	190000		1400	900			3.6600	14900	4200	2.4	4.4		3.0	7.10				1090	810	2195
KA340	8458.3	82400	246000		1250	800			4.7400	16560	4680	2.6	4.8		3.3	7.82				1180	865	2670
KA360	11106.1	10800	324000		1120	700			6.2000	18160	5100	2.8	5.2		3.5	8.28				1300	945	3570
KA380	14489.4	141000	423000		1120	700			8.1000	19800	5600	3.0	5.6		3.8	9.00	10	5	X_{min}+12	1400	1030	4620
KA390	16181	158000	476000		1000	630			9.0800	20800	5840	3.2	6.0		4.0	9.37				1470	1055	5270
KA410	21476.6	210000	630000		1000	630			12.0400	22780	6360	3.4	6.4		4.3	10.20				1610	1130	6535

续上表

型号 \ 参数	$\frac{N}{n}$ kW/r/min	额定扭矩 M N·m	最大扭矩 M_{max} N·m	最大许用交变扭矩 M_{w5} N·m	最大转速 n_{max} r/min	最大接合转速 $n_{接}$ r/min	额定扭角 $\varphi°$	最大扭角 $\varphi°_{max}$	扭转刚度 $c10^6$N·cm/md	径向刚度 c_x N/mm	轴向刚度 c_y N/mm	径向位移许用值 x mm	轴向位移许用值 y mm	角度位移许用值 α (°)	径向间隙 δ/2 mm	轴向间隙(行程) X_{min} mm	摩擦片厚度 S mm	最小片厚 S_{min} mm	最大轴向间隙 X_{max} mm	最大直径 D_0 mm	最大长度 L_0 mm	重量 G kg
KA430	27654.8	270000	812000		900	560			15.5000	24800	6940	3.6	6.8		4.6	10.90				1725	1200	8140
KA450	35304	345000	1034000		800	500			19.7600	26900	7520	3.8	7.2		4.8	11.37				1880	1335	10680
KA470	44130	430000	1292000		720	450			24.7000	28900	8080	4.0	7.6		5.0	11.84				2020	1420	13700
KA490	55162.5	537000	1611000		720	450			30.9000	31200	8720	4.2	8.0		5.2	12.32				2150	1520	17530
换算系数①																						
橡胶等级 W(软)	1	1	0.83	0.83			1.5	1.25	0.67	0.67	0.67	1	1	1								
HD(高阻尼)	1	1	1	1			0.75	0.75	1.33	1.33	1.33	1	1	1								

① 表中数据是指采用橡胶 M 级(中等)的。对于采用 W 级、HD 级的,其数值应以换算系数修正,见上列二行数据。表中的数值是按 70℃温度取得的;

② N 一输入最大功率(kW);n—最大功率的相应转速(r/min),n_{max}—最大工作转速(r/min),$n_{接}$—接合时最大转速,主、被动转速差(接合)(r/min),允许最大线速度 52m/s;

③ M_{w5}—振动频率,$f_0=5$ 次/s,对于实际交变频率 f 次/s,其允许的交变扭矩 $M_{wf}=\pm M_{w5}\sqrt{\frac{5}{f}}$;

④ 表中 c 是指静态刚度,对于动态,其刚度应增加 15%。位移 x,y 数值是指工作时的数值,对 x,y 同时出现应按百分比折算,例如 x30%,而 y 可允许 70%表中数值。

⑤ 阻尼系数 ϕ 及放大系数 ν:W(软橡胶),$\phi=0.55$,$\nu=11.42$;M(中等橡胶),$\phi=0.60$,$\nu=10.46$;HD(高阻尼),$\phi=1.51$,$\nu=4.28$。

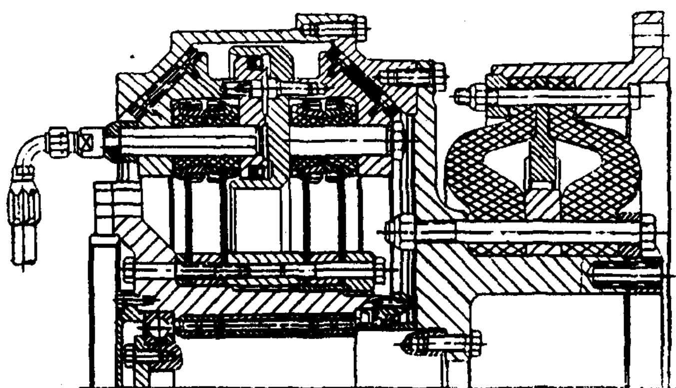


图 6.2.3—45 EZ S联轴节与MESLU离合器的组成

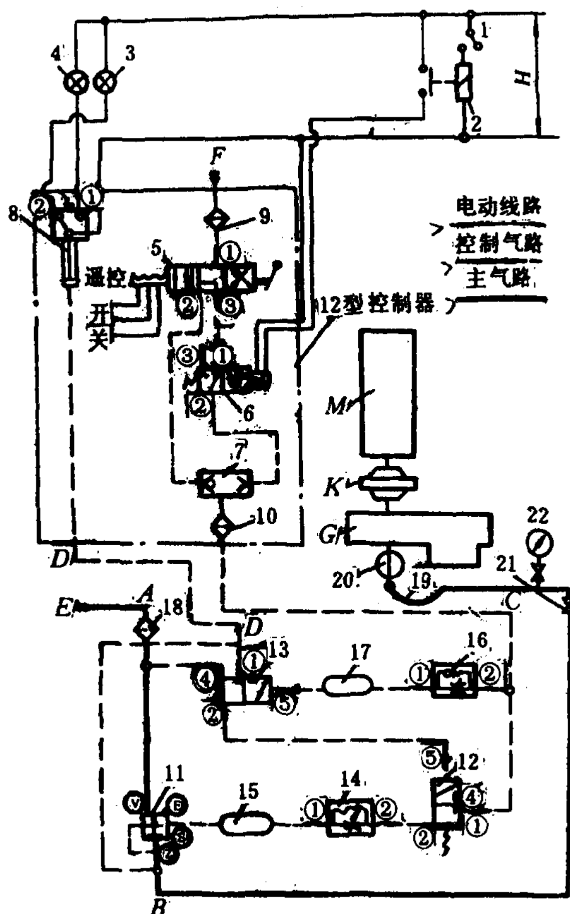


图6.2.3—46 高弹性摩擦离合器的控制系统

M-主机；K-离合器；G-齿轮箱；H-控制电源；E-压紧用的压缩空气；F-控制用的压缩空气；1-离合器控制开关；2-继电器；3-离合器脱开指示器；4-离合器接合指示器；5-4/3滑阀；6-电磁阀；7-二通阀；8-压力开关；9、10、18-滤器；11-继动阀；12-3/2滑阀；13-3/2滑阀；14-节流阀；15-空气瓶；16-节流止回阀；17-空气瓶；19-软管；20-转动进气接头；21-球阀；22-压力表

该结构特点是轴向尺寸大，选择现有离合器与联轴节的组合通用性好。可用于大型并车装置。离合器在脱开时，主机仍与高弹性联轴节一起工作，给副传动动力也提供高的弹性连接。

4.4.3 控制系统

高弹性摩擦离合器的控制系统的特点，是能实现电与气联合遥控，见图6.2.3—46。应急时可用手动控制。

该系统可调正工作压力和接合时间，使工作压力随接合时间增长而逐步提高(软接排)。当工作压力过低时，离合器可自动脱开。需要时还具有转速过低的自动脱开保护装置。

其工作原理为：打开气阀E、F(有气压)时有下列动作：

1)手动控制

打开三位四通手动滑阀5，使F路控制用压缩空气通过阀5，二通单向阀7，滤器10，经C管道流入二位三通阀12；由E路压紧用压缩空气经滤器18和阀13，打开阀12，使C路气通过，又经节流阀14(延时用)，空气瓶15，打开继动阀11，这样E路气能通过阀11，其出口B路气经球阀21，软管19，转动进气接头20而使离合器接合；阀11出口约D路气经压力开关8使离合器接合指示器4显示。系统内节流

止回阀16的作用是使阀13延长打开时间，从而E路气到达阀12时间后于C路气到达阀12。其时离合器处于接合状态。

当脱开需要时，把阀5的手柄放在“关”位，控制气压失压，阀11复位，A路与B路断开，离合器摩擦片就返回脱排，离合器脱开指示器3显示，接合指示器4失示。

2)遥控

阀5的手柄处于遥控位置，即阀5常通，当合上电路接钮1，继电器2就作用，使电磁阀通电而动作，干路控制用气通过9、5和阀6，以后流通程序与上述手动控制一样，以致离合器接排。

3)降压保护

离合器接合后，若气缸压力使B路气低于规定值，则阀12复位、14阀失压，阀11不通，离合器自动脱开，3就显示脱开信号。

4.4.4 LT 型高弹性摩擦离合器的装拆维修要求

LT型高弹性摩擦离合器的结构见图6.2.3—42。其装拆维修要求为：

1)安装时要校正轴系中心线的允许工作偏差值，见表6.2.3—31。

表6.2.3—31 (mm)

允许偏差	型号	LT7～LT56	LT80—LT160	LT220～LT360	LT500—LT800	LT1120—LT1800
外圆径向跳动量	a	0.10	0.12	0.17	0.22 0.25	0.25 0.30
端面不平行度	b	0.08	0.10	0.15	0.20	0.25
轴向尺寸允差	B	±0.25	±0.30	±0.40	±0.50	±0.60
外锥体外圆跳动量		0.08	0.10	0.15	0.20	0.25

2)拆装离合器时必须做好橡胶组合件和限制盘的位置记号，不应更改变动。其螺栓板紧力矩，见表6.2.3—32数值。

表6.2.3—32

螺栓直径mm	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M48
板紧力矩Nm	43	75	180	360	630	1240	2170	3460

3)测量离合器内外锥体间隙$\frac{x}{2}=f\cdot\sin25^\circ$，f为内外锥体间轴向行程值，可用千分表测量，表6.2.3—33、34列出摩擦片的厚度和磨损极限的最小厚度S_{min}值。

表6.2.3—33、34 **LT型摩擦片的极限厚度值** (mm)

摩擦片极限厚度 Smin=5

新的摩擦片厚度S=8				新的摩擦片厚度S=10			
型号	间隙x/2	在X/2的轴向行程		型号	间隙X/2	在X/2的轴向行程	
		f	极限时f_{max}			f	极限时f_{max}
LT7	1.0	2.37		LT360	2.5	5.92	
LT11	1.0	2.37		LT500	2.8	6.63	

续上表

摩擦片极限厚度 Smin=5							
新的摩擦片厚度 S=8				新的摩擦片厚度 S=10			
型号	间隙 x/2	在 X/2 的轴向行程		型号	间隙 X/2	在 X/2 的轴向行程	
		f	极限时 f_{max}			f	极限时 f_{max}
LT18	1.0	2.37		LT630	3.0	7.10	
LT28	1.2	2.84		LT800	3.3	7.81	f+11.8
LT40	1.3	3.08	f+7.1	LT1120	3.5	8.28	
LT56	1.4	3.31		LT1400	3.8	9.00	
LT80	1.5	3.55		LT1800	4.2	9.94	
LT110	1.7	4.02					
LT160	1.9	4.50					
LT220	2.1	4.97					
LT320	2.3	5.44					

两边锥体的间隙应差别不大，保证轴向行程 f 值在 0.5～0.8mm 允差范围内。

使用注意事项：

1）不允许让油、酸、碱及其它有机溶剂沾污橡胶元件的表面；

2）离合器外应安装防护罩，并注意通风；

3）运行时，出现的轴向 x 和径向 y 同时位移，应按表允许值的百分比折算，如轴向 x 值达到 30%时，则径向 y 值只能达到 70%；

4）应避免在超过允许的交变扭矩情况下长期工作，应完全避免在主临界转速附近范围内长期运转，否则将损坏离合器；

5）气动发生故障时，可使用应急结合装置，能维持公称扭矩状态下的运转；

6）工作环境温度－10～60℃。

4.5 摩擦离合器的摩擦材料

表 6.2.3—35 为离合器摩擦面材料主要性能参数。

表 6.2.3—35　**船用离合器摩擦面材料主要性能参数**

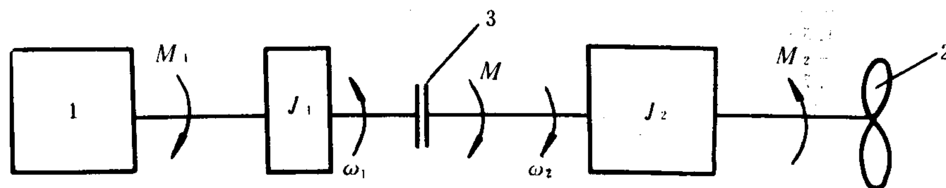
类别	摩擦面材料	对摩材料	摩擦系数μ③ 干式	摩擦系数μ③ 湿式	许用比压(q) 公斤/厘米² 干式	许用比压(q) 公斤/厘米² 湿式	密度 g/cm³	工作面允许②温度(T)℃(干式)	线膨胀系数 10^{-6} mm/m·℃	导热系数K J/cm·s·℃	热容量C J/kg·deg·℃	导温系数 α cm²/S
石棉基	石棉酚醛树脂	钢或铸铁	0.25～0.35	0.08～0.12	6～9	17～29①	1.8～2.4	260		0.0042～0.0063	837.36～962.964	0.004
石棉基	石棉铜丝	钢或铸铁	0.25～0.35		4～6		3.5～4.5	260				
石棉基	石棉橡胶	钢或铸铁	0.3～0.4	0.07～0.15	6～8	25	1.5～2	260				
石棉基	石棉塑料	钢或铸铁	0.25～0.4	0.15～0.20	4～6	10～15		300				
石棉基	新型石棉树脂(Z64)	钢或铸铁	0.3～0.35		10～15			450				
石棉基	新型石棉硫酸钡树脂(ΦK－24A)	钢或铸铁	0.3		50		～1.82	400～1000		0.0063	962.964	0.0036
石棉基	新型石棉铜丝硫酸钡树脂(ΦK－16A)	钢或铸铁	0.3		50		～2.25	400～1000		0.00614	837.36	0.0033
粉末冶金	铜基干式(CM64－20)(原牌号CHO165-8)	淬火钢或铸铁	0.25～0.35		10～20		5.5～6.5	560	18～22	0.3768～0.6280	1465.38	0.04～0.08
粉末冶金	铜基湿式(CM69－25)(原牌号CHO263－6)	淬火钢或铸铁		0.06～0.12		23～44①	5.5～6.5		18～22	0.3768～0.6280	1465.38	0.04～0.08
粉末冶金	铁基干式(FM69－45)(原牌号FB01)	淬火钢或铸铁	0.25～0.4		10～20		4.8～5.5	560	8～12	0.1591～0.1884	502.416～837.36	0.035～0.07
粉末冶金	铁基干式(FM69－20)(原牌号FB02)	淬火钢或铸铁	0.25～0.4		10～20		4.8～5.5	560	8～12	0.1591～0.1884	502.416～837.36	0.035～0.07
金属	淬火钢	淬火钢或铸铁	0.15～0.20	0.05～0.10	2～4	6～10	7.9	260	11～12	～0.4187	460.548～502.416	0.12
金属	铸铁	淬火钢或铸铁	0.15～0.25	0.06～0.12	2～4	6～10	7.2	300	10～11	～0.5443	502.416～544.284	0.17

① 系指目前船用产品中最高比压(实际比压)。
② 系指干式工作表面允许温度。对于湿式，工作面的允许最高温度取决于最高允许油温，一般不得大于 150 ～200℃，瞬时可达 250℃。
③ 最好按实际工作条件由实验确定。如选用时，对比压高、滑动速度大、工作温度高的应取小值；对于动态(接合过程中)，取小值，其余情况可取中间值；有可靠数据，也可取大值。

4.6 船用摩擦离合器的工作特性

4.6.1 简述

图 6.2.3—47 为船舶动力装置简图。



6.2.3—47 船舶动力装置简图

1-主抗；2-螺旋桨；3-摩擦离合器

J_1-主动部分的传动惯量；J_2-从动部分的传动惯量

根据船舶推进要求，船用摩擦离合器的工况有以下几种：

1)合排工况

(1)空负荷接排。输出轴(被接合端轴)条件是 $M_2=0$，ω_2 由 $0\to\omega_1$，$\Delta\omega=\omega_1$。若用于变矩桨轴系上，接排时将螺矩调为零。

(2)部分负荷接排。接排条件是 $M_2=K\omega_2^m$，ω_2 由 $0\to\omega_1$ $\Delta\omega=\omega_1$。一般取 $m=2\sim3$。

2)换排工况

螺旋桨由一个转向换为另一个转向。其条件为 $M_2=K\omega_2{}^m$，ω_2 由 $-\omega_2\to\omega_1$，$\Delta\omega=\omega_1+\omega_2$。有逆转性能的中速主机或倒顺离合器，在摩擦片运行过程中都有这种工况。正常操作方法是先降低主机转速为“额定转速”的 1/2(常用 3/4～1/2)，将换向手柄推向空车位置并停留 2～5s，然后手柄推向另一转向位置，再提高主机转速。最好有紧急倒车换排装置，手柄无须在空车位置停留，而直接换向。个别小功率动力装置船上允许直接在高转速下进行换向，换向动作较快，但冲击太大，对整个机组不利 。

3)脱排工况

摩擦离合器不工作时，应该使摩擦另件彻底脱开。但对多片式湿式离合器，往往发生带排现象。若带排扭矩 $M_K\leqslant1\%M_e$(额定值)或 $M_K\leqslant1\%M_T$(动扭矩)，则能满足船上要求。影响带排扭矩的因素很多，如：(1)滑油量 Q 太多引起，但 Q 减少会使摩擦片温度升高；(2)片间隙 C 太小引起，但 C 增大则行程加长和增加摩损不均；(3)滑油粘度 μ_0 太大引起，但 μ_0 太小会影响动摩擦系数降低；(4)平均摩擦半径 R_{cp}太大引起，但 R_{cp}减小会增多片数，片数多会影响合排，脱排和散热等。

4)低负荷长期滑摩接合工况

这种工况用于渔轮，扫雷艇等微速航行。其条件是 $M_2=K\omega_1{}^2$，$\Delta\omega=\omega_2-\omega_1$。由长期滑摩接合工作，摩擦片会引起过高热量，在结构与材料的选用上必须要考虑其热负荷。

设计新型的或校核现有的摩擦离合器，需要计算传递能力，表 6.2.3—36 为传递能力计算表。

表 6.2.3—36　　**摩擦离合器传递能力计算**

I　初步尺寸计算

序号	计算参数		片式(湿式) L_{1-3}	双锥体(干式、气动) L_{2-3}
1	M		$M=\beta\cdot M_e$	
	参数选择 β	常用	1.5～2.5	1.8～2.5
			(1.7～1.8)	(1.8～2.0)
2	R_{cp}		$R_{cp}=\sqrt[3]{\dfrac{\beta M\times 10^2}{2\pi\mu q_0\psi i}}$	
	参数选择 μ	常用	0.08～0.12	0.35～0.4
			(0.1)	(0.35)
	参数选择 q_0	常用	1.5～3.0	3～10
			(20中速、30高速)	(5～7)
	参数选择 φ	常用	0.20～0.40	0.30～0.5
			(0.30)	(0.40)
	参数选择 i		6～30 (10～18高速 16～24中速)	2
3	R_1 R_2		$R_1=R_{cp}+\dfrac{b}{2}$ $R_2=R_{cp}-\dfrac{b}{2}$	$R_1=R_{cp}+\dfrac{b}{2}\sin\psi$ $R_2=R_{cp}-\dfrac{b}{2}\sin\psi$

符号说明：

- M_e —— 额定扭矩，N.m　$M_e=526.765$
- M —— 计算扭矩，N.m
- N —— 额定功率，KW
- n —— 额定转速，r/min
- R_{cp} —— 摩擦面平均半径，cm
- μ —— 摩擦系数，见表 6.2.3—35
- q_0 —— 摩擦面名义比压，N/cm2 见表 4.2.3—35
- ψ —— 摩擦面宽度比，$\psi=b/R_{cp}$
- b —— 摩擦面宽度，cm
- i —— 工作面数
- R —— 气胎摩擦面半径 cm
- R_1 —— 片，锥面大端外径，cm
- R_2 —— 片，锥面小端内径，cm
- ψ —— 锥面斜角，一般 15～25°(高弹性双锥体取 25°)干式
- β —— 扭矩储备系数

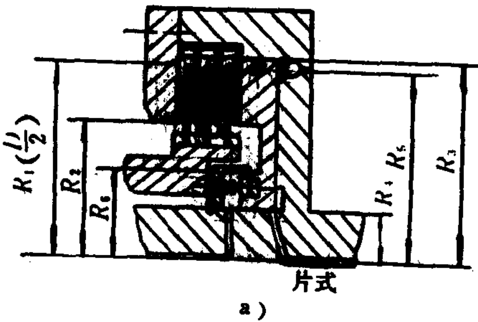
II　压紧力计算

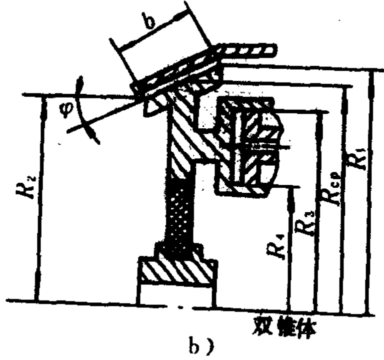
序号	计算参数	片式(湿式)	双锥体
1	N	$N=q_0 2\pi R_{cp}b$	$N=q_0 2\pi R_{c}pb.$
2	P	$P=N$	$P=N.\sin\varphi$
3	P_1	$P_1=P-P_T+P_2+\Delta_2F_3+P_3$	$P_1=P-P_2$
4	p_1	$q_1=P_1/F_2$	
5	P_2	$P_2=P_2F_2=P_T+\Delta_1F_2$	
		有泄油阀 $\Delta_1=0.1\sim0.3$ 动压平衡 $\Delta_1=0.4\sim0.6$ 无泄油阀及动压平衡 $\Delta_1=0.4\sim0.6$	
6	Δ_2	$\Delta_2=p_3F_2$	
		有返回油缸 0.2～0.3 无返回油缸 0 有片间分离弹簧 $(0.1\sim0.2)F_2$ 无片间分离弹簧 0	

符号说明：

- N —— 摩擦面正压力，N
- P —— 保证 N 所需轴向压紧力，N(对气胎应为径向抱紧力)
- P_1 —— 工作缸(或气胎)静压(不转)作用力，N
- P_T —— 工作缸(或气胎)动压(转动)作用力，N
- p_1 —— 工作缸(或气胎)静压油压(或气压)，N/cm^2
- P_T —— 工作缸(或气胎)动压油压(或气压)，N/cm^2
- F_2 —— 工作活塞面积 cm^2
- P_2 —— 工作缸(或气胎)返回力，N
- F_3 —— 返回缸活塞面积，cm^2
- F_0 —— 气胎摩擦块环形面积，cm^2
- P_3 —— 片之间分离弹簧力，N
- p_3 —— 片之间单位油缸面积分离弹簧力，N/cm^2

计算参数 \ 类别			片式(湿式) L_{1-3}	双锥体 (干式、气动) L_{2-3}	符号说明
7	P_T		$P_T=P_T\cdot F_2$		Δ_1 ——活塞返回时、工作缸背压, N/cm² Δ_2 ——活塞工作时返回油缸背压, N/cm² n ——工作缸(或气胎)转速, r/min G_8 ——气胎重量, kg G_9 ——摩擦块重量, kg r_8 ——气胎移动部分重心转动半径, cm r_9 ——摩擦块重心转动半径, cm
			轴向进油 $g\times 10^{-9}n^2(R_3^4-R_4^4)$ 径向进油 $g\times 10^{-9}n^2(R_3^2-R_4^2)^2$		
Ⅱ 实际传扭能力验算					
1	M'		$M'=\mu N'R'_{cp}i'\times10^{-2}$		M' ——实际传递扭矩, N·m N' ——实际摩擦正压力, N R'_{cp} ——实际平均半径, cm i' ——实际工作面数 若算出β太小,超过表Ⅰ-1要求,可通过增加P_1(提高q'_0),若q'_0已较大,可增加i',若i'也很大,则应增加片外径R'_1以及R'_2(包括R'_{cp});反之亦然
	参数值	P'	用实际工作缸油压(气压)P'按表Ⅰ-3式求P'		
		N'	$N'=P'$	$N'=\frac{P'}{\sin\varphi}$	
			$R'_{cp}=\frac{R'_1+R'_2}{2}$(近似) $R'_{cp}=\frac{2}{3}\times\left(\frac{R'^3_1-R'^3_2}{R'^2_1-R'^3_2}\right)$	$R'_{cp}=\frac{R'_1+R'_2}{2}$	
		i'	实际工作面积	2	
2	β'		$\beta'=\frac{M'}{M_e}$		
3	q'_0		$q'_0=\frac{N'}{\pi(R'^2_1-R'^2_2)}$	$q'_0=\frac{N'}{2\pi R'_{Cp}b'}$	





附图(a)片式　　　附图(b)双锥体

4.6.2 合排特性计算

1)静态(无滑摩)传扭能力β。β值是指离合器在不打滑时下能传递最大负荷与额定扭矩的比值。叫做扭矩储备系数β。由表 4.2.3—36 查得β值。

2)动态滑摩计算

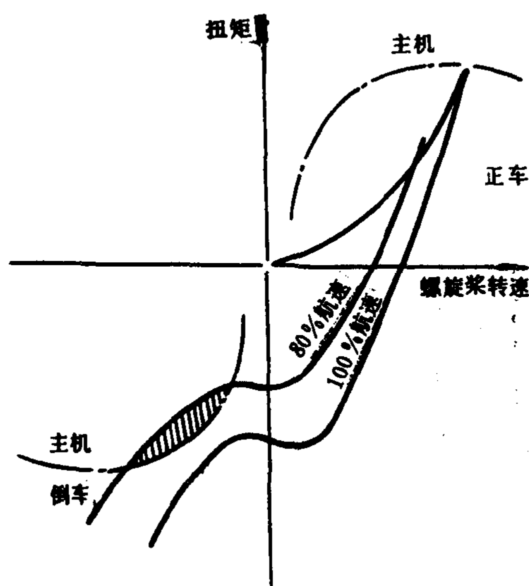


图 6.2.3—48 倒车换排负荷特性

(1)接排及换排特性。要求在接排或换排时的冲击小,这在离合器选型时,要考虑到它的结构、β值、从动部分的负荷及惯量,离合器压紧力的增长情况等因素。换排负荷往往远远大于其主机额定负荷,见图 6.2.3—48 所示。

为了解决倒车换排时的超负荷问题,目前广泛采用软接排以及接合速度限制器等控制方法。软接排主要有二种控制办法:

①逐步升压法。普遍采用于气动控制系统中。控制气路见图 6.2.3—46 所示。图中用可调的节流阀 14 的延时作用,来控制继动阀 11 而获得气压逐步增长,改善接排时的超负荷和冲击。

②二次升压法。普遍用于油压控制系统中。控制油路见图 6.2.3—40 所示。图中改变节流调压阀 12 控制二次油压操纵阀 14 来取得二次升压,油路具有二个油压调压阀 8 与 8′。

速度限制器主要是控制换排时的主从动轴转速,使它不得高于给定的限制转速。我国生产的 $GCO13QCL_3$ 型油压控制系统采用该结构。

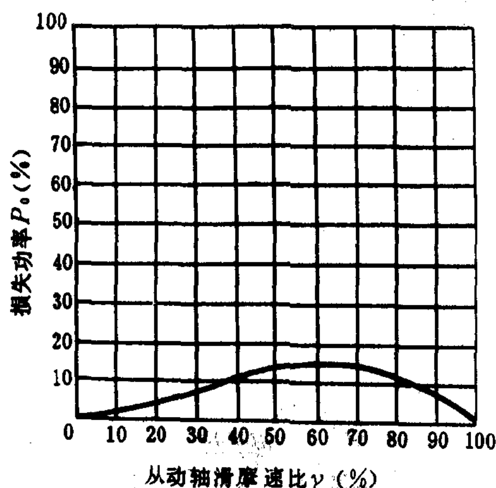


图 6.2.3—49 滑摩功率损失与滑摩速比 r 的关系

(2)动态接排计算。

计算方法及其符号说明见表 6.2.3—37。

接合后同步条件是:$W_1=W_2=W_0$,$t=t_0$,滑摩功$L_0=\int_0^{t_0} M(\omega_1-\omega_2)dt$。

(3)低航速长时间滑摩接合计算。打滑引起滑摩损失功率

$$P_0=\frac{dL_0}{dt}=M(\omega_1-\omega_2)=K\omega_2^2(\omega_1-\omega_2)$$
$$=Kr^2(1-r)\omega_1^3 \tag{6.2.3—23}$$

式中:$M=K\omega_2^n$ 通常 $n=2\sim3$。

滑摩速比 $r=\frac{\omega_2}{\omega_1}$当$\frac{dP_0}{Dr}=0$ 时 $r=\frac{2}{3}$。

$P_e=K\omega_1^3$ 代入上式得最大功率

$$(R_0)_{max}=\frac{4}{27}K\omega_1^3\approx0.15K\omega_1^3=0.15P_e \tag{6.2.3—24}$$

从上式看出,低航速长时间滑摩接合最大功率损失为额定功率 15%。见图 6.2.3—49 所示。

表 6.2.3—37 **摩擦离合器滑摩特性计算**

方法	名称	滑摩功 $L_0(N \cdot m)$	滑摩接合总时间 $t_0(s)$	同步时转速 $n_0(r/min)$ 或角速度 $\omega_0(1/s)$	使用条件说明	符号说明
平均负荷法	考虑主动部分（主机）在滑摩接合时转速变化	$L_0=\frac{\pi}{60}M^{cp}(n_{10}-n_{20})t_0$	$t_0=\dfrac{\frac{\pi}{30}(n_{10}-n_{20})}{\frac{M^{cp}-M_1^{cp}}{J_1}+\frac{M^{cp}-M_2^{cp}}{J_2}}$	$n_0=\dfrac{\frac{M^{cp}-M_2^{cp}}{J_2}\cdot n_{10}+\frac{M^{cp}-M_1^{CP}}{J_1}\cdot n_{20}}{\frac{M^{cp}-M_2^{cp}}{J_2}+\frac{M^{cp}-M_1^{cp}}{J_1}}$	近似法 $\varepsilon_1,\varepsilon_2$,$M_1,M_2,M$均是常数或者取平均值以$M_1^{cp}$，$M_2^{cp}$，$M^{cp}$表示。该方法比较简单，对有些情况误差较大	$\varepsilon_1,\varepsilon_2,M_1,M_2$,分别是离合器主动部分，被动部分的加速度，扭矩 M－离合器摩擦扭矩，其平均扭矩以“cp”表示； $n_{10},n_{20},\omega_{10},\omega_{20}$分别是主动部分，从动部分滑摩开始的转速和角速度； n_0,ω_0 同步后的转速和角速度； $n_1,n_2,\omega_1,\omega_2$ 分别是主动部分，从动部分的转速和角速度； t,t_0 分别是滑摩接合的时间，总时间；J_1,J_2 分别是主动部分和从动部分的转动惯量； L_0 滑摩时总的滑摩功
平均负荷法	不考虑主动部分（主机）在滑摩接合时转速变化	$\frac{\pi}{60}M^{cp}(n_{10}-n_{20})t_0$	$\dfrac{\frac{\pi}{30}(n_{10}-n_{20})}{\frac{M^{cp}-M_2^{cp}}{J_2}}$	$n_0=n_{10}$	较上法误差大些，但计算简单，特别适用于缺乏主动部分(主机等)的数据J_1，其条件要求：$M-M_1$很小，或$J_1 \gg J_2$，即$\beta_{动} \geqslant 1$（稍大），即 M 是逐步增加，M_1由此也是逐步增加	

3)温升 ΔT 计算

通常采用近似方法，即未考虑散热及冷却的影响，一次接合温升为：

$$\Delta T=\frac{L_0}{427 \cdot G \cdot C} \qquad (6.2.3—25)$$

式中：G——离合器发热另件质量，kg；

C——离合器发热另件比热容，对于钢(包括铜基粉末冶金)为 0.115kcal/kg.℃；对于铸铁为 0.125kcal/kg·℃。许用温度可参考摩擦材料表 6.2.3—35。

4.6.3 带排特性计算

带排扭矩 M_R、带排功率损失 P_R 及进出离合器的滑油温升 ΔT 的计算：

$$M_R=\frac{\pi}{30}\frac{2}{\left[1+(1+3.69\times10^{-3}\frac{m}{c_p.p}\frac{F_0R_{cp}{}^2(n_1-n_2)^2}{C\cdot Q}\mu_0\right]^{\frac{1}{2}}}\cdot\frac{\mu_0F_0R_{cp}{}^2(n_1-n_2)}{10^2\times c}\qquad(6.2.3-26)$$

$$P_R=\frac{2\pi M_R(n_1-n_2)}{75\times60}=\frac{M_R(n_1-n_2)}{960.7}\qquad(6.2.3-27)$$

$$\Delta_T=\frac{M_R(n_1-n_2)632}{716.20c_p\cdot r\cdot Q}\qquad(6.2.3-28)$$

$$T=T_0+\Delta_T\qquad(6.2.3-29)$$

式中：　i——表示第i个摩擦工作面单元(环形面积)；

M_i——表示第i个单元滑油阻力矩,N.m；

μ_i——第i个单元上滑油动力粘度,kgf/cm2①；

μ_0——温度在 t_0 时的粘度(进油温度为 t_0),kg.s/cm²；

M_R——表示总的带排扭矩,N.m；

r_i、r_{i+1}——分别表示第i个及i+1个单元的内径及外径；

P_i,ΔT_i——分别表示第i个单元群带排功率损失(kW)和滑油温升℃；

P_R——表示总的带排消耗功率,kW；

C_{pi},P_i——分别表示第i个单元的滑油比热容 kcal/kg。℃和密度 kg/cm³；

Q——滑油流量,m³/n；

m——滑油的粘度温度系数；

T,T_0——滑油排出离合器及进入离合器的温度,℃；

F_0——摩擦片名义总面积,cm²；

R_{cp}——摩擦片的平均半径,cm；

C——摩擦片间隙,cm。

公式中的符号见图 6.2.3—50 和 6.2.3—51。

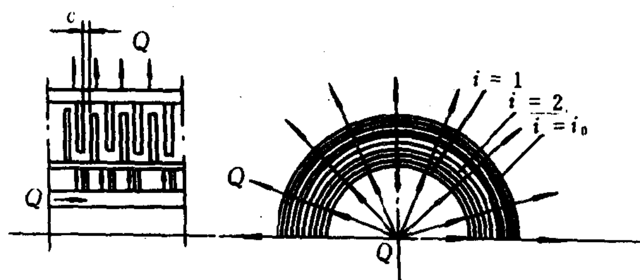


图 6.2.3—50　片式离合器带排扭矩分析简图之一

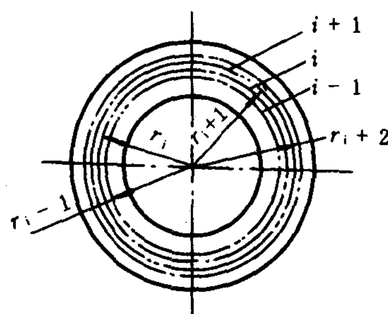


图 6.2.3—51　片式离合器带排扭矩分析简图之二

4.7　离合器的使用和维护

1)安装时要注意保持主从动轴的严格同心度、以使接合元件良好接合(例如：一般要求两轴的同轴度应在 0.05mm 以内),保持主、从动轴之间有一定的安装间隙以避免接触；注意润

① 1kgf・s/m²=9.806Pa・s。

滑油路的畅通;注意接合元件等易损件的拆装更换方便,以及必要的安全保护。

2)严格按规定工况使用离合器、不允许长期超过离合器的额定扭矩工作、更不能超过离合器许用的最大扭矩工作。工况变动时应对原离合器能否适应新的工况,审慎地考虑和应用。

3)定期检查离合器的性能是否保持良好,及时对离合器进行大、小修、更换磨损件及润滑油。

5 推 进 器

5.1 简 述

当船舶在水面或水中航行时，必然会遇到阻力。为了使船舶保持一定的速度向前航行，必须为船舶提供一定的推力或拉力，以克服遭受到的阻力。其中最简单的方式是用外加的拖曳力或风力，力的大小与阻力相等，方向与阻力相反。另一种是船的内部提供能源，船上设有专门的装置或机构，把能源（发动机）发出的功率转换成推动船舶前进的功率，这种专门的装置或机构称为推进器。

推进器的类型很多，民船中最常用的是螺旋桨，可调螺距螺旋桨，导管螺旋桨，挂桨和风帆等。

1）螺旋桨

螺旋桨俗称车叶，它是由若干桨叶（二叶到七叶）组成，桨叶固定在桨毂上，各相邻叶片之间的相隔的角度相等。当发动机转动螺旋桨时，桨叶受到水流的反作用力，推动船舶前进。螺旋桨由于构造简单，造价低廉，使用方便，效率又较高，故一直是船上应用最广的一种推进器。

2）可调螺距螺旋桨

可调螺距螺旋桨又称可变螺距螺旋桨，简称为可调桨。普通螺旋桨的螺距是固定的，不能调节；而这种推进器利用设置在桨毂中的操纵机构，可使桨叶转动，以改变螺距。由于桨叶的螺距可根据需要进行调整，故船舶在不同航行状态时，主机均能充分发挥功能。但机构较复杂，造价和维修费用都较高。

3）导管螺旋桨

在螺旋桨的外围套上一个纵切面为机翼型或折角线型的套筒，这种推进器就是导管螺旋桨，多用于拖轮和拖网渔轮等多工况船舶，因为它在载荷较重时，效率较普通螺旋桨高。

4）挂桨

主要用于内河小船。主机安置在甲板上，通过伞齿轮和垂直轴带动螺旋桨，螺旋桨可作360°回转，操纵灵活。

5）风帆

自远古时代至上世纪初，风帆一直是船舶的主要推进装置。其优点是原动力（风力）是完全无代价的，但由于风向和风力的限制，使得船舶的航速和操纵也都受到影响，故自蒸汽机作为船舶的主机后，帆就为其他型式的推进器替代，目前只用于游艇、教练船等。自从发生石油危机后，为了节省燃料费用，航运界又对风力的利用感到兴趣，提出了风帆助推型式推进，船上除配备推进主机外，还利用风力作为一部分动力，建造了一些风帆助推节能船。

5.2 螺旋桨各部分名称

螺旋桨通常由桨叶和桨毂构成。

桨叶固定在桨毂上，普通螺旋桨常用三叶或四叶，二叶螺旋桨仅用于机帆船或小船上，五叶或六叶螺旋桨则用于大功率大吨位船舶。

桨毂是一个锥形体，起固定桨叶和联接桨轴的作用。本身不产生推力，为了减少水阻力，在桨毂后面加一整流罩，与桨毂形成一个光顺流线形体，称为毂帽。

从螺旋桨后面向船首方向看，正车时桨叶顺时针方向旋转的螺旋桨称为右旋桨，逆时针方向旋转的称为左旋桨。对双桨船，如果右桨为右旋桨、左桨为左旋桨时称为外旋桨，反之则为内旋桨。桨的各部分名称见图 6.2.3—52。

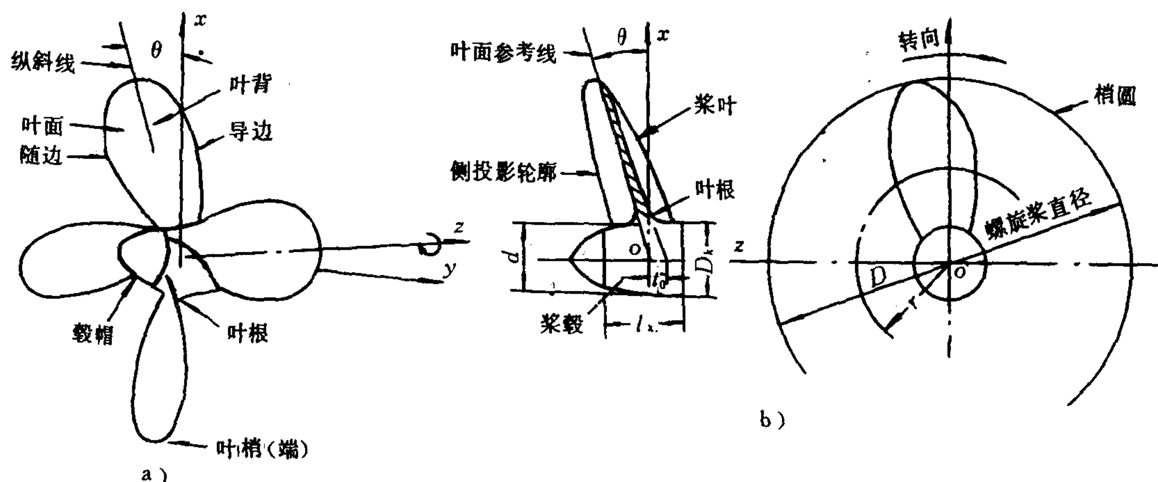


图 6.2.3—52 螺旋桨各部分名称

1）螺旋桨直径　螺旋桨旋转时叶梢的圆形轨迹称为梢圆，梢圆的直径称为螺旋桨直径，以 D 表示。

2）盘面积　螺旋桨梢圆的面积称为盘面积，盘面积 $A_0=\pi D^2/4$。

3）盘面比　螺旋桨伸张面积 A_E 与盘面积 A_0 之比称为盘面比。如果将螺旋桨各半径处叶面的螺旋桨线段伸直，然后将伸直后的线段实长放在相应半径处的水平线上，各端连成的光顺曲线的轮廓所包含的面积即为螺旋桨伸张面积 A_E。

4）叶面及叶背　从螺旋桨后面向船首方向看时所见到的桨叶的一面称为叶面，另一面称为叶背。

5）叶梢及叶根　桨叶的外端称为叶梢，桨叶和桨毂联接处称为叶根。

6）导边及随边　螺旋桨正车旋转时桨叶边缘在前面者称为导边，另一边为随边。

7）螺距　螺旋桨的叶面通常是螺旋面的一部分，如果一根直线的一端以等速沿着轴前进，而同时另一端绕轴以等角速度旋转，这样就形成一个螺旋面，旋转一周轴向前进的距离称为螺距。

8）螺距比　螺旋桨的螺距 H 与直径 D 之比称为螺距比 H/D。

9）毂径比　毂径 d 与螺旋桨直径 D 之比称为毂径比 d/D，一般 d/D＝0.15～0.20。

10）纵斜角　螺旋桨叶面母线倾斜的角度称为纵斜角 θ。

5.3 螺旋桨工作原理

自从19世纪60年代以来，各国科学家根据经典的牛顿定律及流体力学理论，提出了螺旋桨动量理论，叶元体理论及环流理论等，对螺旋桨工作原理日臻完善，促进了推进器的设计及发展。其中动量理论（又称理想推进器理论）是以推进器前后流体动量变化解释产生推力的原因，通过水的动量变更率来计算推力的大小，这个理论能比较简要地说明推进器工作原理，结论有一定的实际意义。叶元体理论则把桨叶看作由孤立的叶元体组成，注重每一叶元体所受到的力，用以计算整个螺旋桨的推力和转距。环流理论是将机翼理论应用于螺旋桨，解释叶元体受力和水的速度的变更关系，又称涡流理论。

根据牛顿的作用与反作用定律，推进器转动以后将水向后推拨，而水流受到推进器作用就得到了与推力方向相反的附加速度（又称诱导速度），同时给推进器以反作用推力。为使问题简单起见，假定：

1）推进器是一个直径为D而没有厚度（轴向尺度趋于零）的圆盘，具有吸收外来功率并推水向后的功能。

2）水为不可压缩的理想流体。

3）水流速度及压力在盘面上均匀分布。

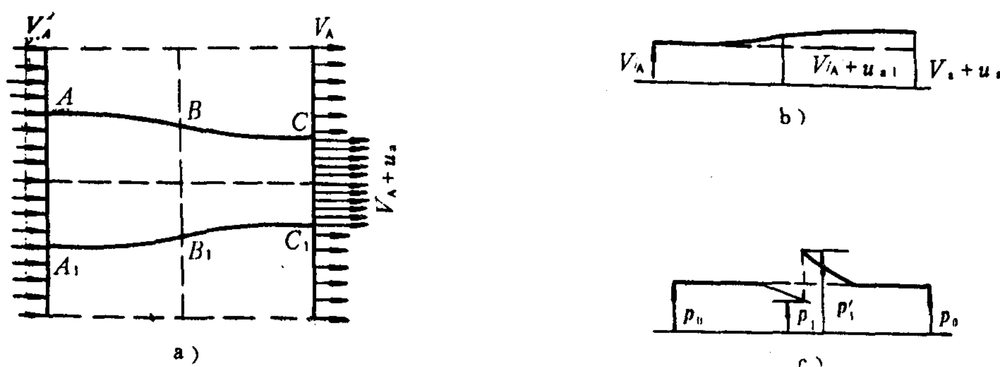


图6.2.3—53 理想推进器工作图

设推进器在无限的静止流体中以速度 V_A 前进，我们应用运动转换原理，假定圆盘不动，而流体从无限远的前方以匀速 V_A 流向圆盘（见图6.2.3—53AA_1剖面），远前方的水压力为 p_0。由于推进器的作用，流体流到盘面的前方（BB_1剖面）已具有轴向诱导速度，流速变为 V_A+U_{a1}，水压力下降到 P_1。而当水流经过盘面时，压力跃增到 P_1'，流速仍保持变化。水流离开盘面后，速度继续增加，而压力下降。到推进器远后方处（CC_1剖面），速度将达到最大值 V_a+u_a，而压力回复到 P_0。理想推进器前后流动情况可以看作为一个变截面的圆形流管，这样，单位时间内流过推进器盘面（面积为 A_0）的流体质量为 $m=\rho A_0(V_A+u_{a1})$，自流管远前方 AA_1 剖面流入的动量为 $\rho A_0(V_A+u_{A1})V_A$，而在远后方 CC_1 剖面流出的动量为 $\rho A_0(V_A+u_{A1})(V_A+u_A)$，故水流获得的动量增量为两者之差，即为 $\rho_{A0}(V_{A0}+u_{A1})u_a$。

根据动量原理，作用在流体上的力等于单位时间内流体的动量增量，而流体的反作用力即为推力，故推进器所产生的推力 T_i 为：

$$T_i=mu_a=\rho A_0(v_A+u_{a1})u_a \tag{6.2.3—30}$$

为了寻求盘面处与远后方速度增量的关系，对推进器前后两段分别用伯努利方程计算：

$$p_0+\frac{1}{2}\rho V_A{}^2=h_1+\frac{1}{2}\rho(V_A+u_{a1})^2$$

$$p_0+\frac{1}{2}\rho(V_A+u_a)^2=P'_1+\frac{1}{2}\rho(V_A+u_{a_1})^2$$

简化后即可得：

$$p'_1-p=\rho\left(V_A+\frac{1}{2}u_a\right)u_a \tag{6.2.3—31}$$

将式(6.2.3—54)两边乘以盘面积 A_0，即可得推力的另一表示式：

$$T_i=(p_i-p_1)A_0=\rho A_0\left(V_A+\frac{1}{2}u_a\right)u_a \tag{6.2.3—32}$$

比较式(6.2.3—30)和式(6.2.3—32)可得：

$$u_{a_1}=\frac{1}{2}u_a \tag{6.2.3—33}$$

由式(6.2.3—33)可知，理想推进器盘面处的轴向诱导速度为远后方增量的一半。

理想推进器的效率等于推进器有效功率和消耗功率之比，推进器的有效功率为 T_iV_A，而消耗功率等于流管前后动能之差：

$$\frac{1}{2}m[(V_A+u_a)^2-V_A{}^2]=mu_a\left(V_A+\frac{1}{2}u_a\right)=T_i\left(V_A+\frac{1}{2}u_a\right)$$

故理想推进器效率为：

$$\eta_{iA}=\frac{T_iV_A}{T_i\left(V_A+\frac{1}{2}u_a\right)}=\frac{V_A}{V_A+\frac{1}{2}u_a} \tag{6.2.3—34}$$

由式(6.2.3—57)可知，理想推进器效率总是小于 1。

从式(6.2.3—32)可解出：

$$u_a=-V_A+\sqrt{V_A{}^2+\frac{2T_I}{\rho A_0}} \tag{6.2.3—35}$$

代入式(6.2.3—34)可将理想推进器效率 η_{iA} 写成：

$$\eta_{iA}=\frac{2}{1+\sqrt{1+\frac{T_i}{\frac{1}{2}\rho A_0V_A^2}}} \tag{6.2.3—36}$$

式中 $T_i/\frac{1}{2}\rho A_0V_A{}^2$ 称为推进器的载荷系数 C_T，故可将式(6.2.3—35)及式(6.2.3—34)改写成：

$$\frac{U_A}{V_A}=\sqrt{1+C_T}-1 \tag{6.2.3—37}$$

$$\eta_{iA}=\frac{2}{1+\sqrt{1+C_T}} \tag{6.2.3—38}$$

由式(6.2.3—38)可知：

1)理想推进器效率取决于载荷系数 C_T，C_T 愈小，则效率愈高。

2)在推力 Ti 和速度 V_A 一定条件下(由设计条件及船型确定)，要使载荷系数减小，必须加大盘面积 A_0，对螺旋桨来说，增大螺旋桨的直径可提高效率。

此外，从式(6.2.3—37)也可看到，当进速 V_A 一定时，C_T 愈大，u_a 也愈大，根据流体力学中的连续性定理，尾流收缩也愈厉害。在螺旋桨设计中常常根据螺旋桨载荷的大小，分为轻载荷，中载荷和重载荷螺旋桨，象拖轮螺旋桨属重载荷螺旋桨，普通货船及油船属中载荷，而双桨

船一般则属轻载荷。图 6.2.3—54 以船舶的航速为横座标，载荷系数的倒数 $1/c_t$ 为纵坐标，给出了各类船舶的范围。

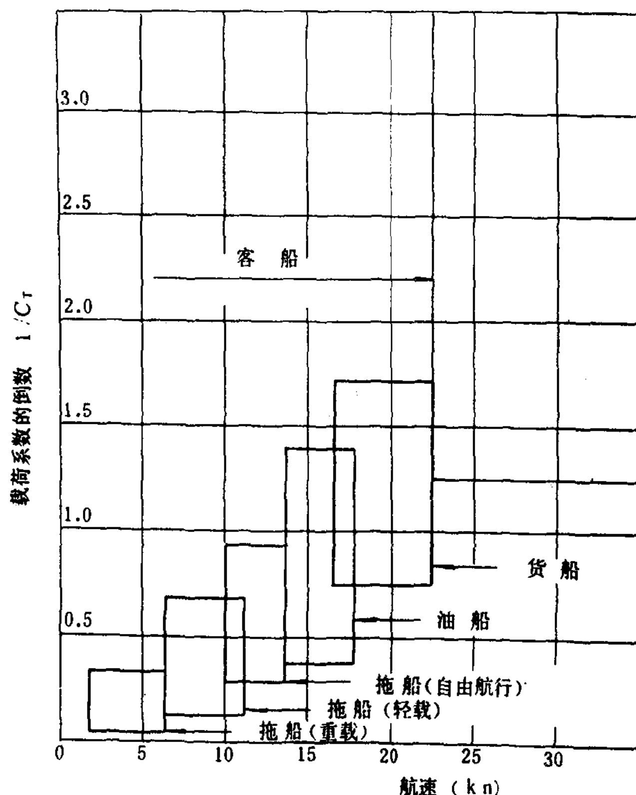


图 6.2.3—54 民船载荷系数分布范围

5.4 螺旋桨的选配

5.4.1 主要参数选择

初步完成船舶线型设计，并通过估算或船模试验确定船舶的有效功率以后，即可进行螺旋桨设计，通常可分为两大类问题。

1）根据设计任务书对航速的要求进行螺旋桨设计，确定所需主机的转速和功率（可以根据选定的螺旋桨直径，确定螺旋桨的最佳转速、螺距比，螺旋桨效率及主机功率；也可以根据给定的转速，确定螺旋桨的最佳直径、螺距比、螺旋桨效率及主机功率）。

2）主机已选定，要求设计一个能充分吸收主机功率的螺旋桨，使船舶达到可能的最大航速。

几个影响船舶推进的主要参数的选择：

1）螺旋桨数目

螺旋桨数目的选择主要从传递动力的大小，船舶吃水、推进效率以及营运经济性等因素考虑决定。一般来说，在主机功率相同的条件下，单桨推进往往较双桨推进为好，因为当排水量相同时，虽然单桨船的裸体阻力一般稍大于双桨船，但常规的双桨船由于带有轴包套或轴支架等轴系附件，因而其总阻力较单桨船高；单桨船的船身效率也较双桨船高，但是螺旋桨的敞水效率较低，特别是随着船舶尺度及方形系数的增大，由于载荷系数加大，敞水效率将迅速下降，故有一些船如采用双桨推进，所需主机功率有可能比单桨推进为低。根据瑞典国立船模试验池的统计资料：

① 13000t 级定期货船，双桨推进比单桨推进所需主机功率约高 10%～15%。

② 70000t 级油船，双桨推进比单桨推进约高 0%～2%。

③ 300000t 级超级油船，双桨推进可比单桨推进低 2%～5%。

双桨船的优点是操纵性能较好，所以对于要求速度快、操纵灵活的客船、客货船和渡轮等多用双桨。江船由于受吃水限制，螺旋桨直径往往受到限制，而且要求有较良好的操纵性，故也多采用双桨推进。

2）螺旋桨叶数

叶数的选择应根据推进性能、振动和空泡等方面权衡考虑，通常以采用三叶及四叶居多。

英国国家物理实验室曾专门研究过叶数（从二叶到六叶）对推进性能的影响，试验研究结果表明，在主机功率相同的情况下，螺旋桨效率随着叶数的增加而减小。中国在 16000t“长春”型煤矿两用船设计过程中，曾对两种机型分别用图谱设计法对四叶及五叶桨作了比较，计算结

果如表 6.2.3—38。即四叶桨的直径较五叶桨大，盘面比小，螺距比小，但效率较五叶桨略高。

表 6.2.3—38　**四叶及五叶桨比较**

主机功率×转速 / 项目	8950kW×122r/min		6710kW×115r/min	
	四叶	五叶	四叶	五叶
直径　m	5.620	5.308	5.460	5.195
盘面比　A_E/A_0	0.630	0.743	0.550	0.672
螺距比　H/D	0.790	0.881	0.820	0.884
敞水效率	0.562	0.554	0.580	0.572

选择叶数时尚需结合振动问题综合考虑，由于螺旋桨是在船尾后面不均匀流场中工作，船壳板上受到螺旋桨引起的周期性变动的水压力作用，这种周期性变化的水压力称为脉动压力，沿船壳板表面的脉动压力总和称为表面力。另一方面，作用于螺旋桨表面上的压力会通过轴系传给船体，引起轴系和船体的振动，这种力称为轴承力。这两种力中，螺旋桨诱导的表面力是导致船体尾部剧烈振动的主要原因。一般随着叶数的增加，螺旋桨引起的脉动压力有所下降，故在大型船舶上，有的采用五叶甚至六叶桨。

此外，还应避免和船体或轴系发生共振，即避免叶频 nZ（转数与叶数的乘积）和船体或轴系的固有频率相等或相近，同时还应避免主机气缸数与叶数相等或恰为其整倍数。例如主机是四缸两冲程机时，应避免采用四叶桨；八缸四冲程机也应避免用四叶桨；六缸四冲程机应避免采用三叶桨。

3）螺旋桨直径及转速

在一定载荷下，螺旋桨直径较大，转速较低者，效率较高，故目前时兴采用低转速大直径螺旋桨，以达到节能效果，甚至还有采用低速柴油机作为主机的船舶上，还设置减速齿轮箱以降低螺旋桨转速。表 6.2.3—39 中列出两种主机功率情况下，降低螺旋桨转速对螺旋桨效率的影响。

表 6.2.3—39　**螺旋桨转速与直径对推进器效率的影响**

主机功率　kW	7720			12280		
螺旋桨转速 r/min	150	112	58	122	90	58
螺旋桨直径 m	5.2	6.2	9.0	6.5	7.85	10.25
螺旋桨效率	0.550	0.601	0.705	0.475	0.530	0.606

从表 6.2.3—39 可以看出，在第一种情形（主机功率为 7720kW）下，螺旋桨直径自 5.2m 增加到 6.2m，螺旋桨敞水效率增加 9.3%；如增大到 9m，效率可增加 28.2%。当然，随着直径的增大，伴流分数减小，船身效率将有所下降，但总的推进效率仍能有所提高。一般推进效率的增益，约为 60%～70%螺旋桨敞水效率的增加。但直径加大之后，重量将加大，与船体的间隙将减少，螺旋桨直径一般应小于 2/3 船的吃水。对于象散货船等经常在压载情况下航行的船舶，在选择螺旋桨直径时必须避免叶梢露出水面，并应兼顾压载状况下的效率，叶梢如露出水面，将使推力及效率下降，并提早出现空泡现象。关于螺旋桨直径与尾柱及舵的间隙，各国规范中都有一定规定，中国船舶检验局颁布的《钢质海船入级与建造规范》及长江钢船建造规范都有详细规定。

4）螺距

一般来说，螺旋桨吸收的功率和转速为一定时，如螺旋桨直径增大，螺距就必须减小。如果螺旋桨的型式、叶数和盘面比相同，而直径变动范围是在最佳直径的－5%～＋10%之内，可以认为直径与螺距之和为一常数，即：

$$H+D=常数$$

因此，可以根据母型船的螺旋桨预估新船螺旋桨的螺距或直径。

螺旋桨的螺距沿径向分布，大部分螺旋桨系列都采用等螺距分布（日本 AU 型系列桨及大部分荷兰 B 系列桨都是等螺距，B 系列中四叶桨的螺距自 0.6R 至叶梢处为等螺距，自 0.6R 向叶根逐渐递减，当叶根处减少 20%，其余均为等螺距），这主要是从制造方便考虑，而且从试验结果表明，对常规船型，螺距沿径向分布的变化，对螺旋桨的敞水效率影响甚微。

5.4.2　螺旋桨估算

螺旋桨的设计方法有两种：即图谱设计法及环流理论设计法。

图谱设计法是根据船模试验池发表的螺旋桨模型敞水系列试验结果所绘制的图谱进行设计，也即根据已知条件在图谱所提供的范围内选择最适宜的方案。目前最常用的有荷兰瓦格宁根船模试验池 B 型螺旋桨设计图谱（范围较广，叶数自三叶至七叶，盘面比自 0.35～1.05）及日本 AU 型螺旋桨设计图谱（三叶至六叶，盘面比 0.35～0.85）。图谱设计的优点是计算方便，结果可靠，是我国目前应用最广的一种设计方法。其缺点是设计对象一定要在图谱所提供的模型螺旋桨范围内。

环流理论设计法是指按环流理论及各种叶切面的数据进行螺旋桨设计，其优点是可以根据具体情况选择各半径处最适宜的螺距及切面形状，可以对空泡问题及振动问题在设计过程中进行较周密的考虑，对减振及减少螺旋桨空泡现象往往可以得到改善。其缺点是计算比较复杂，设计出来的螺旋桨加工工艺也较复杂，目前在中国应用较少。

关于这两类设计方法在《船舶推进》的书藉上都有详细介绍，这里仅提供简易估算直径及转速的公式。

1）直径估算

$$D=\frac{kp_D{}^a}{V_A{}^b n^c} \qquad (6.2.3—39)$$

式中：D ——螺旋桨直径，m；

P_D ——螺旋桨收到功率，kW；

V_A ——螺旋桨进速，kn；

$V_A=V(1-W)$，Vn 为船舶设计航速，W 为伴流分数，可用经验公式计算：$W=0.5C_B-0.05$（单桨船）；$W=0.55C_B-0.20$（双桨船）。

n ——螺旋桨转速，r/min；

k、a、b、c ——系数，见表 6.2.3—40，表中的 B3－35 代表 3 叶 b 系列桨，其盘面为0.35。

表 6.2.3—40　**直径估算式中各系数**

型式＼系数	k	a	b	c
B3—35	17.10	0.216	0.078	0.569
B3—50	16.55	0.220	0.098	0.561

续上表

型式 \ 系数	k	a	b	c
B3—65	14.61	0.228	0.138	0.545
B4—40	17.85	0.202	0.011	0.595
B4—55	14.70	0.219	0.094	0.562
B4—70	15.29	0.215	0.075	0.570
B4—85	14.69	0.218	0.088	0.565
B4—100	14.36	0.217	0.084	0.566
B5—45	14.94	0.216	0.081	0.567
B5—60	15.09	0.215	0.073	0.571
B5—75	15.00	0.214	0.070	0.572
B5—105	15.03	0.212	0.059	0.576

也可用下式估算：

$$D=17P_D^{0.2}/n^{0.6} \tag{6.2.3—40}$$

2.转速计算

如直径已选定，可用下式估算转速：

$$n=c\left(\frac{P_D}{D^5}\right)^{\frac{1}{3}}$$

式中：C——系数，对四叶桨C=100，三叶桨C=110。

5.4.3 螺旋桨材料

制造螺旋桨的材料主要有铜合金、铸铁和铸钢等金属材料，也有用玻璃钢及尼龙等非金属材料，其中以铜合金用得最为普遍。

1)铜合金

中国用于制造螺旋桨的两种铜合金是锰青铜及铝青铜。

锰青铜的机械强度高，延伸率大，抗冲击性能好，耐海水腐蚀，制造和加工比较容易，但抗空泡剥蚀性能较差。

铝青铜中的含铜量大于锰青铜，并添加铝、锰、铁和镍等元素。除具有锰青铜的优点外，重量较轻，疲劳强度高，多用于大型高速船舶。由于抗拉强度高及抗海水腐蚀性能好，桨的厚度及面积可相应减小，一般可比锰青铜螺旋桨提高效率1%。其缺点是熔炼、浇铸技术要求高，成本较高。

这两种铜合金的化学成分见表6.2.3—41，机械性能见表6.2.3—42。

表6.2.3—41 **锰青铜及铝青铜的化学成分**

名称	牌号	铜Cu%	锰Mn%	铁Fe%	锌Zn%	铝Al%
锰青铜	(ZHMn55—3—1)	53—59	3—4	0.5—1.5	余量	<0.6
铝青铜	(ZHAl67—5—2—2)	67—70	2—3	2—3	余量	4.5—6

表 4.2.3—42　　**锰青铜及铝青铜的机械性能**

名　　称	牌　　号	抗拉强度　σ_b(N/mm²)	伸长率 δ(%)
锰　青　铜	(ZHMn55—3—1)	≥470	>20
铝　青　铜	(ZHAL67—5—2—2)	≥610	≥12

2)铸铁

铸铁螺旋桨成本较低，铸造也比较容易，但机械强度低，质脆而易断，且易被海水腐蚀，使用寿命较短。此外，由于强度低，切面厚度较大，螺旋桨效率降低，故仅用于小型低速船上。

3)铸钢

铸钢螺旋桨的优点是机械强度高，抗冲击性能好，但在铸造过程中变形较难控制，使得几何尺度产生较大偏差，加工较困难，成本较高，而且比铸铁更易被海水腐蚀，使用寿命短，目前多用作备件。

4)玻璃钢

内河船螺旋桨有用玻璃钢作为螺旋桨材料优点是重量较轻(约为铜质螺旋桨重量的 1/4～1/3)，装拆方便，冲击韧性好，不为海水腐蚀及制造工艺简单。但其缺点是机械强度较低，在长期负荷下有懦变现象，耐磨性较差。

此外，还有用镍合金或钛合金等制造螺旋桨，主要是为提高抗腐蚀性能及抗空泡剥蚀性能，但由于成本较高、采用者较少。

5.5　特种推进器

5.5.1　可调螺距螺旋桨

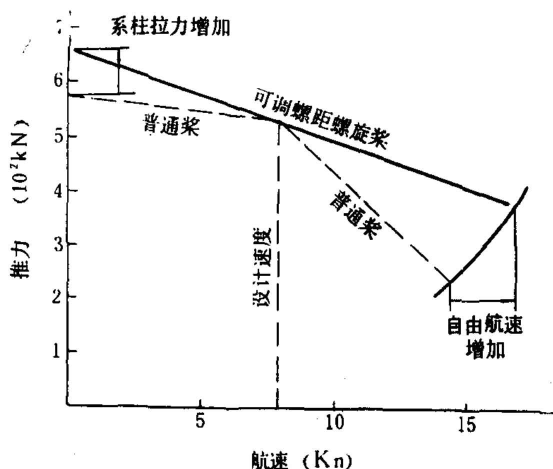


图 6.2.3—55　可调桨和普通桨推力比较

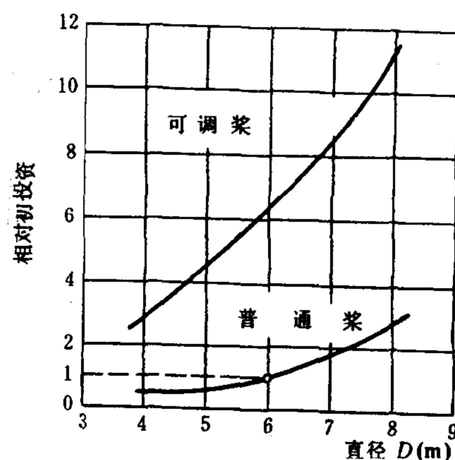


图 6.2.3—56　可调桨和普通桨初投资的比较

普通螺距螺旋桨的缺点是由于螺距是固定而不能调节的，不能在所有载荷情况下都能发挥主机全部功率。轻载时，由于转速的限制，不能充分发挥功率，重载时又受到扭矩限制。如采用可调螺距螺旋桨，可在驾驶室操纵台遥控，改变螺旋桨的螺距与转速，对于多工况船舶(如拖轮、拖网渔船等)，既可以保证在自由航行时达到较高的航速，又能在拖曳状态下发出较大的拖力。图 6.2.3—55 表示了可调桨和普通桨的功能比较，图中以推力为纵坐标，航速为横座标，实线代表可调桨的性能，虚线是普通桨。在设计航速时，两者发出的推力基本相同，但可调桨在

系柱工况下发出较大的推力，自由航速时可提高航速。

可调桨的其他优点如下：

1)具有良好的加速、停车及操纵性能。

2)在载荷发生变化情况时，可发出相同的推力。

3)对航速及载荷经常有变化的船舶，营运经济性好。

4)可通过改变螺距的方法，不用改变主机转速而改变航速。

5)船舶可采用不可逆转的主机，省去换向装置。同时由于船舶无论在前进、减速及后退过程中可完全不改变主机的转速及转向，故主机调速次数减少，减轻机器部件的磨损，延长主机使用期限。

6)如船上装有轴带发电机，可保持转速稳定。

可调桨主要用于下列两类船舶：

1)对灵敏性要求较高、经常要变换工况的船舶、如港作拖船及渡船等。

2)航程远且具有多种工况的船舶，如拖网渔船及捕鲸船等。

可调桨的缺点是：

1)机构复杂。

2)初投资高，约为普通定距桨的 4～5 倍(见图 6.2.3—56)。

3)桨毂结构及液压系统的维修费用高。

4)因在桨毂内装有操纵机构，毂径比 a/D 较普通桨大(约在 0.25～0.33)，且桨叶根部较厚，故在正常运转情况下，效率较普通定距桨低 3%～4%。

可调桨结构及其操纵系统：

1)瑞典 JWBERG 公司生产了 BERG 型可调桨系列，其结构型式如下：

(1)D 型可调桨系统

D 型螺旋桨毂结构见图 6.2.3—57，它有 3 或 4 个叶片，用 Cu－Ni－Al 青铜铸成。

螺距控制系统有三种：HD 型，HM 型和 H_e 型

图 6.2.3—58 为液力操纵系统组件图。

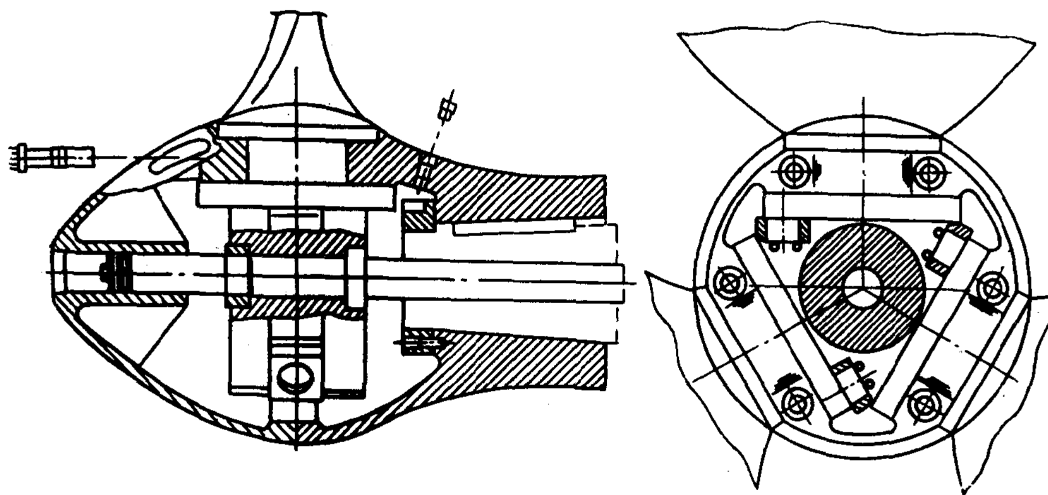


图 6.2.3—57　D 型桨毂结构图

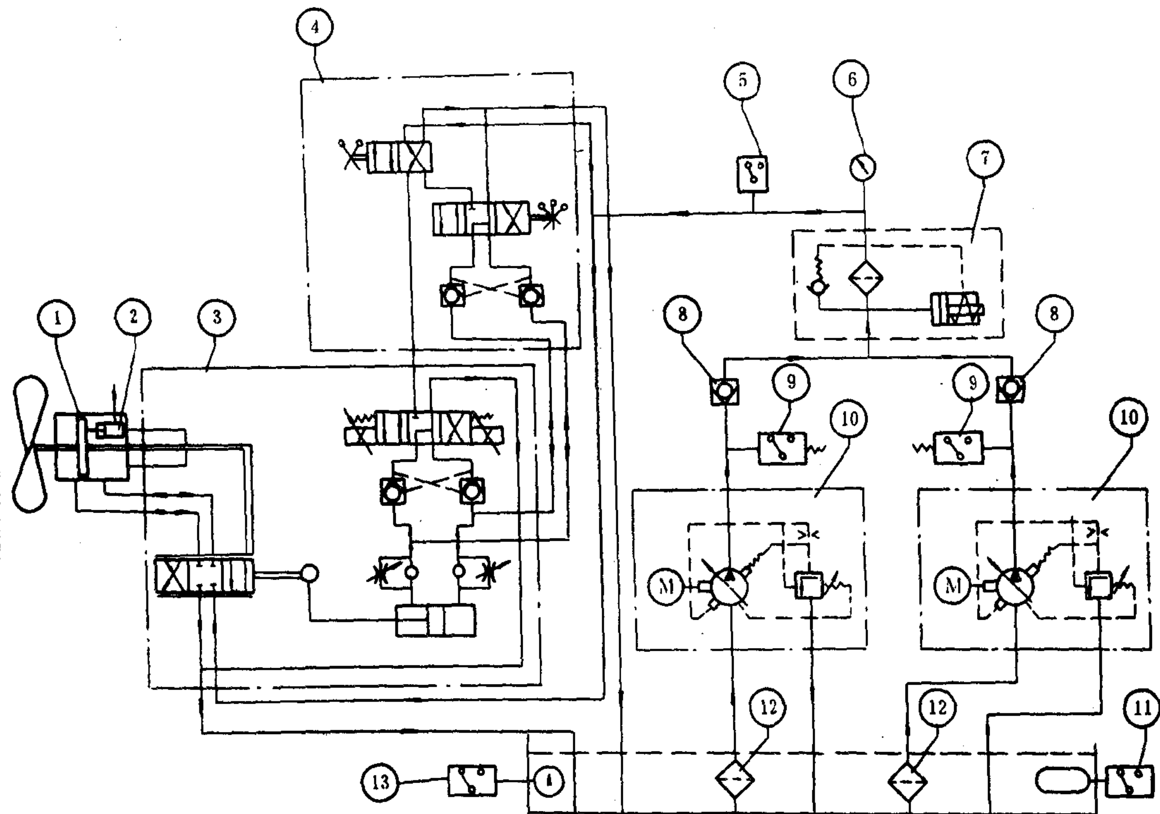


图 6.2.3-58 液力操纵系统组件图

图上所示 1 为主伺服机构装于轴系上；2 为螺旋桨前进螺距桨紧急锁住装置；3 为油分配器和操纵阀装置；4 为紧急手操纵装置；5 为压力报警开关；6 为油压表；7 为压力滤器与自动旁通及其旁通指示器；8 为止回阀；9 为备用泵启动压力开关；10 为液力泵(可变量、定压)主泵由电动或减速齿轮箱带动，备用泵常用电动；11 为低油位用油位开关(在机舱里)；12 为泵吸入滤器；13 为高油温用温度开关。

遥控系统标化型为 ERC2000 型，用途为：

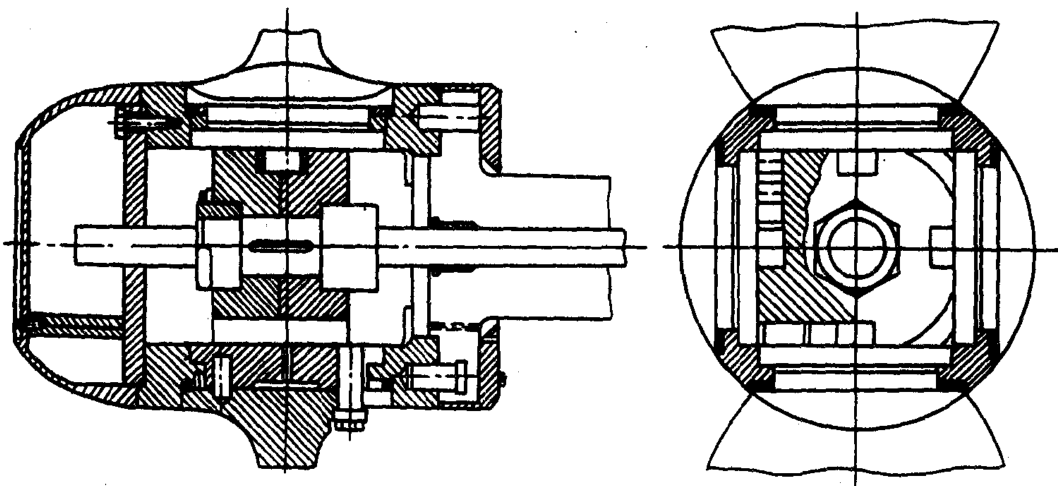


图 6.2.3-59 H 型桨毂结构图

①复合式单杆操纵型。单操纵杆使螺旋桨螺距与转速处于最佳效率 情况下同时控制。也

可以把转速固定而控制螺距变化。

②单杆单独操纵螺距型。当主机转速常固定或按主机制造规定控制转速时操纵螺距。

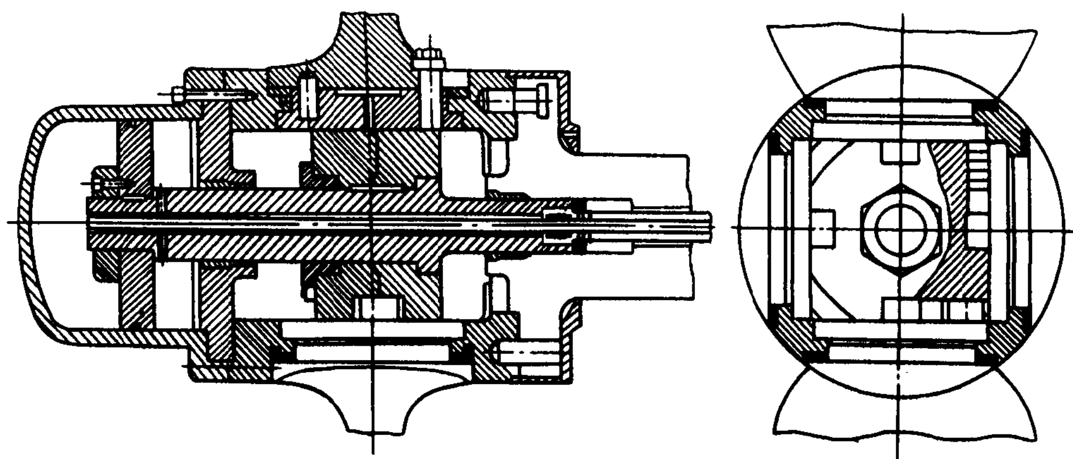


图 6.2.3—60 HX 型桨毂结构图

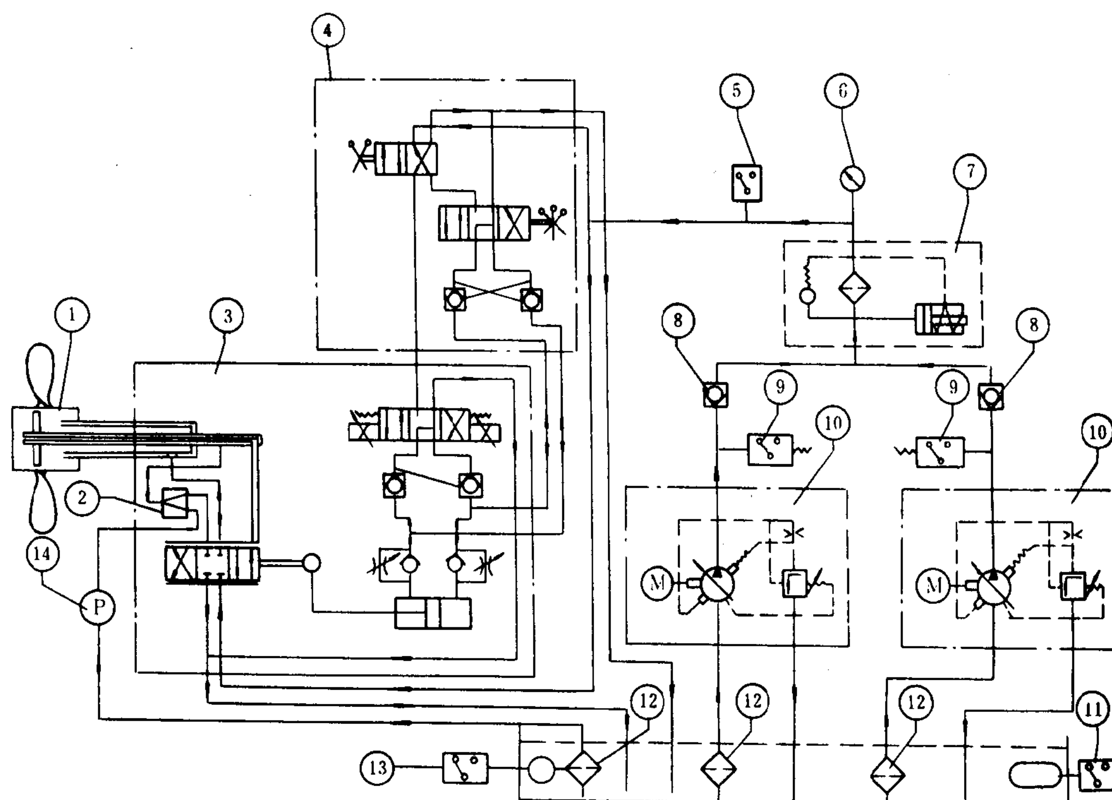


图 6.2.3—61 液力操纵系统组件图

③双杆操纵型。各自单独选择需要的螺距和转速。

小船常配备这种遥控操纵系统。

(2)H 型可调桨系统

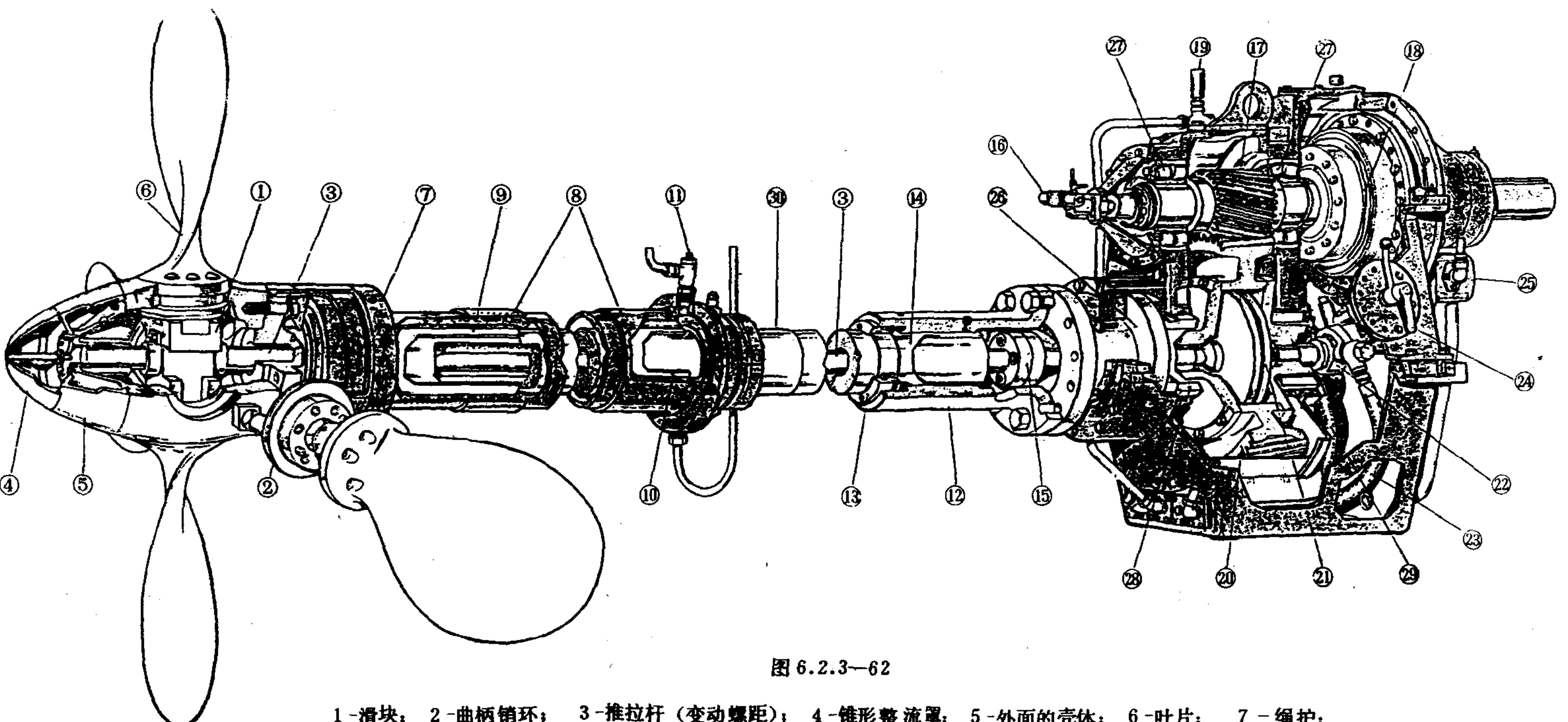


图 6.2.3—62

1-滑块； 2-曲柄销环； 3-推拉杆（变动螺距）； 4-锥形整流罩； 5-外面的壳体； 6-叶片； 7-绳护； 8-尾管； 9-外尾管轴承； 10-内尾管轴承； 11-尾管滑油温度传感器； 12-液力轴法兰； 13-镶嵌活塞； 14-尖套筒； 15-推拉杆法兰； 16-离合器控制螺旋阀； 17-输入斜齿轮； 18-液力离合器； 19-齿轮箱滑油温度传感器； 20-输出齿轮； 21-螺距伺服活塞； 22-液力油分配环； 23-输入油蛇形软管； 24-螺距控制杆； 25-油泵； 26-推力轴承； 27-输入轴滚子轴承； 28-输出轴白合金轴承； 29-输出油蛇形软管； 30-尾轴

H 型螺旋桨毂结构见图 6.2.3—59，这种结构使叶根与毂有较大直径，以致叶根轴承和转动销有较小的负荷，螺距工作力也较低。

螺距控制系统采用 HD 型和 HC 型两种。

液力操纵系统与遥控系统同上述。

(3)HX 型可调桨系统

图 6.2.3—60 为 HX 型桨毂结构图，与 H 型桨毂结构不同之处是毂首端装有液力缸和活塞，与毂内液力缸和活塞相同，能很好地传递扭矩与轴向力。

螺距控制系统有两种：HDX 型和 HCX 型。

图 6.2.3—61 为液力操纵系统组件图，与前述的不同之处是紧急锁住装置 2 是采用一只泵来实现的，油池内多一个吸入滤器 12 。

遥控系统同上述。

2)重庆东风船厂生产东风—乌士泰因带齿轮箱可调桨系列产品，其结构见图 6.2.3—62。齿轮箱为单输入式，轴系由螺旋桨轴、推拉杆和尾管组成。桨毂上有三叶或四叶，叶和毂均有镍铝青铜制成。桨叶用 6 只不锈钢螺栓固定在曲柄销环上，销环端面上有一偏心销，它插入三角形滑块的直槽里，三角形滑块与推拉杆固于一体，并随推拉杆前后运动，这个运动通过偏心销使曲柄销环转动，从而调节螺距。

控制系统有机械遥控，汽动遥控，电子/液压遥控。可实现螺距和转速的联合控制或恒转速控制。

"东风—乌士泰因"可调螺距螺旋桨系列性能表见表 6.2.3—43 所示。

表 6.2.3—43　**东风—乌士泰因可调距螺旋桨和侧推装置主要性能**

	可调距螺旋桨			
型　号	55AGSC	110AGSC	220AGSC	520AGSC
输入功率(kW)	184—331	257—625	515—1176	880—1500
输入转速(r/min)		750～1800		
减速比		2.48		
螺旋桨转速(r/min)				
推力(N)				
毂径(mm)		500		
桨径(mm)				
控制方式		机械，气动电液遥控		
备　注				

3)苏州船用机械厂生产可调螺距螺旋桨的类型，有基本型：XF 型和 XF_1 型，适用功率和转速范围广。采用单曲柄、滑块转叶机构，其双作用变距油缸及主控制阀均设于桨毂内。其主要性能见表 6.2.3—44。

表 6.2.3—44　**XF 型可调桨主要性能**

桨毂号	50	55	60	66	72	79	86	94	102	111	121
螺旋桨直径(mm)	1820	2000	2180	2400	2620	2870	3130	3420	3710	4040	4800
桨　重　(kg)	800	1050	1350	1810	2530	3060	4020	5200	6710	8800	11400

普通型：SC 型和 KS 型，适用于技术条件要求不太高的中小功率的民用船，结构简单，造价低。系采用推拉杆曲柄滑块转叶机构，变距油缸设在舱内轴系中配油轴之前端，所有控制元件全设在舱内。其主要性能见表 6.2.3—45

表 6.2.3—45　**XF1 型可调桨主要性能**

桨毂号	132	144	157	177	186	202	220	240	260	286
螺旋桨直径(mm)	4800	5240	5700		6760	7350	8000	8730		10400
桨重 (kg)	13000	17000	22000		37000	47000	61000	80000		140000

军用型：N 型，具有结构坚固和高承载能力，适用于高功率高转速的各种高速军用舰艇和特种用途的船舶。采用双油缸双曲柄转叶机构。变距油缸及主控制阀均设于桨毂内。其主要性能见表 6.2.3—46。

表 6.2.3—46　**N 型可调桨主要性能**

桨毂号	66	72	79	86	94	102	116	121
螺旋桨直径 (mm)	2400	2620	2880	3130	3420	3710		4400
桨重 (kg)	2950	3950	5100	6500	9000	10700		17600

5.5.2 导管螺旋桨

导管螺旋桨是在螺旋桨的外围套上一个纵切面为机翼型或折角线型的套筒，简称导管桨。如将图 6.2.3—53 中 CC_1 剖面的尾流截面积以 A_1 表示，根据流体力学的连续性方程，可得：

$$A_0(V_A+u_{a1})=A_1(V_A+u_a)$$

代入式(6.2.3—30)后得：

$$T_I=\rho A_1(V_A+u_a)u_a$$

从上式求解 u_a：

$$u_a=-\frac{V_A}{2}+\frac{1}{2}\sqrt{V_A{}^2+\frac{4T_I}{\rho A_1}}$$

代入式(6.2.3—34)，可得：

$$\eta_{IA}=\frac{4}{3+\sqrt{1+\dfrac{4T_i}{\rho A_1 V_A{}^2}}} \qquad (6.2.3—41)$$

从式(6.2.3—36)和式(6.2.3—41)可知，理想推进器的效率随着载荷系数 C_T 的增加或尾流截面积 A_1 的减小而降低。如果要提高推进器的效率，必须设法减小推进器的载荷系数或尾流面积的收缩。减小尾流收缩，只能增加单位时间内通过桨盘的流量，如在螺旋桨叶梢外面加上一个导管，就可以加速桨盘处的水流，减少尾流收缩。因此，螺旋桨载荷较重的船舶(如顶推船、拖网渔船)上如果使用导管桨后可改善螺旋桨效率，增加推力。随着船舶向大型化发展，近年来有的大油轮也有采用导管桨。

导管的安装方式有两种：一种是固定导管，另一种是转动导管。转动导管一般绕铅垂轴转动，通常与舵共用一旋转轴。转动导管可以部分代替或全部代替舵的作用，可显著提高船舶的操纵性能，特别是全回转式(绕垂直轴可作±180°转动)，基本上可做到就地回转(船舶的回转直径等于船长)。

导管桨除了能提高重载螺旋桨的效率外，并有下列优点：

1)当船舶在航行中遇到风浪时，可使船舶的纵摇减小。

2)导管对螺旋桨有保护作用，避免螺旋桨和异物相碰。

3)导管在浅吃水时可防止空气吸入。

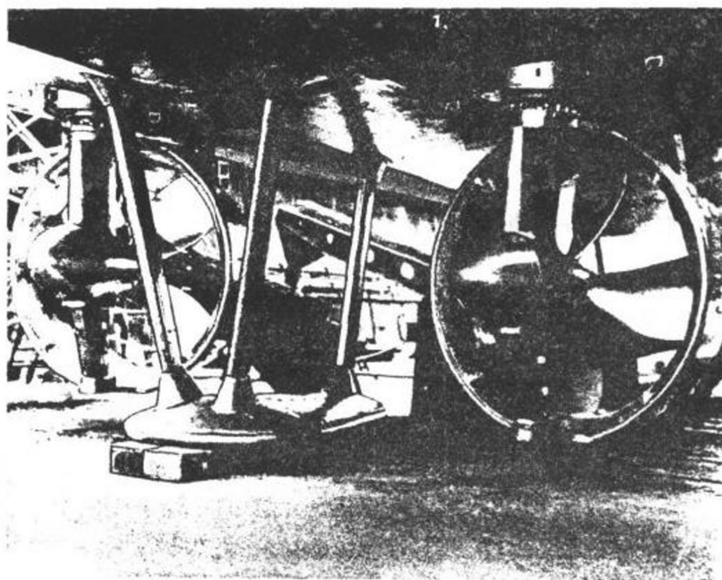


图 6.2.3-63 装有转动导管的双桨拖轮

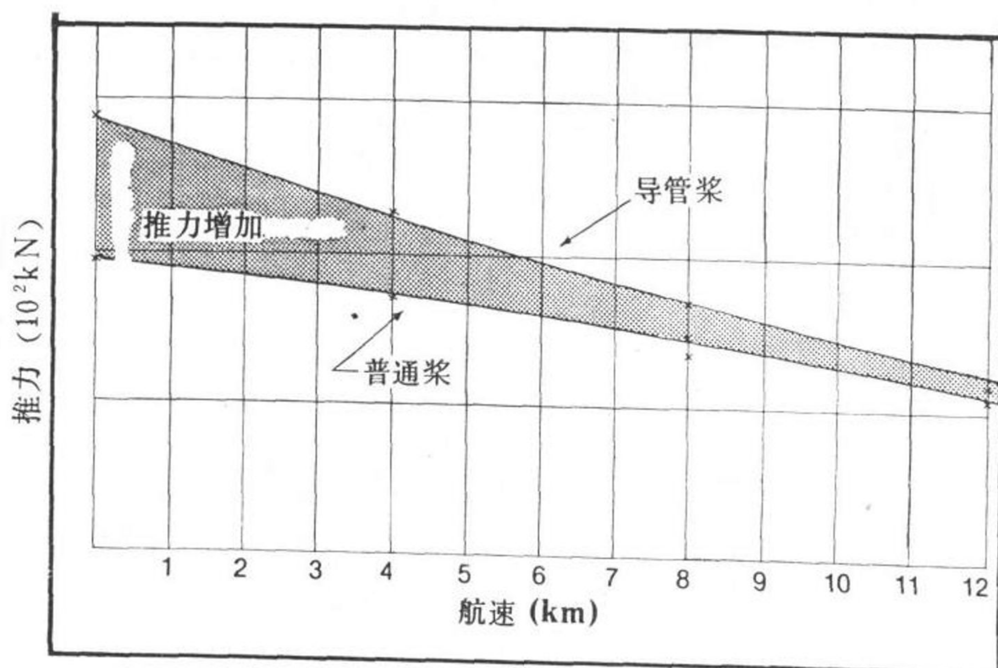


图 6.2.3-64 港作拖轮导管桨和普通桨推力比较

导管桨的缺点是：

1)导管的制造工艺要求较高，必须保证叶片及导管的间隙符合设计要求，而且导管和船体的联接也比较费工。

2)导管和桨易产生空泡。

3)对在冰区航行的船舶，导管可能会产生一些问题。

4)装固定导管的船舶，其回转性能及倒车性能往往较差。

导管螺旋桨也可利用现有的导管螺旋桨系列试验图谱进行设计。

图 6.2.3—63 是一艘装有转动导管的双桨船舶尾形轮。图 6.2.3—64 是一艘港作拖轮普通桨和直径相同的导管桨发出的推力的比较。

5.5.3　挂桨

柴油主机把动力传到输入轴后，通过上箱体内的一对伞齿轮，经过中间主轴传给下箱体内的另一对伞齿轮，最后由输出轴传给螺旋桨，螺旋桨可回转转动，因而可以不用舵，而直接依靠螺旋桨发出的推力以改变船舶的航向。由于舵效快，回转直径小，现已广泛用于我国。

图 6.2.3—65 是联邦德国“肖特尔”螺旋桨舵布置图，“肖特尔”舵桨输出功率可达 4500kW。

肖特尔舵桨的主要性能见表 6.2.3—47。

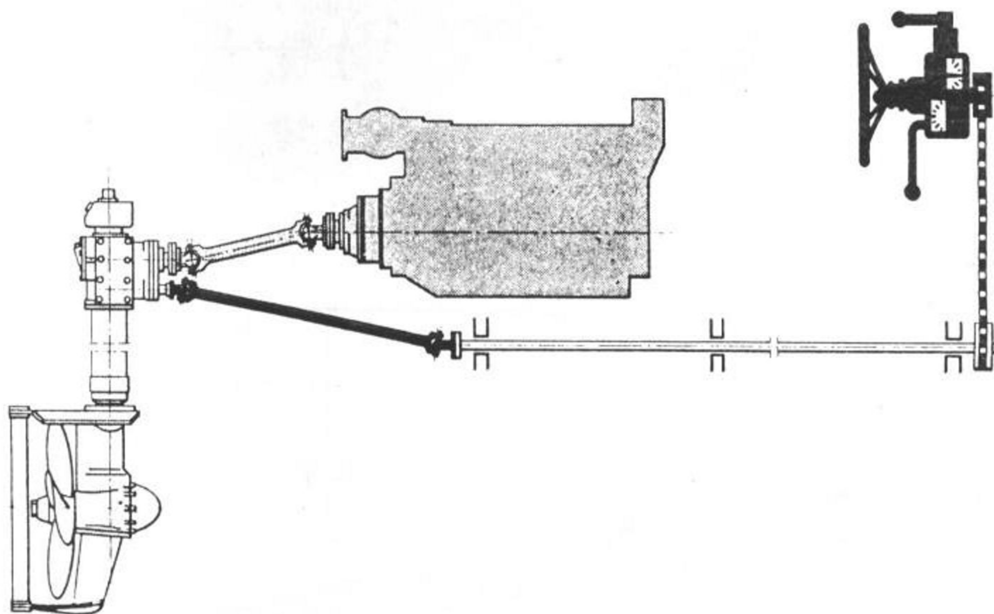


图 6.2.3—65　肖特尔螺旋桨舵布置图

表 6.2.3—47

肖特尔舵桨主要性能

型号 SRP		50 51	100 103	150 152	152 151	300 226	300 300	350 350	351 350	351 351	502 503	502 502	505 505	506 505	503 505	1000 1000	1100 1100	1500 1500	2500 2500
最大功率	kW	100	210	250	300	350	480	660			810	975	1000			1325	1750		2750
	hp	135	285	340	400	475	650	900			1100	1325	1350			1800	2400		3750
扭矩	Nm	420	850	1350	1675	2050	2800	3900	7000	5700	6200	8700	7300	8500	10600	16600	17200	21000	29000
最大转速	r/min	2500	2350	2000	2000	1800			1000	1300	1250	1050	1680	1400	1100	1000		1000	
速比		2.50	2.68	3.02	3.46	3.32	3.97	1.99	2.78	3.34	3.90	3.25	5.08	4.34	3.32	2.72～3.77	4.12	3.20～4.28	4.95

续上表

型号 SRP		50	100	150	152	300	300	350	351	351	502	502	505	506	503	1000	1100	1500	2500
		51	103	152	151	226	300	350	350	351	503	502	505	505	505	1000	1100	1500	2500
桨直径	最大	800	950	1100	1150	1350	1550	1900			2300		2100			2400	2700	2800	3500
	最小	600	700	900	900	1100	1250	1500			1900		1000			2100	1900	2500	3200
最小高度装置（不附导管）的重量(kg)		190	300	880	1050	1600	2000	4000			5700		6500			9500	10000	16000	22000

苏州船用机械厂的 KaMeWa 全回转推进装置，它包括调距和定距桨两 系列，其桨径为 2000，2400 和 2800mm，功率范围为 735～2425kW(1000～3300HP)。它以电动机为动力，整体可在 360°范围内的任何方位角回转，从而可在不 改变推进力矩的情况下改变推进方向。其主要性能见表 6.2.3—48。结构见图 6.2.3—66。

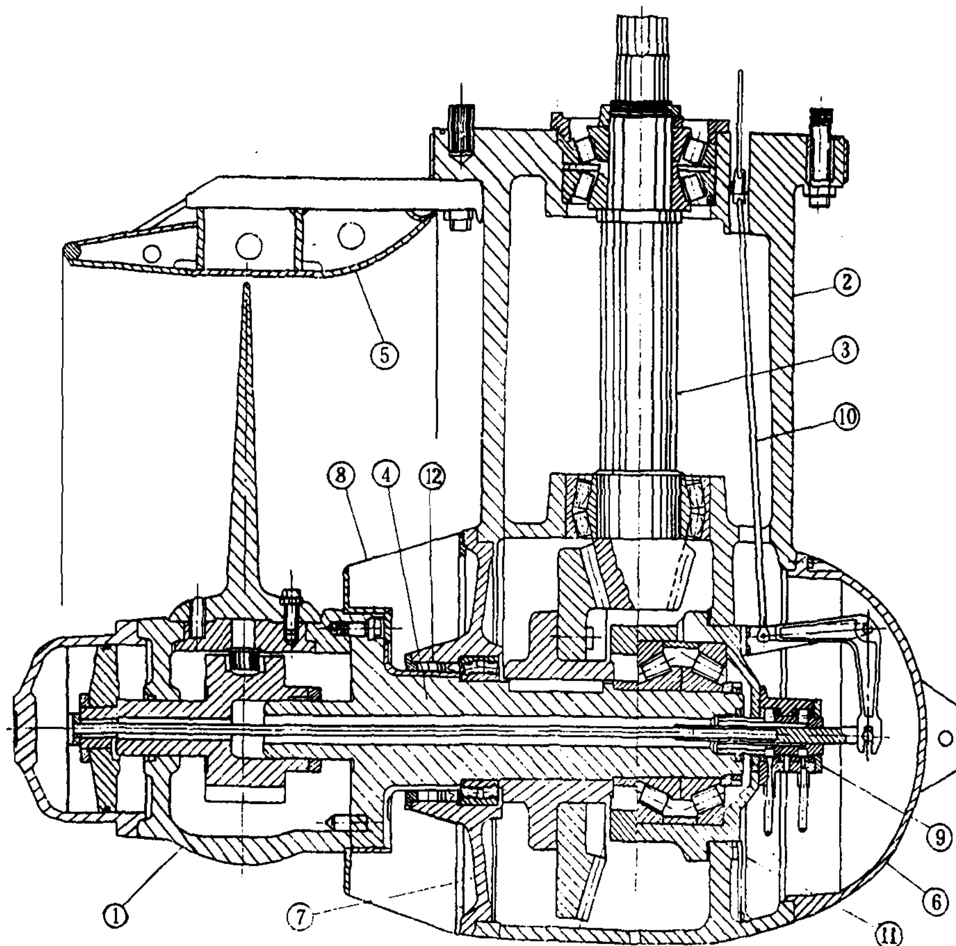


图6.2.3－66 Ka Me Wa 型全回转推进器

1－桨体；2－齿轮箱体；3－立式传动轴；4－桨轴；5－导流罩；6－齿箱体前罩；7－后端盖；8－整流环；9－配油器；10－变距装置；11－导油管；12－桨轴密封

表 6.2.3—48　　　　　　　　**卡美瓦全回转推进装置主要性能**

桨径(mm)	功　　率 kW(hp)	转速 (r/min)		机　重(kg)
		输　　入	桨　　速	
2000	735～1100(1000～1500)	980～1190	277～292	18700
2400	880～1320(1200～1800)	980～1190	212～257	29400
	880～1650(1200～2250)	980～880	271～243	29400
2800	1320～2425(1800～3300)	980～880	240～216	42700

5.6　技术管理与检修

5.6.1　螺旋桨检查图的绘制与应用

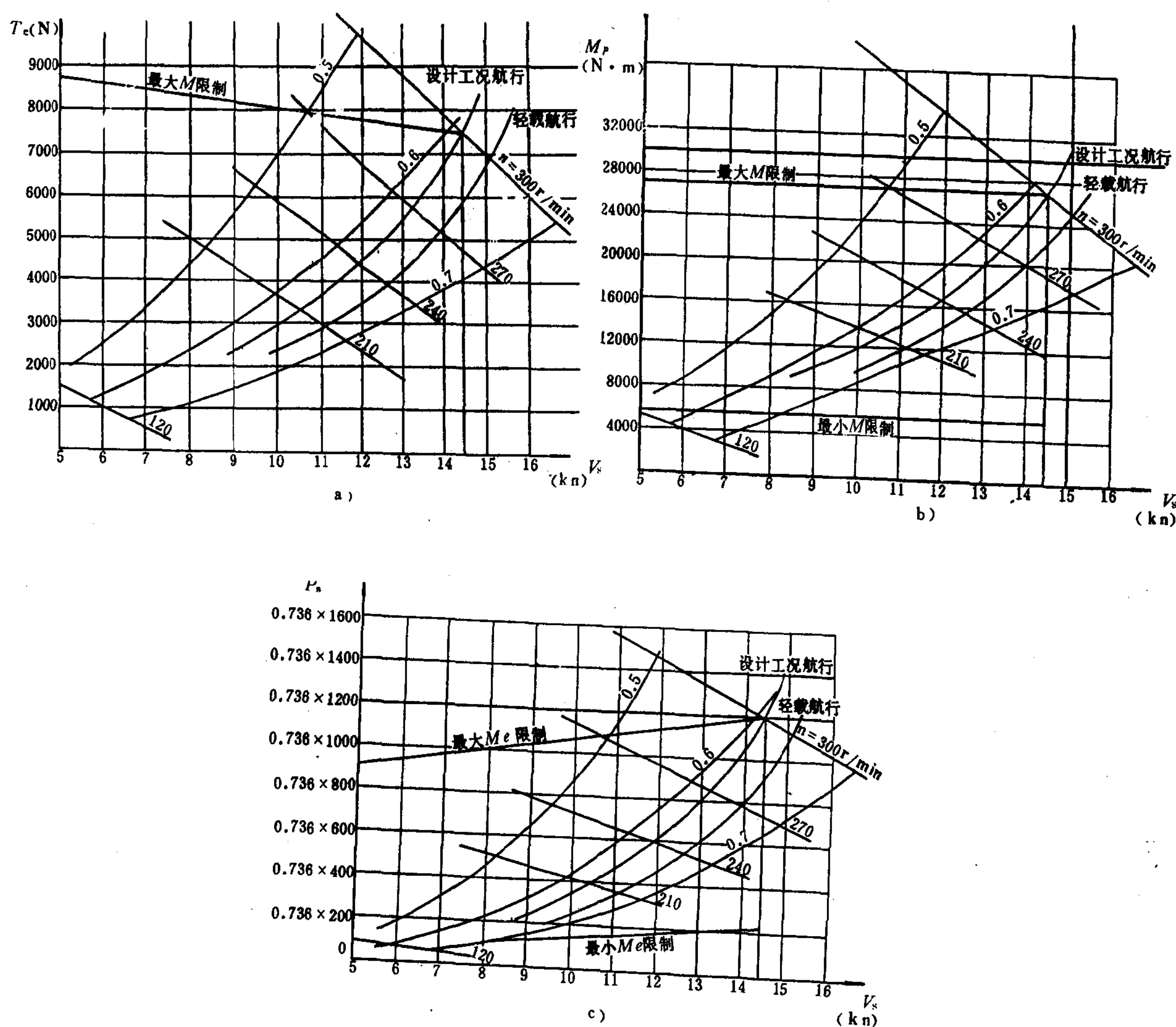


图 6.2.3—67　螺旋桨航行检查图

船舶在营运中工况是变化的，如何找出不同航速下主机、螺旋桨和船体之间的关系，需进行航速性计算分析，其计算结果绘成的图谱称为航行检查图或特性图。

绘制航行检查图，需要下列关系曲线：

$EHP=f(V_s)$——船体的有效功率曲线；$MCHP=f(n)$——主机的功率与转速关系曲线；$K_T=f(J)$，$K_Q=f(J)$和$\eta_0=f(J)$——螺旋桨的特性曲线。这三种曲线都是说明它们各自的功率（或力的特性）与速度（转速与速度特性）的关系，即由$V_s \to EHP$，$n \to BHP$，由$J \to K_T$，K_Q等。航速性计算就是从三种曲线中找出关系，然后画在一张图上，从检查图上找出在不同航速下，船体，主机和螺旋桨三者特性之间的配合关系及能量的平衡。

1）检查图的绘制

螺旋桨航行检查图以航速V为横坐标，以螺旋桨的有效推力T_e，尾轴吸收扭矩，及主机的功率P_n为纵坐标，然后把船体的有效功率曲线，柴油机的允许工作范围画上，即成了螺旋桨航行检查图。如图6.2.3—67为某船的螺旋桨航行检查图。

2）检查图的应用

螺旋桨航行检查图在日常工作中应用：

（1）用于船舶航行工况特性的分析。

船舶阻力改变（拖曳或排水量改变）时可以决定船舶能达到的航速及主机的功率。主机功率变化时可以确定螺旋桨所产生的有效推力。

（2）通过检查图可对新建造船舶的设计，建造产品的质量进行检验分析。或对修理船舶的质量进行检查。

如果新建造船舶试航结果与螺旋桨航行检查图对比，出入较大，说明新建造船舶的设计计算或建造质量有问题。可能是船体，螺旋桨，主机的匹配不合理。修理的船舶同样可以按此法考虑。

（3）把柴油机的万有特性曲线放置于检查图中，可供船舶调度人员，轮机管理人员，按照各种不同的要求，进行调度、配载，选定船舶的航速。

（4）对新出厂的船舶试验，绘制检查图，以3介本船的特点，使用后的变化情况，船舶性能如何改变，老化的状况，作为维修及改进的依据。

5.6.2 螺旋桨的检验

螺旋桨的技术状态的好坏直接影响船舶的动力性能、安全以及营运的经济性及效率，同时还影响轴系运转的可靠性。因此，对其所制造或经修复的螺旋桨必须检验。

螺旋桨是不规则形状的零件，毛坯通常用铸造方法进行制造。铸造螺旋桨不允许有损及强度或性能的裂纹、气孔，缩松，渣眼，浇铸不足等缺陷。对于不甚严重缺陷的判断，允许修补范围及修补工艺应按专门的技术条件进行。铸造的螺旋桨要进行机械加工及质量检查。

1）螺旋桨的分级

各类船舶的螺旋桨按其用途和要求可分为A、B、C三个等级，见表6.2.3—49。

表6.2.3—49　**CB标准：螺旋桨分级**

螺旋桨级别	推荐适用的船舶	制造精度
A	船速高于18kn的海船及其他有特殊要求的船舶	较高
B	船速在8—18kn的海船及船速高于18km/h的内河船舶	中等
C	不属于A级及B级的一般船舶	较低

注：某些船速低于10kn但有特别要求的小艇（如救生艇）可列为B级

2)螺旋桨的加工与技术要求：

机械加工包括在桨壳上镗孔，切两端面，沿轴孔内侧加工键槽和桨叶等。

螺旋桨的镗孔可在端面车床或立式车床上进行，也可在镗床或专用镗孔机上进行。镗孔的同时应切出桨壳的两个端面，可采用两次装夹来完成。由于桨壳的圆锥孔在以后所有的检验和平衡中都作为基准，所以应特别保证其加工的精度。

桨壳沿轴孔内侧键槽的加工，采用插削式刨削，也可采用专用机床铣削解决。

桨叶的加工，在单件生产时，大都采用手工进行，先加工叶面，后加工叶背；成批生产时，用专用机床或数控机床加工。

(1)手工加工

手工加工采用风铲，砂轮和锉刀(或刮刀)等工具对桨叶外形轮廓，桨叶和桨壳外表面加工，修刮轴孔，除去静不平衡和动不平衡质量等。加工步骤是根据测量结果，画出加工线，批铲桨叶轮廓，铲除毛坯的铸造表皮，除去多余的金属，打磨桨叶表面，使螺旋桨表面达到平整光顺和所需的表面粗糙度。目前对铸铁和铸钢螺旋桨的表面一般不进行加工；对于低速运输船舶螺旋桨，只把桨叶表面修铲平整光顺。

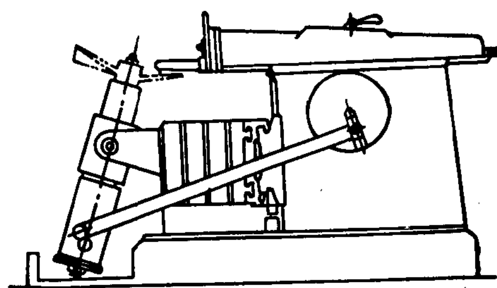


图 6.2.3--68　在刨床上加工桨叶面

(2)桨叶表面机械加工

桨叶表面机械加工专用机床有运动调节机床，仿形机床和数控机床等。

运动调节机床最常见的为螺旋桨刨床。多用作小型螺旋桨的叶面加工。加工时，将桨固定在心轴上，叶面向上，若桨叶后倾，则将加工的螺旋桨倾斜一角度，即心轴倾斜一角度，如图6.2.3—68所示，使桨叶螺旋面的母线位于水平位置。心轴可以旋转并往复移动，而刨刀作径向往复运动，便可进行叶面的加工。运动调节机床不能加工变螺距的桨叶面和等螺距的桨叶背。

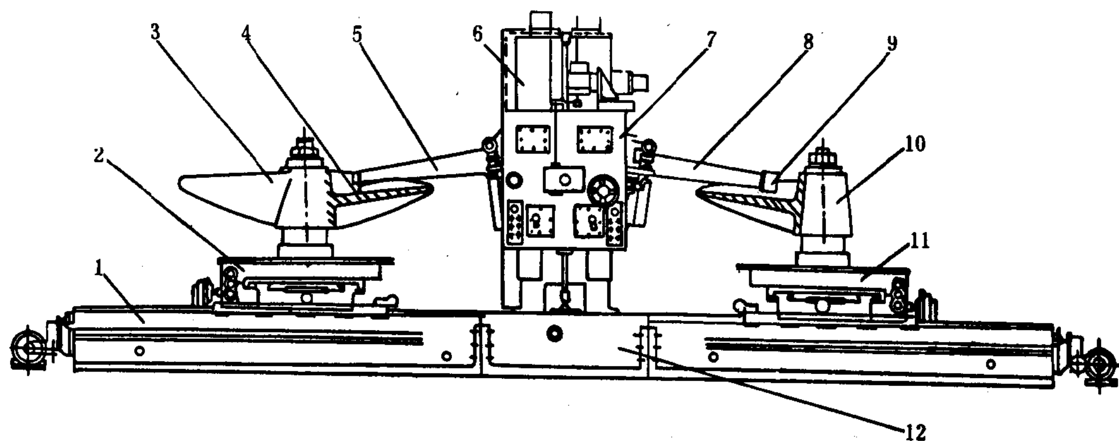


图 6.2.3—69　在随动仿形铣床加工桨叶面

1—床身；2—左工作台；3—工件；4—端铣刀；5—铣刀臂；6—主柱；

7—主轴箱；8—仿形杆；9—仿形头；10—靠模；11—右工作台；12—底座

仿形机床有机械操纵的，液压随动系统的电随动仿形机床，可加工变螺距和等螺距螺旋桨的叶面和叶背。图 6.2.3—69 为加工螺旋桨用的电随动仿形机床。

加工时，先将桨毛坯和单叶靠模分别装于左、右回转工作台的心轴上，调好高度后压紧毛

坯，按毛坯和靠模叶片的中心线找正压紧靠模。按毛坯与靠模的旋向调整好工作台的换向装置，使之处于正确位置。选定合适的运动参数与转向，调好控制台上的各操纵手柄，将各需要调正的倾角与系统调至所需位置。检查、安装刀具，空车运转，调整切削深度。待机床全部调整完毕且运转正常即开始切削行程。用单程逆铣进行切削，当铣削到桨叶上边缘后停车，重复下一个切削行程，直至桨叶铣削完毕。

图 6.2.3—70 是一三坐标数控铣床加工螺旋桨。其控制机将空孔带记载的各点坐标增量数据由输入机输入信号后进行处理计算，然后从三个通道输出控制脉冲，借助步进电机和液压扭矩放大器同时控制机床的三个坐标的进给运动，从而实现数控铣床加工螺旋桨叶面。数控铣床的加工精度比仿形加工高，但因，存在螺旋升角的影响，无法排除刀具的干扰，加工后表面存有波纹。采用四坐标，五坐标数控铣床加工，可得满意的效果。近来，已有双轴九坐标数控铣床加工桨叶面。

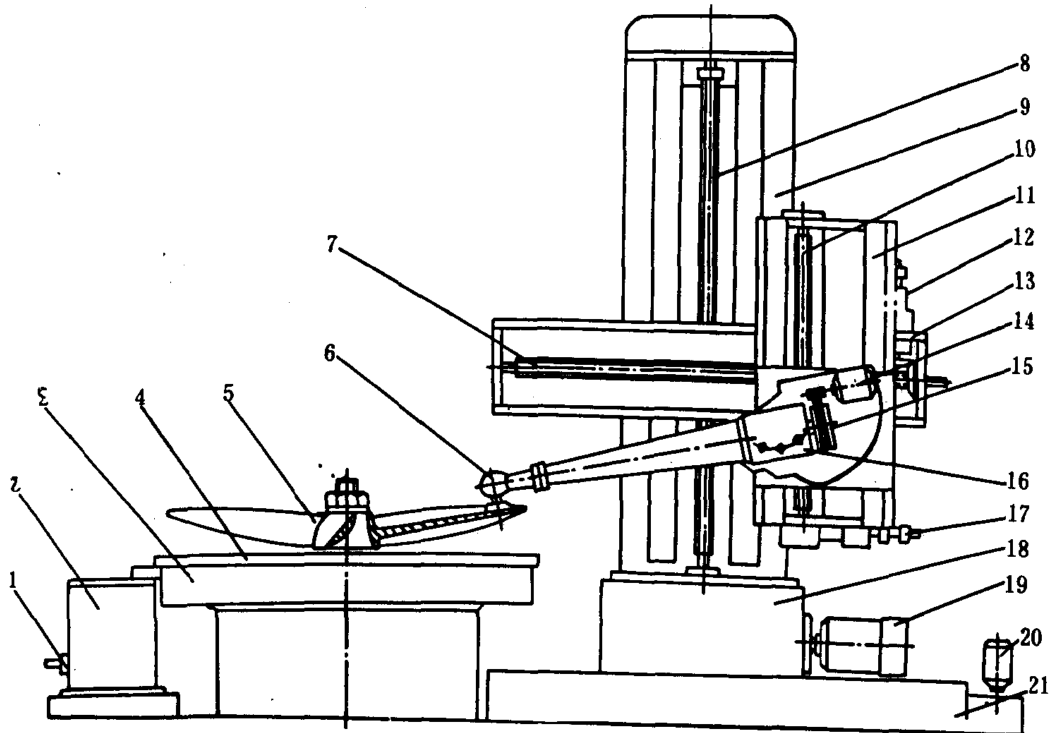


图 6.2.3—70 三坐标数控铣加工螺旋桨

1—转角液压扭矩放大器；2—工作台变速箱；3—底座；4—工作台；5—螺旋桨；6—悬臂铣头；7—径向移动丝杠；8—横梁调整丝杠；9—立柱；10—垂直移动丝杠；11—垂向滑板；12—径向移动(R)液压扭矩放大器；13—横梁径向滑板；14—电动机；15—皮带轮；16—铣头变速箱；17—垂向移动(Z)液压扭矩放大器；18—变速箱；19—电动机；20—立柱移动电动机；21—主柱底座

螺旋桨加工的表面粗糙度按表 6.2.3—50 规定

表 6.2.3—50 **桨加工表面的粗糙度**

适用范围	螺旋桨直径 D (m)	A 级		B 级		C 级
		铜 质	钢 质	铜 质	钢、铁质	铜 质
大于 0.3R 的	D<0.8	1.6 ▽	3.2 ▽	3.2 ▽	12.5 ▽	25 ▽
桨叶表面	0.8≤D≤2.0	1.6 ▽	6.3 ▽	6.3 ▽	25 ▽	25 ▽

续上表

适用范围	螺旋桨直径 D (m)	A 级		B 级		C 级
		铜 质	钢 质	铜 质	钢、铁质	铜 质
	D>2.0	3.2 ▽	12.5 ▽	6.3 ▽	25 ▽	25 ▽
桨壳表面和	D<0.8	3.2 ▽	6.3 ▽	6.3 ▽	25 ▽	25 ▽
小于 0.3R 的	0.8≤D≤2.0	3.2 ▽	12.5 ▽	12.5 ▽	25 ▽	25 ▽
桨叶表面	D>2.0	6.3 ▽	25 ▽	25 ▽	25 ▽	—
组合螺旋桨的桨壳表面	各种直径	12.5 ▽	25 ▽	25 ▽	25 ▽	—

各个等级的螺旋桨各部分尺寸和几何参数允许偏差要求如表 6.2.3—51。

表 6.2.3—51 **螺旋桨尺寸和几何参数允许偏差**

序号	项 目	A 级		B 级		C 级	说 明
		铜 质	钢 质	铜 质	钢、铁质	铜、钢、铁质	
1	半径 R	±0.2%	±0.25%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	导流管螺旋桨的允差在图样中规定
2	桨叶截面长度 Li	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.5%	±2.0%	测量相应半径处桨叶截面在螺距面上的投影弧长
3	总平均螺距 H	±0.75%	±0.75%	±1.0%	±1.0%	±0.25%	各桨叶 Hi 的算术平均值
4	桨叶螺距 Hi	±1.0%	±1.0%	±1.5%	±1.5%	±3.0%	等螺距时为各截面 hi 的算术平均值。变螺距时按 0.7R 处的 h0.7 衡量
5	截面螺距 hi	±1.5%（机械加工±1.0%）	±1.5%	±2.0%	±2.5%	±3.5%	各 h 的算术平均值
6	局部螺距 h	±2.0%（机械加工±1%）	±2.0%	±2.5%	±3.0%	±4.0%	
7	截面厚度 t(取其中大值)	+4.5%或 0.6mm −3.5%或 0.5mm	+1.5%或 0.6mm −3.5%或 0.5mm	+5%或 1.0mm −4%或 1.0mm	+5%或 1.5mm −4%或 1.5mm	+6%或 2.0mm −5%或 2.0mm	应对 0.3R；0.4R；0.6R；0.8R 及 0.95R 等 5 个截面测定，且每一截面不少于 3 点(特殊要求的船用螺旋桨按图样要求进行测量)

续上表

序号	项目	A级		B级		C级	说明
		铜质	钢质	铜质	钢、铁质	铜、钢、铁质	
8	桨叶中线夹角	$\frac{1}{2}°$	$\frac{1}{2}°$	$\frac{1}{2}°$	$\frac{1}{2}°$	$\frac{1}{2}°$	
9	桨叶后倾(以直径%计)	±(0.2%+3mm)	±(0.3%+3mm)	±(0.3%+3mm)	±(3%+3mm)	±(0.4%+3mm)	测量叶面中线在0.3R和0.95R处(见图1)两点在螺旋桨轴线上投影距离的偏差
10	桨叶间后倾(以直径%计)	±(0.1%+2mm)	±(0.1%+2mm)	±(0.15%+2mm)	±(0.15%+2mm)	±(0.20%+2mm)	测量各桨叶叶面中线上0.5R处点子沿桨轴方向上的偏差
11	桨叶沿轴壳长度位置(以轴壳长%计)	1.0%	1.0%	1.5%	1.5%	2.0%	

3)螺旋桨成品检验

每一个螺旋桨出厂应由检验部门进行检查验收,厂方应保证出厂的螺旋桨符合CB* 265—79标准。

(1)材料试验

铸造螺旋桨的材料试验项目和要求,取样部位和方法应按相应的标准和中华人民共和国船舶检验局有关规范的规定进行。如有专门的订货技术条件,还应满足订货技术条件的要求。

若某一试样的机械性能试验结果不合格时,准许由同一材料中选取两倍试样重行试验,若复试中再有一试样结果不合格,则认为整个材料的机械性能试验不合格。

铸铁的各项试验中,如有三分之二的试件试验结果合格,可认为铸件的机械性能试验合格。进行机械性能试验的试棒,应与铸件一起进行热处理,钢质和球墨铸铁的铸件允许与试棒一起再进行一次重复热处理。

(2)外观检查

螺旋桨加工表面(叶面)一般不允许有降低其强度和工作性能的缺陷存在,如气孔,裂纹,缩松,夹渣,浇铸不足等。检查时可用目检或着色探伤。此外,螺旋桨加工后叶面的表面粗糙度应符合表6.2.3—50的数据。

(3)桨壳锥孔和端面的检查

中小型螺旋桨其锥度常用1∶10与1∶12,大型螺旋桨锥度用1∶15。锥孔轴线应与桨壳端面垂直,其垂直度误差不大于0.15mm/m,表面粗糙度:锥孔为3.2▽,端面为6.3▽。

采用环氧树脂粘结剂与锥体装配,允许将锥孔大小端面有30~170mm长的配合环面,其余镗大0.2~0.30mm,以便研配。采用液压无键装配时,壳孔全部为配合面,锥孔中部无空腔。

键槽两侧应与桨壳孔轴线平行。键与槽在周长上应均匀接触80%,用0.05mm塞尺插不进。锥孔检查,用图纸或加工好的桨轴制成锥孔样板,即两侧刀口检验平直性,锥孔大端位置线与实际要求加工出的大端孔经是否合乎要求,锥孔与轴精配时,刮研后深色油检验,接触是否

均匀满足要求。

$$h=\frac{360°}{\alpha}(L_1-L_2)=\frac{360°}{\alpha}L$$

式中：L——为量杆从 o 点到 a 点升高的高度；

α——为$\overline{oa}$弧的圆心角；

h——为局部螺距。

在测量中，每个叶片在同一半径上的局部螺距至少要测量三点。也可直接测得$\overline{ab}$弧上的螺距。

将该叶片同一半径的不同线段上测量的各局部螺距，计算其截面螺距 h_i：

$$h_i=\frac{h^1+h^2+\cdots\cdots h^n}{n_i}$$

式中： n_i ——在同一半径上测量的螺距次数；

h^1、h^2、…h^n ——同一半径上各次测得的螺距。

计算叶片螺距 H_i：

$$H_i=\frac{h_1+h_2+h_n}{n}$$

式中： n ——同一叶片上测量螺距的不同半径数；

h_1、h_2…h_n ——各半径上的螺距。

对于变螺距螺旋桨，叶片螺距 H_i 按图纸规定位置进行测量。

计算总平均螺距 H：

$$H=\frac{h_1+h_2+\cdots\cdots+H_n}{N}$$

式中： N ——叶片数量；

$H_1H_2\cdots\cdots h_n$ ——各叶片的平均螺距。

(4)螺距的检验与测量

螺距测量的方法有：三角板测量法、螺距仪测量法、弦线挂重法、角尺法和用特制测量工具测量。

①螺距仪测量法

将桨壳锥孔和两端面已加工过的桨，大端朝下平放在平台上，无平台也可放在平整地面上。将螺距仪按图 6.2.3—71 装在桨上端面，三爪卡盘装入锥孔内卡紧并贴平，保证卡盘中心线与桨壳中心线重合。

在各叶片压力面上刷白粉，移动量杆距离，分别以 0.95R，0.8R，0.6R……为半径，转动转臂，在各叶面上划各半径圆线。

以测量半径线 $\widehat{AB}$ 上的螺距为例，将量杆放在 0 点位置上，将刻度盘上指针调整到 0°位置。这时量杆上所测得的读数为 L_1，记录之。再将转臂转过一个角度到 a 点位置(计算方便，每隔 18°，36°取点)，记录从 0 点到 a 点转过的角度 α，同时测得量杆在 α 点位置上的读数 L_2。

计算该半径圆弧线 $\widehat{oa}$ 线段上的螺距 h：

简单测量法原理同上，只是用木条、钢尺、角尺等工具来测量，精度不高。

②在船上测量螺距

船在坞内或船台上，可不拆螺旋桨，在原地直接测量。

Ⅰ.弦线挂重法测量：

这种测量方法见图 6.2.3—72，用一根两端各挂一个相同重量的重锤的弦线一起挂在叶片吸力面上。弦线两边分别通过压力面上半径为 R_i 的圆弧线，在导边和随边上的交点 A 和 e。然后用一根平直的木条(或钢条)，其上放一水平尺，使木条水平(水平尺应按尾轴实际水平位置)。量出 AB 距离为 l，BC 距离为 a，计算半径 R_i 上截面螺距 h_i：

$$h_i=\frac{2\pi R_i}{a}l$$

采用此法，尾轴轴线应水平，只能测量截面螺距，不能测量局部螺距。

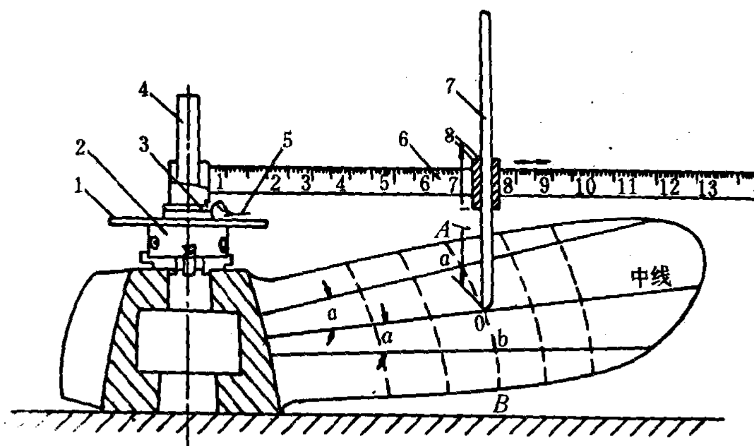


图 6.2.3—71 螺距仪测量螺距

1—刻度盘；2—三爪卡盘；3—止动轴承；4—中心轴；5—指针；6—转臂；7—量杆；8—滑套

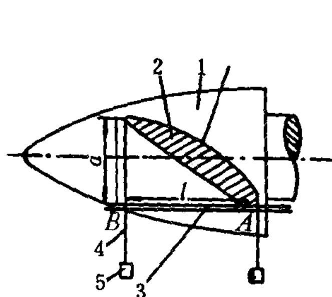


图 6.2.3—72 挂重法测量螺距

1—桨壳；2—叶片；3—木条；4—弦线；5—挂重

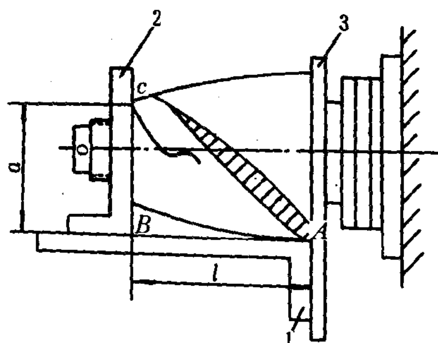


图 6.2.3—73 角尺法测量螺距

1—长角尺；2—短角尺；3—平直木条

Ⅱ. 角尺法

用两根直角尺进行测量，见图 6.2.3—73 原理类似弦线挂重法，此法不要求轴线处于水平位置。

(5)桨叶截面厚度的测量

截面厚度 t 的测量应按螺旋桨轴向的距离来测定，建议在 0.7R 及以内各截面用样板定出位置后进行测量。建议以精确的样板来检验螺旋桨的截面形状或导边和随边，当用样板检查时，样板本身误差不大于 0.15mm；间隙不大于 0.5mm。

(6)螺旋桨的静平衡检验

螺旋桨静力不平衡是由于各桨叶的宽度和厚度不同，致使它的重心不在转动轴线上。

①静平衡挂重试验法

将螺旋桨安装在静平衡装置上，如图 6.2.3—74 所示，用手缓慢转动桨数次，使其自行停止，如果停在下面总是那片叶片，说明该叶片较重。对于四叶桨，处于上面的叶片较轻，应在此叶片上挂重物，一般常用泥土粘在叶片上，位置应在叶梢附近约 0.7～0.8R 处，重复上述工作，直调至平衡。在挂重物处用粉笔划出范围，然后称挂重量，若某叶片重物量超过允许值 p，则应消除不平衡，再作静平衡试验，直至达到标准为止。

②电子称法

检测原理见图 6.2.3—75。电子称法检测螺旋桨，即在 d 叶尖端附加一质量，如 20kg，在 e 叶的尖端加一附加质量，如 15kg，检测水平和偏重的 6 只检测仪表平衡。通过附加质量的两点向螺旋桨的中心 O 连线，然后在线段上按比例算出刻度，并以 0、0.5、1.0、2.0……kg 分别标注在 od 和 oe 线上，找出在 od 和 oe 线上的 2.0kg 和 1.5kg 位置，通过此点作平行线相交于一点 h，从图中可看出，h 处的质量按比例推算为 3.3kg。这就是该桨的不平衡质量，其位置在 ho 延长线上 b 叶的尖端附近。

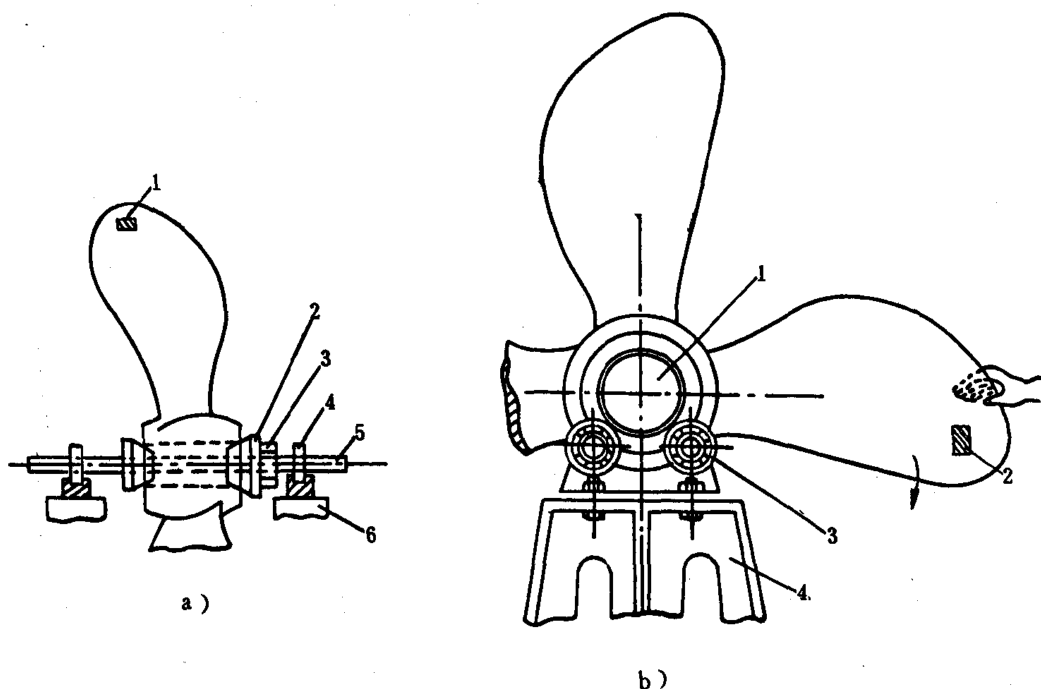


图 6.2.3—74 桨的平衡试验装置

a)图：1—挂重；2—锥体；3—螺母；4—滚动轴承；5—心轴；6—支架

b)图：1—心轴；2—挂重；3—滚动轴承；4—支架

电子秤静平衡的检查精度可达 0.1kg。

大型船舶螺旋桨，转速不高，只作静平衡检查。

③不平衡质量的允许值

中国 CB* 265—79 标准规定：

$$P = K\frac{1}{R}\frac{m}{1000} \qquad \text{kg}$$

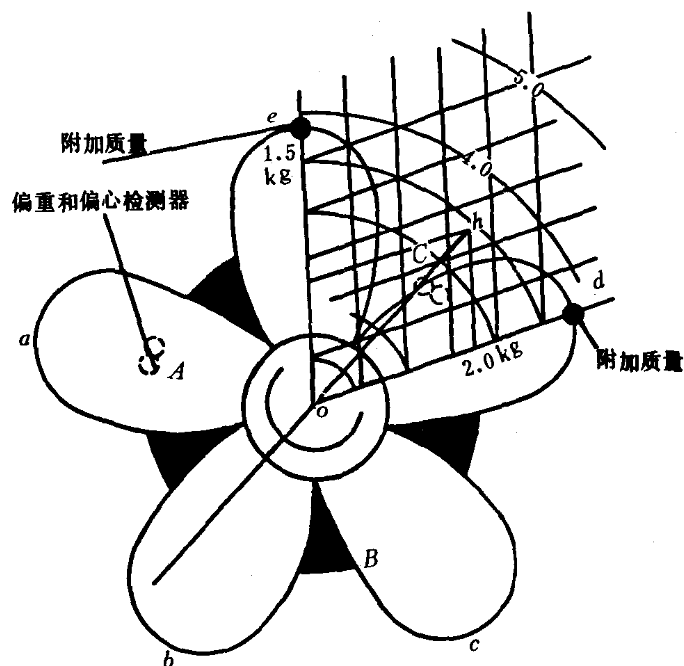
式中：P—— 允许最大的不平衡质量，kg；

m——螺旋桨的质量,kg;

R——螺旋桨的半径,m;

K——系数,按螺旋桨转速 n 及螺旋桨级别系数 j 而定,$n \leqslant 200r/min, K=j$

$n > 200r/min, K=\left(\frac{200}{n}\right)^2 \cdot j$



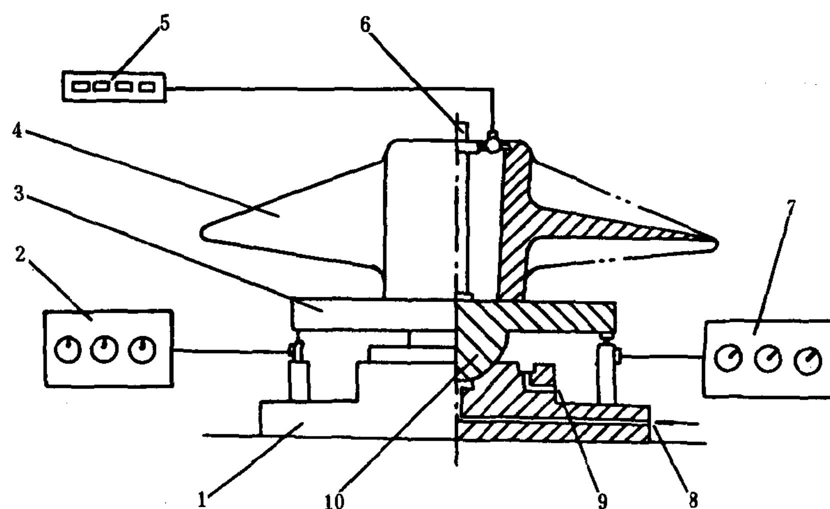


图 4.2.3--75 电子秤法检查螺旋桨静平衡

1—检测平台底座;2—水平检测器;3—检测平台;4—螺旋桨;5—偏心检测器;

6—中心标准轴;7—侧重检测器;8—压力油进口;9—压力油出口;10—球面静压轴承

螺旋桨级别系数 j 查表 6.2.3—52。

表 6.2.3—52　　**级别系数j值**

级　别	A	B	C
j	0.75	1.0	2.0

(7)螺旋桨的动不平衡

桨的各叶片重心的轴向位置不一致,转动时产生不平衡力偶,会使桨叶扭转,降低推进效率,对高速桨的影响尤为显著。

动力平衡是将桨装在弹性支架上作高速运转,不平衡离心力使支架振动,根据支架振幅的大小来测定不平衡的程度,从而求得削除叶片多余的质量。实际上,桨在工作时,由于流场不均匀,其不均匀水动力远大于不平衡动力。因此,允许存在一定的动不平衡,通常以不平衡力矩小于或等于螺旋桨重力与桨叶轴向投影乘积的1%为限度。即

$$M \leqslant \frac{GL}{100}$$

式中:M——允许遗留的不平衡力矩N·M;

G——螺旋桨的重力,N;

L——桨叶轴向投影长度,m。

当螺旋桨经过静平衡试验后,不平衡质量超过允许值,则应消除。

①在较重的叶片背面(吸力面)铲削金属。由于叶片边缘处较薄,故在靠边缘10%宽度处不允许铲去金属,也决不允许在叶片压力面上铲削。铲削可用风动凿批凿,然后用砂轮磨光,铲削下的金属应集中起来称其重量,以便和不平衡值相比较。

②在轻叶片的吸力面上焊接金属板。其材料应与螺旋桨材料基本相同,尤其是在海船上,决不允许采用与桨材有显著电位差的材料。金属板重量与前的不平衡值差不多。焊时遵守螺旋桨补焊技术要求,焊后应用砂轮将金属板打磨平。

5.6.3　螺旋桨的损伤与修理

螺旋桨的缺陷主要发生在桨叶上,常见的有:腐蚀,磨损,裂纹,崩裂,弯曲和折断;桨毂上有损伤裂纹,锥孔表面及键槽侧面的咬痕和撞痕,导流帽的损伤。营运中螺旋桨还可能出现“重载”、“轻载”和“鸣音”等现象。

1)腐蚀与磨损的修理

腐蚀斑点不深,扩散在每平方厘米面积内少于三点,则可在斑点处用砂轮磨平见光泽。深度超过1—1.5mm,每平方厘米内斑点多于之点,则应批铲补焊后,修磨光顺。为防止气蚀孔的蔓延,可采用涂料填补法,特别对钢质或铁质桨效果较好。具体工艺及涂料配方[21]如下:

(1)涂覆准备工作:

①首先将桨叶喷丸处理;

②检查桨叶的清洁程度;

③室内温度控制在20℃左右;

④将桨搁置在转动架上。

(2)调制配方:

①按配方比例将618环氧树脂与304不饱和树脂混和调匀;

②加入增塑剂,搅伴均匀;

③加入固化剂,缓慢搅拌,树脂温度不超过30～40℃;

④然后加入填料，稀释剂，充分搅拌均匀备用。

(3)涂覆顺序：

①用丙酮洗刷桨表面；

②桨叶涂塑部位用红外线灯进行预热，温度约 40℃；

③用刷将涂料嵌在桨叶腐蚀部位，渗入内部并保持表面光滑；

④用 10—15r/min 的速度转动桨，防止涂料下淌降低质量；

⑤涂刷两次、操作相同。

(4)涂料配方：

①空泡腐蚀区涂料；618 环氧树脂；100 份，304 不饱和树脂 120 份，磷苯二甲酸二丁脂 15 份，乙二胺 8 份，水泥 75 份；

②表面防腐涂料：618 环氧树脂 100 份，304 不饱和树脂 10 份，磷苯二甲酸二丁脂 5 份，乙二胺 6 份，丙酮 20 份，红氧铁 25 份。

(5)注意事项：

固化剂加入前树脂温度不超过 30～40℃，加入后搅拌所产生气体有毒，应防止中毒；红氧铁加入后搅拌均匀，防止块状存在；每次涂层务必等充分硬化后才能涂第二层；涂层厚度在0.5 mm 以下，涂层太厚易脱落。

叶片根部空泡腐蚀深度不超过该处叶片厚度之半，应批铲后补焊，磨光。

叶片腐蚀很深，深度超过该处叶片厚度之半，扩散面积较大或密集区面积超过叶片面积的 20%，腐蚀凹陷的直径为该处叶宽的 20%，对小型桨则应换新，对大中型桨可将损坏部分割去，焊以新板。

磨损严重的面积超过叶片面积的一半时，应更新叶片。

2)裂缝与崩裂的修理

由于铸造缺陷和铜合金脱成分腐蚀(黄铜脱锌，高锰铝青铜脱铝等)，使桨材料机械性能变坏，塑性大幅度降低，加之海水中工作易产生腐蚀疲劳或应力腐蚀裂纹，使桨叶折裂。崩裂一般在工作中撞上硬物和礁石造成，也可能是铸造缺陷加上机械损伤而造成的。

崩裂的铸铁螺旋桨断叶长度不超过叶片总长的 1/2(最长不超过 400mm)，允许用浇铸铁水的办法补齐断叶部分，浇补后应仔细检查接缝质量，不应有冷隔，熔接不良和裂纹等缺陷[22]。

对于铜质或钢质桨叶断叶部分，可用焊补或接补的方法修理。其长度不可超过叶片长度的 1/3(最长不得超过 400mm)。接缝处的最大厚度不宜超过 50mm。

修理的方法有：

①切除法：即当桨叶外缘折裂时，将桨叶作等直径等量切除，目的是使螺旋桨桨叶保持平衡。缺点是主机功率发不足，影响船舶的航速。

②接补法：接补前应知道桨叶的材质，并对弯曲的桨叶进行矫正，用柴油炉对需要矫正部位进行加热，然后用千斤顶和专用工具进行矫正。对接补处的断面进行强度验算，(原桨叶很薄，则无修补价值)，以保证接补后桨叶有足够的强度。镶块及母材应进行试样测试，检查焊接后的抗拉及抗弯等物理性能，测试结果应接近于原始技术数据。接补桨应用钢锉将接处坡口。为了防止焊接变形，应考虑专用胎架。焊接过程中工件必须采取预热，见表 6.2.3—53。

表 6.2.3—53

工 件 预 热 温 度

材 料	ZHMn55—3—1	ZHAL67—5—2—2	ZQAL12—8—3—2 ZQAL24—8—3—2	ZG25
预 热 温 度	150～350	150～250	100～250	1100～150

根据不同施焊方法，选用合适焊条。焊接时，为控制焊缝两端不产生拉裂现象，焊缝应先中央后边缘进行焊接，长度一般为 300～400mm。对修补后的桨，应按焊接规范进行退火处理。焊接后进行外观和无损着色等检查，最后对桨作热矫正，测量螺距和作静平衡校验。

裂缝修理方法同上。焊接用的焊条为：锰黄铜。螺旋桨气焊选用"丝 211"，电焊选用"铜 227"或"铜 237"；铸钢螺旋桨电焊选用"结 427"或"结 427"焊条。焊接后有变形时，应进行矫正及修磨光顺和检验。

3)弯曲的修理

螺旋桨桨边边缘弯曲较小(20°以内)，弯曲处较薄(厚度 15～20mm)的钢质或铜质螺旋桨可以冷态矫正；若超过此范围应采用热矫正。

热矫正时一定要严格控制加热温度。预热的温度参照表 6.2.3—54。

表 6.2.3—54

预 热 温 度 ℃

材 料	热矫正加热 温 度	焊补预热 温 度	一般溶化 温 度	说 明
铁 质	—	650—700	>1100	浇铸接补
钢 质	<800	200	>1400	矫正与焊补
铜 质	600—700	周围 200—400 气焊区 500—600	>850	矫正与焊补

钢质螺旋桨热矫正后应加热到 850—900℃ 退火，要防止叶片退火时产生变形。

铜质螺旋桨热矫正后覆盖石棉毯使其缓冷。锰铁黄铜、锰铝青铜桨在矫正后要进行消除内应力的热处理。

4)轻、重桨的修改

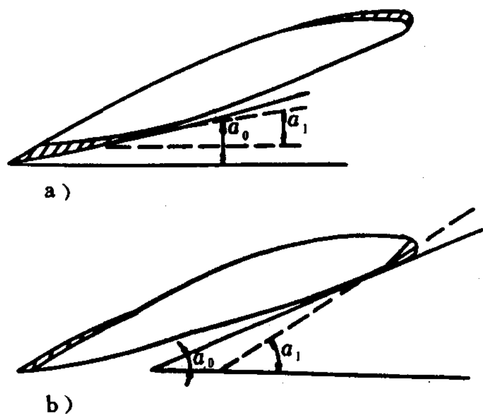


图 6.2.3—76 修整螺旋桨

a)重载消除；b)轻载消除

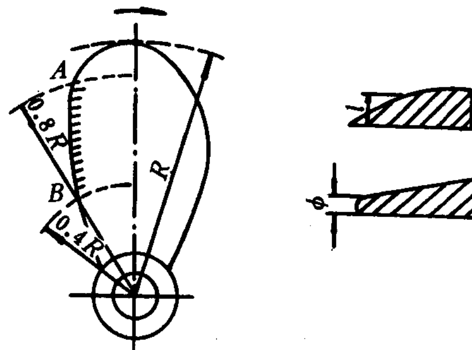


图 6.2.3—77 加厚和减薄法消除鸣音

所谓“重桨”是船舶航行中，螺旋桨转速低于设计指标从而使航速下降。解决“重桨”的有效办法是减小螺距或直径。在扭矩不变的情况下，每增加1%转速，约需减小1.0%的螺距或1.5%～2.0%的直径。削减直径后的叶梢应尽量做成光顺的流线型，以减小叶梢能量损失。另一种方法是对桨叶随边压力面进行修整以减小冲角，有效螺距角减小，从而增加螺旋桨的转数。如图6.2.3—76a)。用此方法调正螺旋桨的转数，不影响桨的推进性能和轴系扭振。

螺旋桨“轻载”即在相同的航速下螺旋桨吸收的功率比主机原提供的功率小，由于主机受到转速的限制，主机不能发挥设计功率。轻载桨可以对随边吸力面或导边压力面进行修整。如6.2.3—76b)。

5)鸣音的处理

某些船舶螺旋桨转动时，其叶片随边0.4R以上部位产生有节奏的涡流。在某几个转速下，随边的卡门涡流的振动频率恰好与桨叶固有频率相接近而产生共振。使桨发出清脆的鸣音。防止的方法有：

(1)加厚法：如图6.2.3—77所示把桨叶随边中间(A—B部分)加厚。使涡流引起的振动频率低于桨叶本身固有频率而避免了共鸣。

(2)减薄法：如图6.2.3—77所示对桨叶随边(A—B部分)减薄，使涡流所引起的振动频率大于桨叶本身固有频率，从而避免共鸣。

(3)特殊加工法：对桨叶随边(A—B部分)特殊加工。如图6.2.3—78所示：a)为随边部分处贴一排小圆块；b)挖一排空穴；c)削去一部分；d)开了封闭圆孔槽；e)为做成齿状三角槽；f)为做成抗鸣边缘。图中f)的尺寸c和d列于表6.2.3—55。

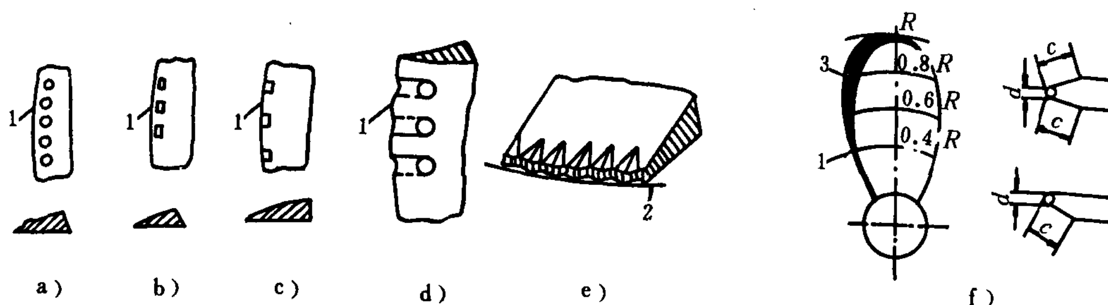


图6.2.3—78 特殊加工消除鸣音

表6.2.3—55

桨叶随边削去部分结构尺寸

(mm)

螺旋桨直径	c	d	螺旋桨直径	c	d
1000	15.0	1.50	3000	25.0	2.5
1500	17.5	1.75	3500	27.5	2.75
2000	20.0	2.00	74000	30.0	3.00
2500	22.5	2.25			

5.6.4 螺旋桨的安装

螺旋桨与桨轴的连接有：有键连接和无键连接两种形式。有键连接的螺旋桨轴，由于键槽部分易产生应力集中，有时会发生裂纹与断轴，目前大型船舶常采用无键连接。

螺旋桨的安装法有：一般安装法，液压螺母法，油压套合法及环氧树脂胶合法。

1)一般安装法

使用葫芦,千斤顶等简单工具。先将桨与轴刮配好,清洗干净,在非配合面上涂黄油,对正好键与键槽位置,然后拉(压)入。安装螺母或整流帽前应在帽内涂满油或灌入融化的石腊,注意螺帽的旋向,旋上螺母,用专用扳手将桨螺母旋好并打紧(旋打时用垫木夹住桨片,使之不转动)至刮配时所作的记号位置。装好螺母上的止动装置,最后用水泥将螺母或整流帽凹处填平封好。

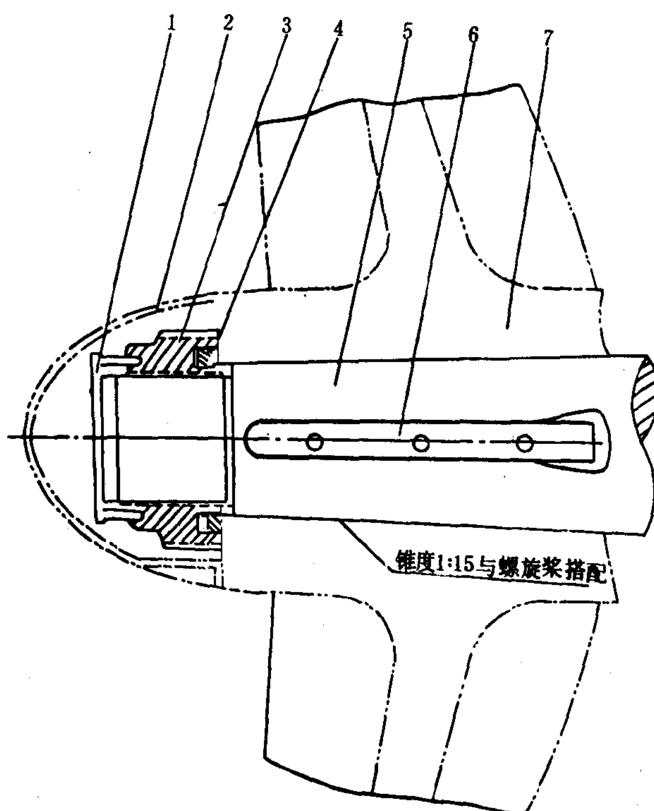


图 6.2.3—79 用液压螺母安装螺旋桨

1--压板;2—整流帽;3—液压螺母;4—加压环;5—尾轴;6- 平键;7—螺旋桨

2)液压螺母法

将液压千斤顶设计在尾轴螺母内。先将螺母用专用扳手上紧,然后压油进入螺母凹槽与加压环之间(最高压力达 4×10^7Pa 以上),产生一个轴向力,将螺旋桨压至预定位置后即放去油压,再用专用扳手和大锤将液压螺母打紧并装上止动片。拆卸时,只要将液压螺母反方向装上,安上压板、螺栓,装上油管向内压油。在压板、螺栓等工具的配合下拉出螺旋桨。具体装、卸参见图 6.2.3—79 和图 6.2.3—80。

3)油压套合法

首先在尾轴锥上涂油,将螺旋桨自由地套在轴上,如图 6.2.3—81。套上油压法兰,旋上特殊的尾轴螺母并旋紧。用油泵 1 将油压入油压法兰,使桨紧压於锥体上,同时由泵 2 与 3 将油泵入桨壳孔和尾轴锥体配合面。桨锥孔内车有螺旋形油槽,此槽无出口,使桨壳膨胀环状活塞上的压力油将螺旋桨推入,直到计算的端点位置,从壳上排气孔或油泵排出孔卸压,油压法兰中的油压还须保持一段时间(约 15min),待桨与轴之间的油膜完全消失后再放去油压。拆卸时将螺母松开,距离为原来安装时的推移距离再加上 2mm,然后将油压入锥孔配合面,桨壳孔

被胀开，油均匀分布到壳孔与轴的接触面，此时桨自动向后滑脱。

4）环氧树脂胶合法

环氧树脂是一种环氧粘结剂，广泛采用于无键胶接（也用于有键胶接）。胶合法的步骤为：

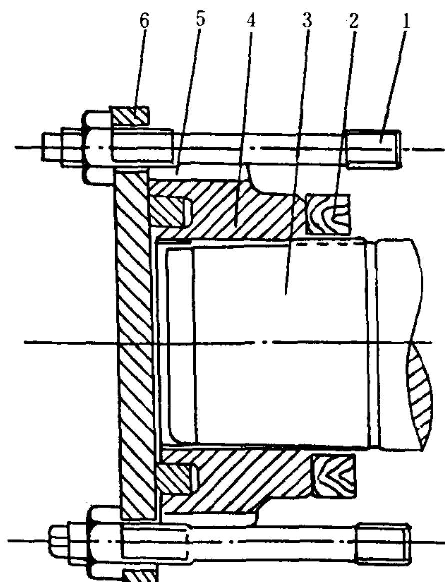


图6.2.3—80 用液压螺母拆卸螺旋桨
1—旋入螺旋桨的螺栓；2—木垫；3—尾轴；
4—液压螺母；5—压力环；6—压板

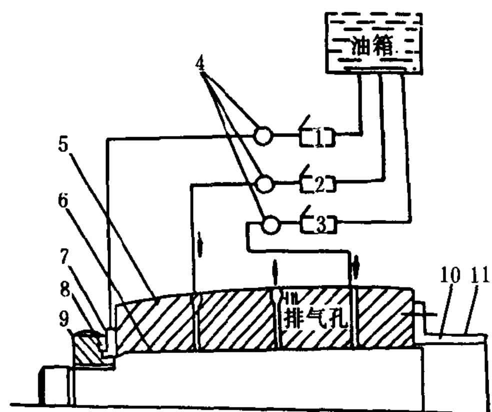


图6.2.3—81 油压拆装螺旋桨原理图
1、2、3—油泵；4—油压表；5—桨壳；6—通油间隙；
7—油压法兰；8—环状活塞；9—特殊螺母；10—保护套；11—尾轴

①表面粗糙度6.3，锥体大小端用0.05mm塞尺塞不进，轴孔中部应车空0.10—0.15mm作为涂层如图6.2.3—82；

②表面用丙酮、四氯化碳或其它去油溶剂洗刷干净；

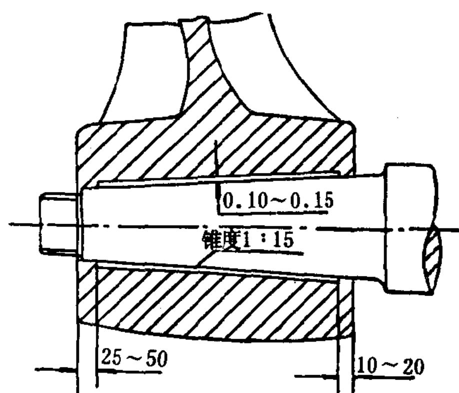


图6.2.3—82 轴孔无键胶接示意图

③键与桨键槽两侧应用0.10mm塞尺塞不进，并全部涂胶；

④环氧粘结剂的配方如表6.2.3—56所示，按桨的功率大小估计调剂量，一般每一百马力(Ps)用10g环氧树脂，再按重量比例配调其它用剂，称出增塑剂和稀释剂，与环氧树脂倒一起调匀，按比例倒入固化剂搅匀；

⑤胶接前，应去锈、油；污斑，用氧—乙炔火焰或喷灯将胶接表面缓慢加热至30～40℃，用刷子将粘结剂均匀地涂在轴与锥孔的胶接表面约0.2～0.3mm厚，不能留有气泡、刷毛和灰砂。将桨套入，旋上螺母，打紧；清理残余粘结剂，在常温下24h才能固化。拆卸时可用氧—乙炔焰或喷灯对胶接处加热至200℃即可脱开，用专用工具拆下螺旋桨。

表 6.2.3—56　　　　　　　　　　**环氧粘结剂配方表(重量表)**

环氧树脂	固化剂	增塑剂	稀释剂
618,90 份 或 6010,100 份 或 634,100 份	二乙烯三胺,8～10 份	304,30 份	90,15 份 或 501,15 份
	三乙烯四胺,10～12 份	650,50 份	
	四乙烯五胺,12～14 份	651,50 份	
	650,	100 份	

注:650 聚酰胺树脂是增塑剂,又是固化剂。

5.6.5　液压无键螺旋桨推入量

最小轴向推入量 S_1 指保证正常运转所需的推入量,最大轴向推入量 S_2 指应力达到桨材料屈服极限的 70%时的推入量。用液压无键安装螺旋桨时,轴向推入量 S 应满足:$S_1 \leqslant S \leqslant S_2$。$S_1$ 和 S_2 按规范计算。

参 考 文 献

[1] 中华人民共和国船舶检验局:钢质海船建造规范,人民交通出版社,1982 年

[2] 中华人民共和国船舶检验局:长江水系钢船建造规范,人民交通出版社,1982 年

[3] 船用柴油机设计手册(六)系统和附件,国防出版社,1983 年

[4] 船舶设计实用手册编辑委员会:《船舶设计实用手册》第四册,国防工业出版社,1962 年

[5] 机械动力设备修理技术手册:联轴节,机械工业出版社,1973 年

[6] 东北工学院《机械零件设计手册》编写组:机械零件设计手册,冶金工业出版社,1983 年

[7] 中华人民共和国交通部标准:JT4162—77 船舶中间轴、推力轴、尾轴及联轴器技术要求,人民交通出版社,1979 年

[8] 苏 E·A·伊亿诺夫著:传动联轴器,机械工业出版社,1960 年

[9] 国外船用柴油机编辑组:国外船用柴油机——传动装置译文集(二),上海船用柴油机研究所,1977 年

[10] 中国机械工程学会和机械设计与传动学会的离合器专业技术联络网:离合器技术——第 I 集,1984 年

[11] 国家标准:GB6073—85LT 型高弹性摩擦离合器,标准出版社,1985 年

[12]《机械工程手册》编辑组:轴、联轴器、离合器、制动器(第 28 篇),机械工业出版社,1978 年

[13] 联邦德国 H. Ritz 和荷兰 C. Gallin 著:间接推进系统的系统工程设计状况,上海国际海事会议论文集,1985 年

[14] GB5843—86 凸缘联轴器,标准出版社,1986 年

[15] GB* 3235—86 液压联轴节系列参数,标准出版社,1986 年

[16] GB5014—85 弹性柱销联轴器,标准出版社,1985 年

[17] 张乐天:民用船舶动力装置,人民交通出版社,1985 年

[18] 段广汉:离合器结构图册,国防工业出版社,1985 年

[19] 王向楹等:船用柴油机传动装置图册,国防工业出版社,1981 年

[20] JONR. MANCUSO: Couplings and Joints (Design、Selection、and Application) MARcel Dekker、INc. 1986

[21] C. Gallin/Hiersing Herderich: SHips and THeir Propulsion Systems, Lohmann & stolterfoht GmbH, 1986

[22] 王国强、盛振邦:船舶推进,国防工业出版社,1985

[23] 张佐厚、胡志安:船舶推进,国防工业出版社,1980

[24] R. Taggart: Marine Propulsion: Principles & Evolution, Gulf Publishing Company, 1969

[25] SV. AA. Harvald: Resistance and Propulsion of Ships, John Wiley & sons, 1983

第3篇　船舶机械与设备的振动噪声控制

第1章　船舶机械与设备的振动控制

1　概　述

1.1　危　害　性

与陆用设备相比，船用机械设备的安装条件和使用环境都十分恶劣，即使经过陆上的正式试验和出厂试验，在装船使用后，仍有高达30%以上的故障是因振动而发生的，对此应加以注意。

1.2　振动故障的原因分析

造成船用机械与设备振动故障的原因，首先是设计考虑不周，以下依次是安装、调整、运转、制造、加工、老化、保养、参见图6.3.1—1。“设计计划”类的比率高达60%以上。应该引起设计人员的重视。使用管理部门人员，也应重视对设计中提供的振动计算等技术文件的审查，这样做才能防患于未来。

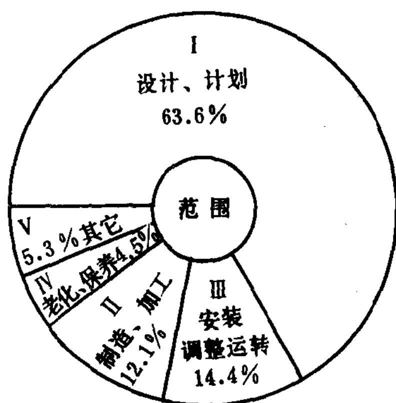


图6.3.1—1　振动故障发生范围

在振动故障中，异常的振动现象（如自激振动等）较少，主要是一般的振动现象，统计资料指出：强迫振动约31%；共振约29%。

两者合计为60%，占振动故障的大部分。

1.3　减少与控制振动的方法

关键在于设计部门，要从减少振动这一角度去考虑结构和系统的设计，主要的方法有：减少振源的激励；加大结构或基础的刚度；减少振动的传递（隔振）。从动力装置的设计来看，隔振是最为有效的方法。

制造加工部门要保证加工精度和装配精度，安装调整时应避免硬性操作。

管理部门应严格按照技术文件要求操作，注意保养，绝不能在过度磨损情况下“凑合”工作，对隔振元件要经常检查是否老化、有无损坏等情况。

2 隔振的基本原理

2.1 隔振处理

船用机械与设备的隔振处理就是在它与安装基础之间装入一组弹性较大的隔振元件，以改变机械设备与基础之间的运动关系。

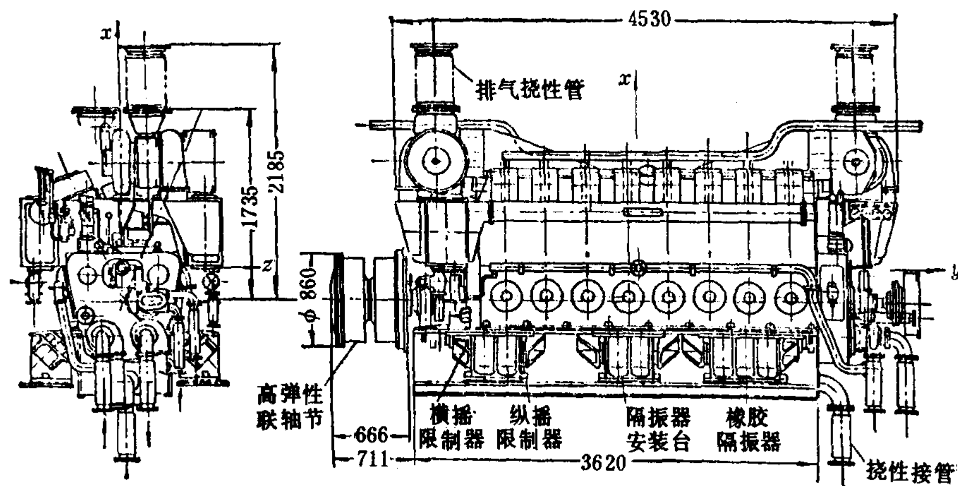


图 6.3.1—2 船舶主机的隔振布置

为减少振动的传递，外界与隔振了的机械和设备相连的所有的管路、电缆、连接轴、传动轴等一定要做成挠性的，为此应采用夹布胶皮管、蛇形软管、金属波纹管、弹性联轴节、气胎离合器、万向联轴节等装置。采取隔振措施后，不仅要给隔振器的安装位置留有空间，而且还要给机械、设备等在各个方向留有活动的空间。对于电气设备要有可靠的接地设施，并且所有的电线均要有一定的拉伸余量，不能拉得过紧。采用橡胶隔振器时，为消除橡胶永久变形的影响，安装在弹性支承上的机械、设备需经 24h 后才能最终地扳紧所有固定螺栓及安装位移限制器。图 6.3.1—2 为一台船舶主机的橡胶隔振装置实例。

2.2 单自由度无阻尼自由度振动

刚体在空间可以有六个自由度运动，见图 6.3.1—3。

单自由度运动是刚体运动中最基本的形式。单自由度系统是将一个实际振动系统，根据模型化的原理，模化成一个质量、弹簧和阻尼所组成的集总振动系统，它只需要一个坐标就可以决定系统任何瞬时的运动状况。

单自由度系统只有一个固有频率。

若有一个如图 6.3.1—4 所示的单自由度无阻尼质量弹簧系统，弹簧常数(刚度)为 K，弹簧自由长度为 l_0，在弹簧上安放一重量为 W 的物体，此时弹簧的静位移为 δ_s。

$$\delta_s=\frac{W}{K}$$

如果物体从平衡位置受外力作用向下压下一个微小距离 x_0，x_0 称为初位移，然后撤去外力，物体由于弹簧恢复力的作用，将产生运动，其运动的规律是相对平衡位置沿 ox 轴作上下振

动，见图 6.3.1－4c）。

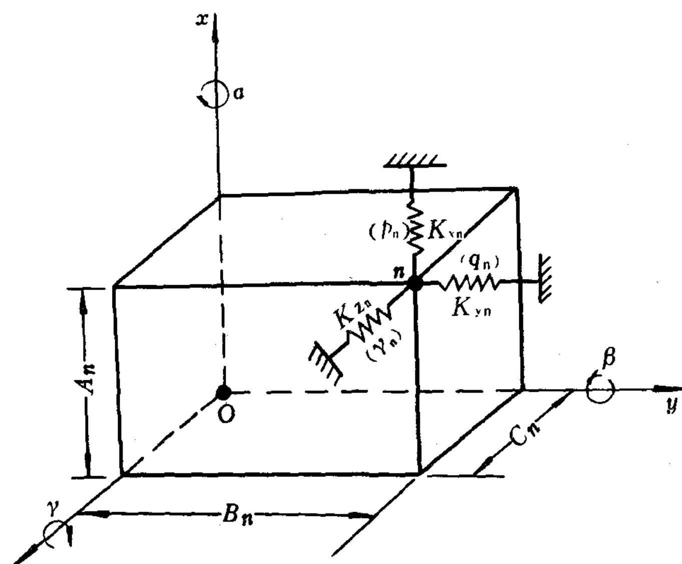


图 6.3.1－3 平置式弹性支承

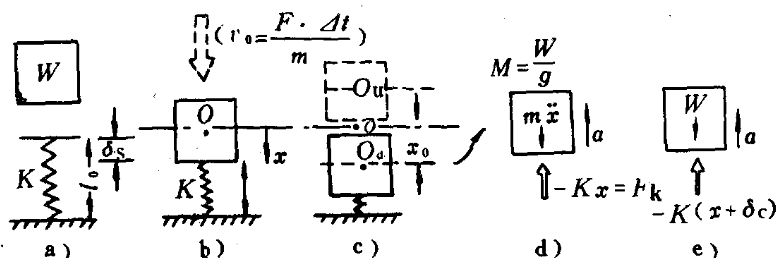


图 6.3.1－4 单自由度无阻尼自由振动系统质块动力平衡图

a）弹簧自由高度 l_0 和物重 W；b）系统平衡位置，静位移 δ_s；c）初位移 x_0 及质块自由振动；

d）弹性恢复力 Kx 与惯性力 $m\ddot{x}$；e）计及物重的动力平衡

物体受到的弹性恢复力

$$F_K=-K(x+\delta_s)$$

物体受到外力作用的合力

$$F=F_k+W=-K(x+\delta_s)+W=-Kx$$

牛顿第二定律

$$F=m\ddot{x}$$

即 $m\ddot{x}+Kx=0$

解此线性微分方程，得到有初位移、无初速条件下物体的运动规律为：

$$x=x_0\cos\omega_n t$$

ω_n 为系统的固有频率。由于系统无外界干扰，系统的固有频率 f_n 或 ω_n 代表系统的固有特性，又称为自振频率。

$$\omega_n=2\pi f_n=\sqrt{\frac{K}{m}}$$

$$f_n=\frac{1}{T}=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K}{m}}$$

又

$$\frac{K}{m}=\frac{Kg}{W}=\frac{g}{\delta_s}$$

代入上式得

$$f_n=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K}{m}}=\frac{\sqrt{g}}{2\pi}\cdot\sqrt{\frac{1}{\delta_s}}=4.98\sqrt{\frac{1}{\delta_s}} \quad (6.3.1-1)$$

式中：δ_s——静位移，cm。

式(6.3.1－1)表示了固有频率与静位移的直接关系，这是一个很有用的关系式，只要知道物体由于自重影响而引起支承弹簧的静位移 δ_s，便可以直接确定该系统的固有频率，而不需要知道物重及弹簧刚度。图 6.3.1－5 表示了 δ_s 与固有频率 f_n 的关系曲线。

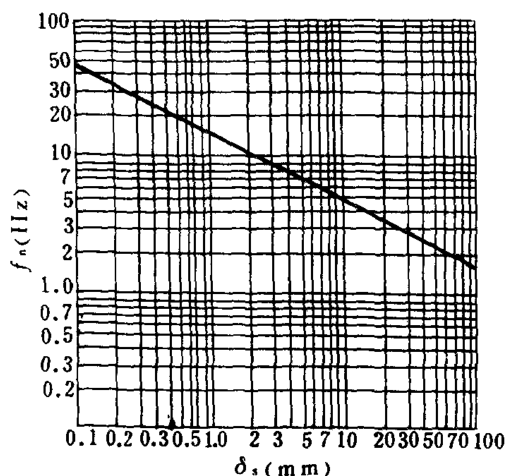


图 6.3.1－5 单自由度无阻尼自由振动系统静位移 δ_s 与固有频率 f_n 的关系曲线

2.3 隔振系统

隔振系统可分为两类。

第一类是隔离机械设备本身的扰动(振动)通过其机脚、支座传至基础或底座。通常称这类隔振为积极隔振、主动隔振或动力隔振。其目的在于隔离或减小机械设备产生的干扰的传递，使周围环境及船体上层建筑少受这种机械振动的影响。一般动力机械、回转机械的隔振都是属于这一类。

第二类是防止周围环境的振动通过机脚、支座传到需要保护的器具、仪表。通常称这类隔振为消极隔振、被动隔振或防护隔振。其目的在于隔离或减小运动的传递，使需要保护的物体设备不受或少受基础振动的影响。一般电子仪表、贵重设备、精密仪器、易损器具的隔振都是属于这一类。

这两类隔振的概念虽然不同，但实施的方法却是一样的，都是通过在物体和基座间装设隔振器作为弹性支承来实现的。

2.4 积极隔振

其力学模型如图 6.3.1－6 所示。

W 表示柴油机的重量，K 表示一组隔振器的当量刚度，c 表示隔振器的粘性阻尼系数，$F=F_0\sin\omega t$ 表示柴油机的干扰力(相当于一次不平衡惯性力)，坐标轴 x 通过物体在静平衡状态下的重心位置 0，向下为正。

以质块作为分离体(见图 6.3.1－6c))，其受力情况为：

1)向下的激励力 $F=F_0\sin\omega t$；

2)向上的弹性恢复力 F_k 和阻尼力 F_c 各为 $-Kx$，$-c\dot{x}$；

3)质块的惯性力 $F_m=-m\ddot{x}$；

$\dot{x}$，$\ddot{x}$ 分别表示质块在振动时的速度与加速度。其合力将为：

$$\Sigma F = F + F_k + F_c + F_m = F_0 \sin\omega t - Kx$$
$$-c\dot{x} - m\ddot{x} = 0$$
$$m\ddot{x} + c\dot{x} + Kx = F_0 \sin\omega t$$

在加入隔振器后，在该简谐干扰力（激励）作用下，机械的响应（位移）x 为：

$$x = x_0 \sin(\omega t - \varphi) \quad (6.3.1-2)$$

式中：x_0——位移幅值；

ω——干扰力的圆频率。

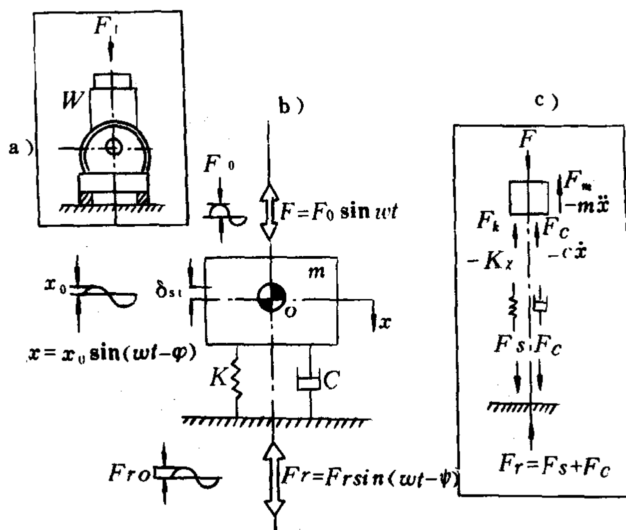


图 6.3.1—6　单自由度系统的强迫振动

$$x_0 = \frac{F_0}{\sqrt{(K - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} \quad (6.3.1-3)$$

相位幅值 φ：

$$\varphi = tg^{-1}\frac{c\omega}{K - m\omega^2} \quad (6.3.1-4)$$

式(6.3.1—3)与(6.3.1—4)分子和分母均除以 K，得

$$x_0 = \frac{F_0/K}{\sqrt{(1-\frac{\omega^2}{\omega_n^2})^2 + 4\zeta^2\frac{\omega^2}{\omega_n^2}}} \quad (6.3.1-5)$$

$$\varphi = tg^{-1}\frac{2\zeta\frac{\omega}{\omega_n}}{1-\frac{\omega^2}{\omega_n^2}} \quad (6.3.1-6)$$

式中：$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{m}}$——无阻尼固有频率；

$\zeta = \frac{c}{C_c}$——阻尼比；

其中：$C_c = 2m\omega_n$——临界阻尼。

在有阻尼的情况下，传至基座的传递力 F_T 由两部分组成，见图 6.3.1—6c)。一为弹簧力，其幅值为 Kx_0；另一为阻尼力，其幅值为 $cx_0\omega$。弹簧力与物体运动的位移成正比，而阻尼力则与物体运动的速度成正比，两者之间相差 90°相角（见图 6.3.1—7），因此其矢量和为：

$$F_T=K\vec{x}+c\dot{\vec{x}}=F_{T0}\sin(\overline{\omega t}-4)$$

式中

$$F_{T0}=\sqrt{(Kx_0)^2+(cx_0\omega)^2}=x_0\sqrt{K^2+(c\omega)^2}$$

图 6.3.1－7　基座受力合成矢量

代入 4.3.1－5 式，得：

$$F_{T0}=F_0\frac{\sqrt{1+4\zeta^2\frac{\omega^2}{\omega_n^2}}}{\sqrt{(1-\frac{\omega^2}{\omega_n^2})^2+4\zeta^2\frac{\omega^2}{\omega_n^2}}} \qquad (6.3.1-7)$$

ψ 为传递力 F_{T0} 滞后干扰力 F_0 的角度，由图6.3.1－7 得：

$$\psi=\varphi-\beta$$

$$\psi=tg^{-1}\frac{2\zeta(\frac{\omega}{\omega_n})^3}{1-\frac{\omega^2}{\omega_n^2}+4\zeta\frac{\omega^2}{\omega_n^2}} \qquad (6.3.1-8)$$

如机械直接刚性地安装在基础上，则干扰力 $F=F_0\sin\omega t$ 完全传给基础。当机械和基础之间加入隔振器后，通过隔振器传给基础的力为 $F_T=F_{T0}\sin(\omega t-\psi)$。将有隔振器时传给基础的力的幅值与直接刚性地安装时传给基础的力的幅值之比定义为"动力传递系数"或"绝对传递系数"，用 T_A 表示，则

$$T_A=\frac{F_{T0}}{F_0}=\frac{\sqrt{1+4\zeta^2\frac{w^2}{w_n^2}}}{\sqrt{(1-\frac{w^2}{w_n^2})^2+4\zeta^2\frac{w^2}{w_n^2}}} \qquad (6.3.1-9)$$

绝对传递系数 T_A 表示隔振的效果，T_A 越小，隔振效果越好。隔振效果也可用隔振效率 η 表示

$$\eta=(1-T_A).100\%$$

η 越大表示隔振效果越好。

亦可用隔声系数(衰减量)表示隔振后振动级降低的程度，用以评定结构噪声的减弱情况，常用分贝表示：

$$N=20\lg\frac{F_0}{F_{T0}}=20\lg\frac{1}{T_A}$$

如果忽略阻尼的影响，则得

$$N=20\lg[1-(\frac{\omega}{\omega_n^2})^2]$$

T_A 是频率比 ω/ω_n 和阻尼比 $\zeta=c/c_c$ 的函数，可用曲线表示，见图 6.3.1－8。

由图 6.3.1－8 可知：

1)频率比 $\omega/\omega_n=\sqrt{2}$ 是一个分界点。当 $\omega/\omega_N\geqslant\sqrt{2}$ 时，$T_A\leqslant1$，传给基础的力将小于干扰力，取得了隔振效果，这个区域称为隔振区。从实际出发，ω/ω_n 也不宜过大，因为该值过大，意味着隔振器很柔软，静变形将很大，使被支承物体的稳定性变得很差，容易摇晃。另一方面，从图6.3.1－8上可以看出，当 $\omega/\omega_n>5$ 以后，隔振效率曲线 η 趋近于水平，进一步增加 ω/ω_n 的比

值，不能得到更大的隔振效果。

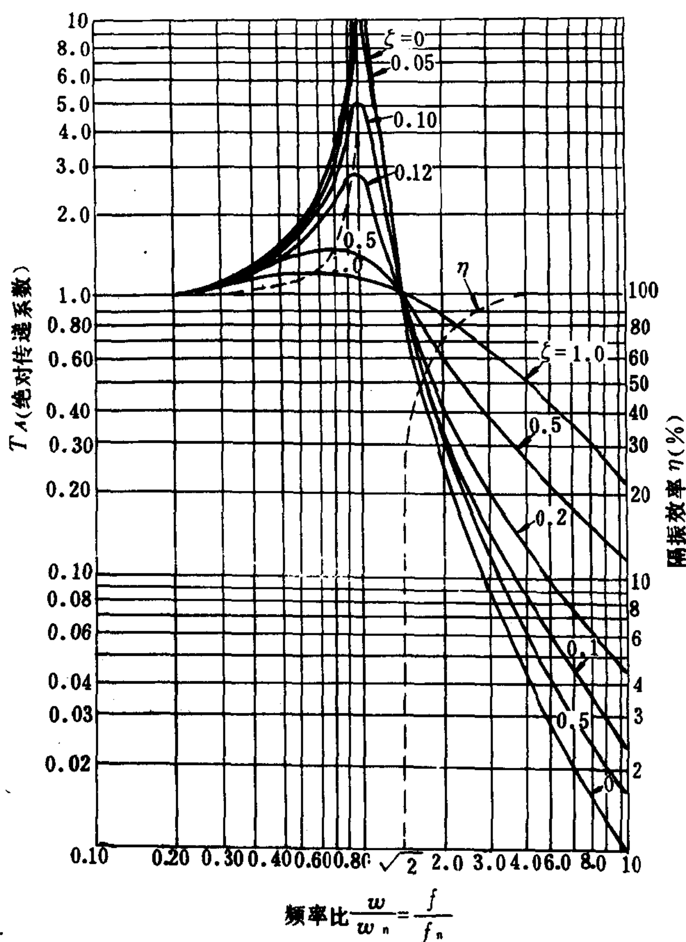


图 6.3.1－8　绝对传递系数的幅频特性曲线

2)当 $\omega/\omega_n<\sqrt{2}$ 时，$T_A>1$，在这个频域内，传给基础的力将大于激励力，系统起了放大的作用，这个区域称为放大区。

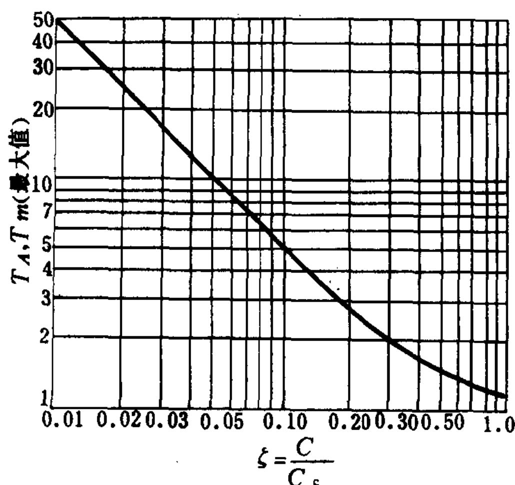


图 6.3.1－9　ξ与 Tmax 关系曲线

3)隔振器中的阻尼具有重要作用，阻尼(粘性阻尼)虽然降低了隔振效果，但对于船用动力机械，在变工况下工作时，可以明显减小在通过共振区时的振动响应，保证平稳过渡。绝对传递系数的最大值 $T_A$max 与 c/c_c 值有关，图 6.3.1－9 表示了它们之间的关系。

当机械设备传给基础的最大传递系数 $T_A$max 确定后，可由图 6.3.1－9 查出 c/c_c 值，再计算出相应的 ω/ω_n 作为选择隔振器的依据。

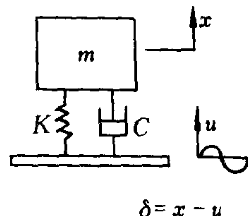
2.5　消极隔振

对于安装在船舶上的设备或仪表，本身没有激励作用，其振源来自基础的振动，即以基础的振动位移向系统输入，这时的隔振称为消极隔

振系统，图 6.3.1—10 所示，即表示了这种系统运动的基本形式。

x——质量 m 的位移；u——基座的位移；δ——质量与基座间的相对位移

在这种系统中隔振效果可用设备和基础振动位移的幅值比 x_0/u_0 表示：



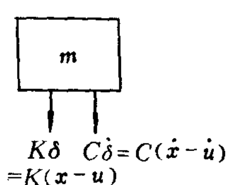


图 6.3.1—10　基座运动模型图

$$\frac{x_0}{u_0}=\sqrt{\frac{1+4\zeta^2\dfrac{\omega^2}{\omega_n{}^2}}{\left(1-\dfrac{\omega^2}{\omega_n{}^2}\right)^2+4\zeta^2\dfrac{\omega^2}{\omega_n{}^2}}} \tag{6.3.1—10}$$

式中：x_0——设备的振动位移幅值；

u_0——基础的振动位移幅值。

式 6.3.1—10 和式 6.3.1—9 的右端项完全相同，因此 x_0/u_0 也可用 T_A 表示，前面关于积极隔振中对 T_A 的讨论在此也完全适用。

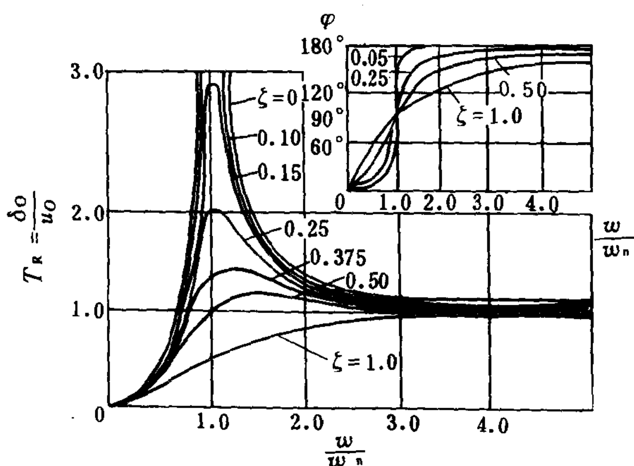


图 6.3.1—11　相对传递系数的幅频与相频曲线

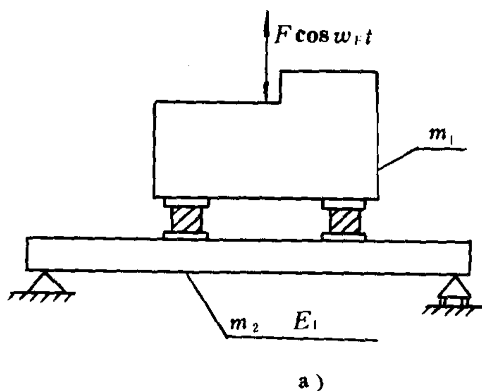
设备与安装底座之间的振动关系用相对位移表示更为合适，相对位移过大时可能引起设备与底座间的碰撞。令 $x(t)-u(t)=\delta(t)$，$\delta(t)$ 的幅值为 δ_0，则相对传递系数 T_R 为：

$$T_R=\frac{\delta_0}{u_0}=\frac{(\omega/\omega_n)^2}{\sqrt{(1-\dfrac{\omega^2}{\omega_n{}^2})^2+4\zeta^2\dfrac{\omega^2}{\omega_n{}^2}}} \tag{6.3.1—11}$$

T_R 与 ω/ω_n、c/c_c 的关系可用图 6.3.1—11表示。

2.6　双层隔振系统

如果在隔振系统中插入一个弹簧质量元件，就成为一个双层隔振系统，如图 6.3.1—12 所示。



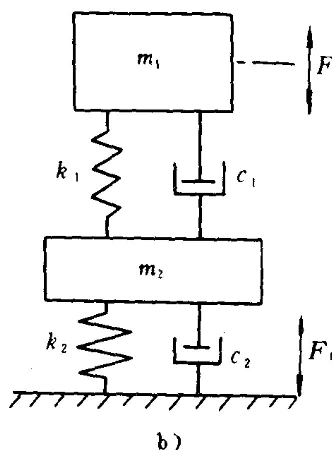
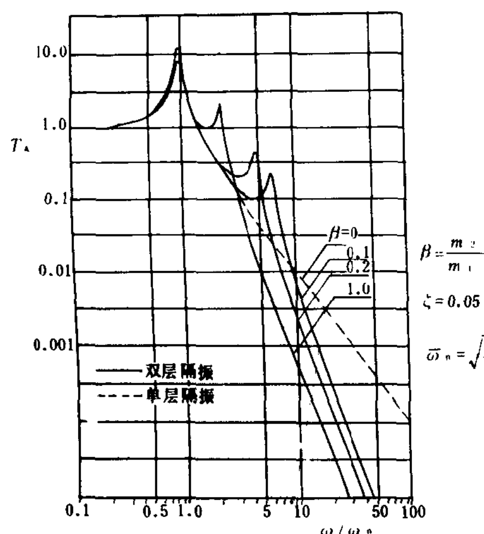


图 6.3.1—12　双层隔振模型图



$\beta=\frac{m_2}{m_1}$

$\zeta=0.05$

$\bar{\omega}_n=\sqrt{\frac{k_1\times k_2}{m_1}}$

图 6.3.1—13 双层隔振的绝对传递系数

这种系统有两个固有频率，给隔振带来不利，但越过第二个共振频率后，传递率 T_A 随频率比的增加而很快下降，见图 6.3.1—13，这是一般单层隔振无法达到的。双层隔振系统适用于对振动噪声要求严格控制的高级游艇及某些特种用途的军用舰艇。在双层隔振中，质量比 $\beta=m_2/m_1$ 可根据需要和实际结构的可能选取适当的数值。另外，由于上、下两层均为弹性支承，使整个系统高度增加、变形增大，故稳定性成为一个突出的问题，必须给予相当重视。

3 隔振器的类型及其特点

3.1 橡胶隔振器

橡胶隔振器的特点是结构简单，三向刚度可通过结构予以调整，但对环境要求较高，寿命较短。

隔振器材料可用天然橡胶或合成橡胶。其弹性模量和阻尼可以通过基本材料和配料的搭配调节。

不同成分的隔振橡胶的性能比较见表 6.3.1—1。

表 6.3.1—1 **不同成分隔振橡胶性能比较**

特性	橡胶种类			
	天然橡胶	丁晴橡胶	氯丁橡胶	丁基橡胶
	NR	Nbb	cR	JIR
和金属的粘接性能	优	优	优	良
抗传力	优	优	良	中
伸长率	优	优	优	优
耐磨性	优	优	良	中
抗拉裂性	优	良	良	良
抗拉裂性(浸油后)	差	优	中	差
耐油性(润滑油)	差	优	良	差
耐油性(芳香族碳氢化合物)	差	中	差	中
气体不透性	中	良	良	优
对阳光的抵抗性	中	良	优	优
对臭氧的抵抗性	中	良	优	优
耐老化性	良	优	优	优
耐热性	良	优	优	优
耐寒性	优	良	良	良
反拔弹性	优	中	良	差
永久变形	优	良	良	中
加工性	优	良	良	良
c/c_c	0.025～0.075	0.075～0.15	0.075～0.15	0.12～0.20
应用温度范围	−30～70℃	−10～80℃	−20～70℃	−10～70℃

橡胶隔振器的刚度随频率、温度、振幅和硬度而变化，一般动态刚度比静态刚度大，两者之比称为“动态系数”，用 d 表示。

天然橡胶：d＝1.2～1.6

丁晴橡胶：d＝1.5～2.5

氯丁橡胶：d＝1.4～2.8

动态系数与材料硬度的关系如图 6.3.1－14 所示。

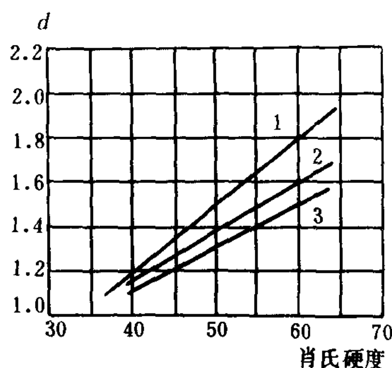


图 6.3.1－14　橡胶动态系数和硬度的关系

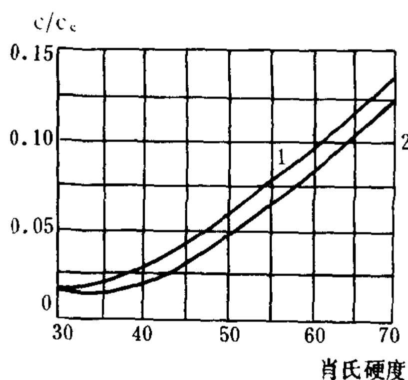


图 6.3.1－15　橡胶阻尼比和硬度的关系

形状简单的橡胶元件，可用计算或查表的方法确定其刚度。形状复杂时一般由制造厂通过试验的方法得出并提供给用户。

橡胶的阻尼比 c/c_c 与材料的硬度有关，如图 6.3.1－15 所示。

橡胶隔振器受载后，隔振器的变形将持续 4～6 个月后才能最终稳定，这段时间的变形称为蠕变。蠕变量可用下式表示：

$$蠕变量=\frac{最终变形-开始变形}{开始变形}$$

图 6.3.1－16 为一典型蠕变曲线

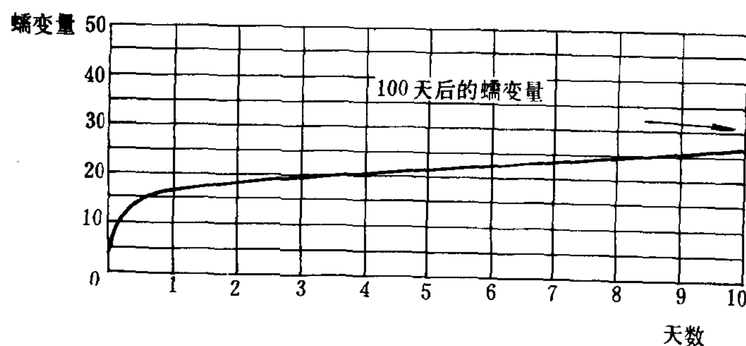


图 6.3.1－16　蠕变量/时间

3.2　金属弹簧隔振器

金属弹簧隔振器的主要特点是隔振系统的固有频率较低，阻尼小，其特性不受温度和时间的影响，适用温度范围宽；对环境影响不敏感，寿命长，维修费用低。但价格较橡胶隔振器要贵得多。

由于阻尼小，驻波效应明显，故高频段内振动隔离效果较差，隔声效果亦较差；同时，由于阻尼小，共振区的放大系数较大。

金属弹簧的“负荷—变形”特性可分为线性、硬性和软性三种，见图 6.3.1－17。各种弹簧

的特性靠结构保证，一般螺旋弹簧的特性是线性的。

硬弹簧隔振器具有等频效果，适用的机械重量范围较宽。软弹簧隔振器特别适用于抗冲击的場合。

在金属弹簧隔振器中加入粘性阻尼（用液体阻尼器）可降低共振区的响应，但使隔振区的传递率增加。如引入库仑阻尼（如用金属丝网阻尼器），可大幅度地降低共振响应。在高频区具有较好的传递率衰减特性，使隔振器的传递率可接近无阻尼弹簧。

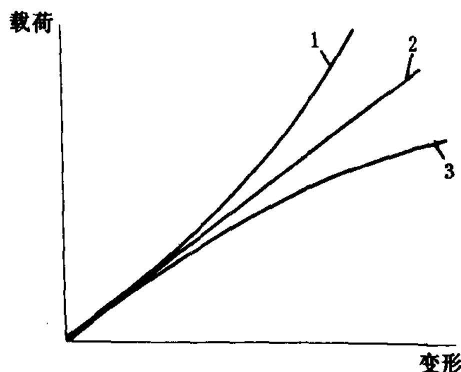


图 4.3.1－17　金属弹簧隔振器的类型特性
1－硬弹簧；2－线性弹簧；3－软弹簧

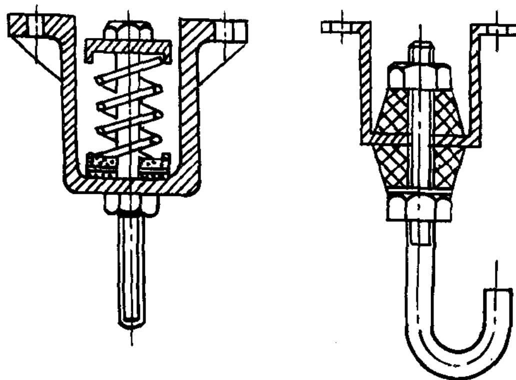


图 6.3.1－18　隔振吊架

3.3 隔振吊架

为了减少船舶各种管路结构噪声向船体结构的扩散，在管路和船体结构之间应用隔振吊架联接。

吊架可用金属弹簧作弹性元件，也可用橡胶作弹性元件，如图 6.3.1－18 所示。金属吊架可加入橡胶垫或钢丝网垫作阻尼元件。单个吊架承受的负荷可达 5kN，金属吊架隔振系统固有频率约为 3Hz，橡胶型的固有频率约为 10Hz。

对于高温介质的管路应选用金属型吊架为宜。

3.4 其它隔振器材

除上述隔振器外，尚有钢丝网隔振器、钢丝绳隔振器、橡胶隔振垫，还可采用空气弹簧、海绵、毛毡、软木等作为隔振器材。空气弹簧可达到很低的固有频率。

根据隔振要求、使用条件、使用寿命、制造成本等多种因素的综合考虑选择合适的隔振器材。

4 振源分析

4.1 往复机械

作为现代船舶推进动力的柴油机是往复运动的机械，其功率的输出籍助于曲柄连杆机构，

将活塞的往复运动转变为曲轴的回转运动，因此在运动时其动力是不平衡的。

柴油机引起振动的主要干扰力有：往复惯性力及惯性力矩，回转离心力及离心力矩，倾覆力矩等，详见第 4 卷。

4.2 旋 转 机 械

旋转机械的不平衡是引起振动的最常见原因之一。在许多情况下，少量不平衡引起的振动不可能严重，但对某些高速旋转的机械，如柴油机的废气涡轮增压器，稍有不平衡就能造成严重的问题。

不平衡基本上可分为两种类型：一个平面内的不平衡，通常称为静态不平衡；两个或更多平面内的不平衡，称为动态不平衡。

图 6.3.1—19 为静态不平衡及其平衡方法的示意图，作用在附加质量上的离心力必须与引起不平衡的离心力大小相等，方向相反，即

$$m \times r = M \times e$$

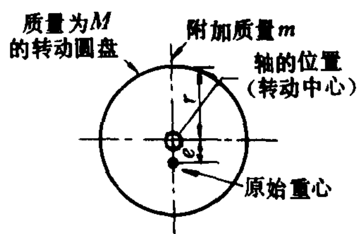


图 6.3.1—19 静态不平衡及其平衡的方法

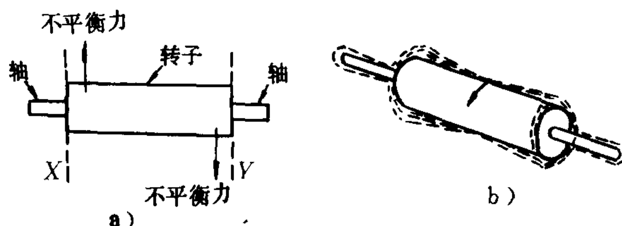


图 6.3.1—20 动态不平衡示例

图 6.3.1—20 为动态不平衡示图。它不仅会有重心偏移的这种不平衡，而且不平衡的力偶也会引起转子的振动。需要在两个平面内(如图中标有 X、Y 的平面内)进行平衡。由于检测和校正必须在转子转动的情况下进行，故称其为动态不平衡。

表 6.3.1—2 列出了对一般船用机械设备的静平衡和动平衡要求。它主要取决于旋转机械的长度直径比和工作转速。

表 6.3.1—2 旋转机械的平衡方式

长度对直径比	转速(r/min)	平衡方式
<0.5	0～1000	静平衡
	>1000	动平衡
>0.5	0—150	静平衡
	>150	动平衡

国际标准化协会已就“旋转刚体的平衡精度”提出了建议(ISO No 1940)。该标准用 e、ω 值表征动平衡精度，e 为旋转体的允许偏心距，ω 为旋转体的角速度，它是一个速度的计量单位(mm/s)代表了旋转体重心的振动速度。

国际标准化协会建议将旋转体的重心振动速度从每秒 0.4mm 到 4000mm，共分 11 个等级，在每一个等级中列举了常见的实例作为参照，见表 6.3.1—3 及图 6.3.1—21

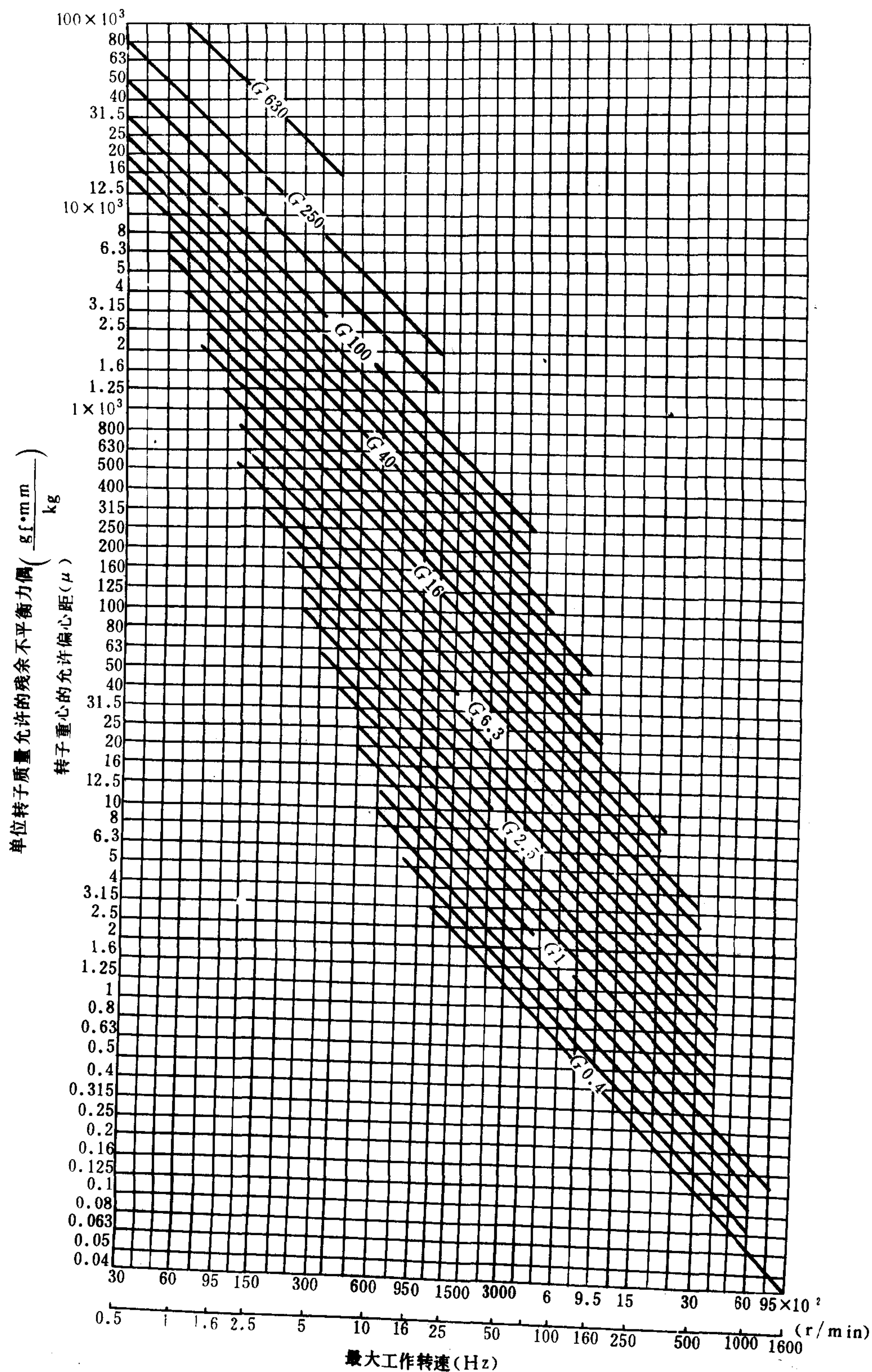


图 6.3.1—21 各种不同平衡精度等级的旋转体在工作转速下允许的偏心距及残余的不平衡力偶

表 6.3.1—3 各种典型刚性转子的平衡精度

精度等级 G	平衡精度 eω	转子类型—常见实例
G4000	4000	单数气缸的低速船用柴油机曲轴
G1600	1600	大型二冲程柴油机曲轴
G630	630	弹性安装的船用柴油机曲轴
G250	250	高速轻型四缸柴油机曲轴
G100	100	六缸和六缸以上高速轻型柴油机曲轴
G40	40	车轮、驱动轴、弹性安装的六缸和六缸以上的高速四冲程柴油机曲轴
G16	16	特殊要求的驱动轴、螺旋桨轴、传动轴；特殊要求的六缸或六缸以上的发动机曲轴
G6.3	6.3	船用气轮机齿轮、风扇、一般水力机械转子、航空燃气轮机旋转部件，泵的叶轮；分离机的鼓轮，电机转子、机床旋转部件
G2.5	2.5	汽轮机和燃气轮机的转子部件、汽轮发电机转子、轴流式和大型径流式增压器、大型鼓风机转子和叶轮、特殊要求的中型和大型电机转子 小型电机转子、机床主轴、一般磨头、涡轮传动泵
G1.0	1.0	磨床传动装置、磨头、微型电机转子、小型径流式增压器
G0.4	0.4	精密磨床主轴、陀螺仪

4.3 螺旋桨扰动(船舶航行振动)

螺旋桨工作时所引起干扰力的特性是比较复杂的。它与桨本身的结构、船体的外形、航速及螺旋桨和船体的相互位置有关。它引起的扰动有二种：一种是频率等于螺旋桨轴转动频率的一阶扰动；另一种是频率等于螺旋桨轴转动频率乘以桨叶数目的高阶扰动。

为减小螺旋桨的扰动可采取如下一些措施：精细的静平衡与动平衡；使螺旋桨各叶片的螺距尽量相等；增大桨叶边缘与尾柱和舵之间的间隙；增大其与船体外板间的距离；在螺旋桨顶部的船底板上开挖凹坑，以形成空气垫；增加桨叶数目等。

4.4 波浪作用(船舶摇摆振动)

船舶在波浪上航行，由于波浪的影响会使船体产生摇摆。这种摇摆具有一定的频率，对弹性支承的隔振装置可视作为扰动。

当船舶横着波浪航行时，其摇摆频率等于波浪行走的圆周频率。

$$\omega_{\sim}=7.85/\sqrt{L}$$

式中：$\omega_{\sim}$——波浪行走的圆频率，rad/s；

L——波长，m。

如船舶顺着波浪航行，则其摇摆频率尚须考虑船舶相对于波浪的运动：

$$\omega_{\sim}=\frac{7.85}{\sqrt{L}}\pm\frac{2\pi V_s}{L}$$

式中：V_s——船舶航行速度，m/s。

正号是表示船舶顶着波浪航行，而负号则表示二者的运动方向相一致。

波长 L 与波浪的力量及海洋特性有关。表 6.3.1－4 表示了海洋表面波浪的高度 H 与相应的波长 L、波速 V 和波的周期 T 之间的关系。

表 6.3.1－4　**海洋表面波浪的高度与其相应的波长、波速和周期**

海面风		波浪				
风级	风速(m/s)	波高 H(m)	波长 L(m)	波高波长比(H/L)	波速 V(m/s)	周期 T(s/cyc)
4	8	1.2	25	1/21	6.2	4.0
5	10	2.6	39	1/15	7.8	5.0
6	13	4.0	87	1/22	11.8	7.4
7	16	5.0	85	1/17	11.5	7.4
7	16	5.8	129	1/22	14.2	9.1
8	19	8.4	138	1/18	14.7	9.4
9	22	11.5	180	1/16	16.8	10.7
10	25	11.0	200	1/18	17.1	11.8
10	25	12.6	285	1/23	21.1	13.5
11	27	14.5	376	1/26	24.4	15.5

5　隔振支承

5.1　隔振设计步骤

1)确定激励特性

激励特性是指激励的频率、幅值、方向和作用点。根据机器工作转速范围和激励的简谐次数作出速度图谱，即可确定激励的频率范围。

2)确定物理参数

确定整个机组或设备的质量、重心和惯性矩。

3)选定隔振器布置方式

在选择布置方案时，应注意尽量避免出现耦合振动，隔振器尽可能布置在机械或设备刚性最强的部位，安装隔振器的船体部位应尽量加强。

4)选择隔振器结构

(1)根据实际需要选取无阻尼时的绝对传递系数 T_A(取绝对值)；

(2)由 $T_A=\left|\frac{1}{1-\frac{\omega^2}{\omega_n^{\ 2}}}\right|$ 和 ω 值求出隔振系统的固有频率 ω_n；

(3)由 $\omega_n=\sqrt{\frac{K_n}{m}}$ 求出隔振器的总刚度 K_n；

(4)由被隔振机械的结构选取隔振器的个数 n，由 K_n 和 n 求出每个隔振器的刚度 K(指动态刚度)，$K=\frac{K_n}{n}$；

(5)由机械的质量 m 和隔振器的个数 n，求出每个隔振器上承受的负荷 P，P＝m/n；

(6)由 K 和 p 值按产品目录选取隔振器的结构型式。

尽量选择尺寸小、重量轻、各方向刚度最低的隔振器结构，以提高驻波频率。

5)确定临界转速

根据固有频率计算结果与速度图谱，找出在工作转速范围内可能出现的临界转速。

6)频率调整

应使弹性支承系统的固有频率 ω_n 尽量低于需隔离的激励频率 ω，至少应满足 $\omega\geqslant\sqrt{2}\,\omega_n$。

对于高速机械，激励频率高，这时有可能将隔振系统所有的固有频率均布置在最低激励频率之下，以保证系统在工作转速范围内没有任何共振转速出现。

对于中低速运转的机械，在积极隔振中，由于激励频率很低，系统的固有频率可能高于某些激励频率，隔振系统对于这些频率的激励不起隔振作用。

7)隔振元件强度核算

金属弹簧隔振器中的弹簧元件，按机械零件中弹簧的设计方法校核强度。

橡胶隔振器的许用应力应不超过下列数值：

压缩：$1N/mm^2$；剪切：$0.4N/mm^2$

橡胶隔振器的许用应变应不超过下列数值：

静载压缩：15%；剪切：25%

动载压缩：5%；剪切：10%

5.2 隔振支承的技术评定

5.2.1 临界转速图

共振时的转速称为临界转速。临界转速是隔振装置设计中一个极其重要的指标，机械是不允许在临界转速下工作的，必须避开这个转速。如何来确定和分析隔振装置的各种临界转速，最简明的方法就是绘制临界转速图。

临界转速图是以机械的转速为横坐标，以弹性支承系统的固有频率为纵坐标的综合图形。系统的固有频率不受机械转速的影响，在图上一律用平行横坐标的直线来表示。当发生耦合振动时，可用虚线将几个耦合频率连起来，以示相互牵连。机械本身的扰动均是其转速的线性函数，用通过原点的辐射直线来表示。凡是外界的扰动，则要区别扰动的性质。如船舶摇摆等与机械的转速无关，就用与横坐标平行的直线表示。螺旋桨扰动与主机的转速直接有关，则用通过原点的辐射线表示。扰动频率线和固有频率线的交点在横坐标上的投影，就是各种相应的临界转速。当扰动的作用方向与固有频率对应的振型方向相一致时就产生共振，运行时应力求避免。

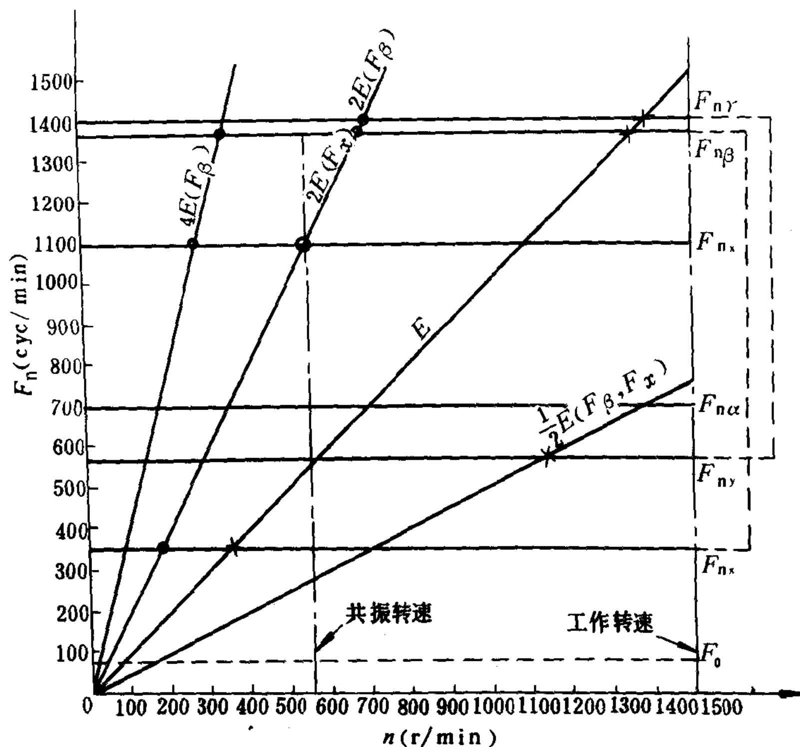


图 6.3.1—22 临界转速图

图 6.3.1—22 示出了 4135 柴油发电机组隔振设计的临界转速图实例。图中最低一条平行于横坐标的虚线，代表船舶的航行摇摆频率。上面的六条平行线代表六种固有频率，用虚线连起来的是两组耦合振动。在本例中纵向和纵摇及横向和横摇都是耦合的。通过原点的各条辐射线是发动机的扰动频率线。这类发动机的主要扰动为垂直方向的二次不平衡惯性力，用 2E(F_x)表示，以及作用在横摇方向的倾覆力矩的二次及四次简谐分量(用 2E(F_β)及 4E(F_β)表示。)此外尚有由于各缸间的发火不均匀而引起的$\frac{1}{2}$次扭矩扰动(用 1/2E(F_β、F_x)表示)。

从扰动频率线和固有频率线的交点中，将扰动方向与振型方向相一致的点标出来，并根据扰动的大小分别用大小圆圈来表示，主要振动标大圈，耦合振动标小圈。这样就能清楚地表示出各点所对应的临界转速的数值。图中可见，主要的共振转速在 550r/min 附近，远低于工作转速 1500r/min。

对于这样一个柴油发电机组隔振装置，安装在不同的船舶上时，情况有所不一。当安装在大船上时，如主机额定转速为 100r/min，四叶桨，螺旋桨的一次扰动在 100～30cyc/min 之间，四次在 400～120cyc/min 之间，不会出现大的振动响应。当安装在中型船舶上时，若主机额定转速为 428r/min，四叶桨，螺旋桨的扰动，一次为 428～130cyc/min 之间，四次为 1700－510cyc/min 之间，故主机在 280r/min 左右运行时有可能出现较大的垂向振动的响应，当安装在小船上时，设主机额定转速为 600r/min，三叶桨，则当主机在 365r/min 附近运行时，可能有大的共振响应发生。所以同一个隔振装置，安装到不同的船上，会得到不同的效果。

通过临界转速图可以看出

(1)将机器的各种扰动作用和弹性支承的各种频率响应结合起来了，从而可以清晰地看出工作转速与各种临界转速间有多大余量。

(2)可以一目了然地审察机组在各种运转情况下，可能产生的振动方式及其严重程度，进而为消除或减弱这种振动提供有效的改进途径。

5.2.2　稳定性校验

对装在弹性支承上的机械、设备，必须进行稳定性的校验，以考察船舶在倾斜状态航行时或在局部隔振中倾覆力矩的作用下，其偏离平衡位置的情况，确定各挠性管件及隔振器能否正常工作，和周围其它设备会否相碰。

如不能满足稳定性要求，可在适当的位置加设拉杆，以限制机械和船体之间相对位移。为了能更好地满足隔振的要求，所选用的拉杆应有适当的弹性和阻尼。

5.2.2.1　静态校核

图 6.3.1－23、24 为船舶横倾 β 角时，机械隔振装置静态和动态受力分析图。

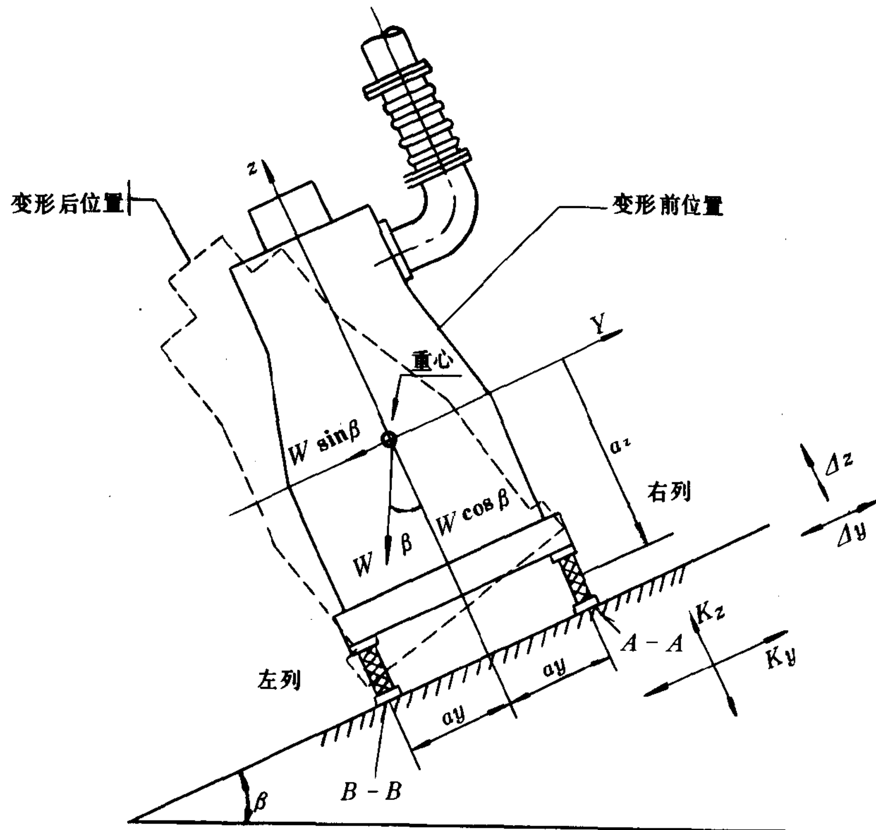


图 6.3.1－23　船舶横摇时隔振装置静态受力图

设隔振器在 O－Y 和 O－Z 方向上的总刚度为 K_y 和 K_z，机械的每一侧各安装着“n”个隔振器。对应于轴线 A－A 的力矩为：

$$W\cos\beta a_y + W\sin\beta a_z = nK_z\Delta'_z 2a_y$$

$$\Delta'_z = W\left(1+\frac{a_z}{a_y}\mathrm{tg}\beta\right).\cos\beta/2n.K_z$$

式中：Δ'_z ——左列隔振器在 O－Z 方向上的静变形量；

W——机械系统的总重量。

同样地，对应于 B－B 轴，标出右列隔振器在 O－Z 方向上的变形量 $\Delta''z$

$$\Delta''_z = W(1-\frac{a_z}{a_y}tg\beta)\cos\beta/2nk_z$$

在 O－Y 方向上的变形为：

$$\Delta_y = W \cdot \sin\beta/2nK_y$$

机械相对于底座的倾斜度为：

$$\frac{\Delta'_z-\Delta''_z}{2\cdot a_y}$$

例题：最大横倾角 $\beta=20°$；$\frac{a_z}{a_y}=1.0$

无横倾时变形量

$$\Delta_z=\frac{W}{2n\cdot K_z}$$

横倾时：

$$\Delta'_z=\frac{W[1+\frac{a_z}{a_y}tg\beta]\cos\beta}{2nK_z}$$

$$\frac{\Delta'_z}{\Delta_z}=(1+1\cdot tg20°)\cos20°=1.28$$

当船横倾 20°时，左列减振器所受的负荷将增加 30%。对底部较窄而重心又高的机械，在船舶横倾时，二列减振器上所承受负荷将愈不均匀。

5.2.2.2 动态校核

一般船舶的横摇周期较长，只要进行静态校核已满足需要，对于某些小型船舶则需作动态校核。

设船舶的横摇为一周期性简谐运动，即

$$\beta=\beta_0\sin\omega t$$

横摇中心设在 C_R 点（见图 6.3.1－24）。

横摇角速度和角加速度分别为：

$$\dot{\beta}=(\beta_0.\omega).\cos\omega t$$

$$\ddot{\beta}=-(\beta_0.\omega^2).\sin\omega t$$

横摇最大时（$\beta=\beta_0$），$\dot{\beta}=0$，而

$$|\ddot{\beta}|=\ddot{\beta}_{max}=\beta_0.\omega^2$$

当船舶在垂直位置时 $\beta=0$，而

$$|\dot{\beta}|=\dot{\beta}max=\beta_0\cdot\omega$$

在上述二种情况下，图 4.3.1－24 上机械设备的惯性力分别为：

$$m_1.(\ddot{\beta}_{max}.R_1),\qquad m_2.(\ddot{\beta}_{max}.R_2)$$

和

$$m_1.(\dot{\beta}^2_{max}.R_1),\qquad m_2.(\dot{\beta}^2_{max}R_2)$$

亦即

$$m_1.R_1.\beta_0\omega^2,\qquad m_2R_2.\beta_0\omega^2$$

$$m_1R_1(\beta_0\omega)^2, \qquad m_2R_2(\beta_0\omega)^2$$

重力和惯性力的合力为 T_1，与 Y— 轴间的倾角为 γ_1，见图 6.3.1—24a)。T_1 可分解为：

$$T_{1y} = T_1\cos\gamma_1$$

$$T_{1z} = T_1\sin\gamma_1$$

参照本章 5.2.2.1 上所列举的公式，校核隔振器在 a)、b)、c)三种动态情况下所受的负荷。

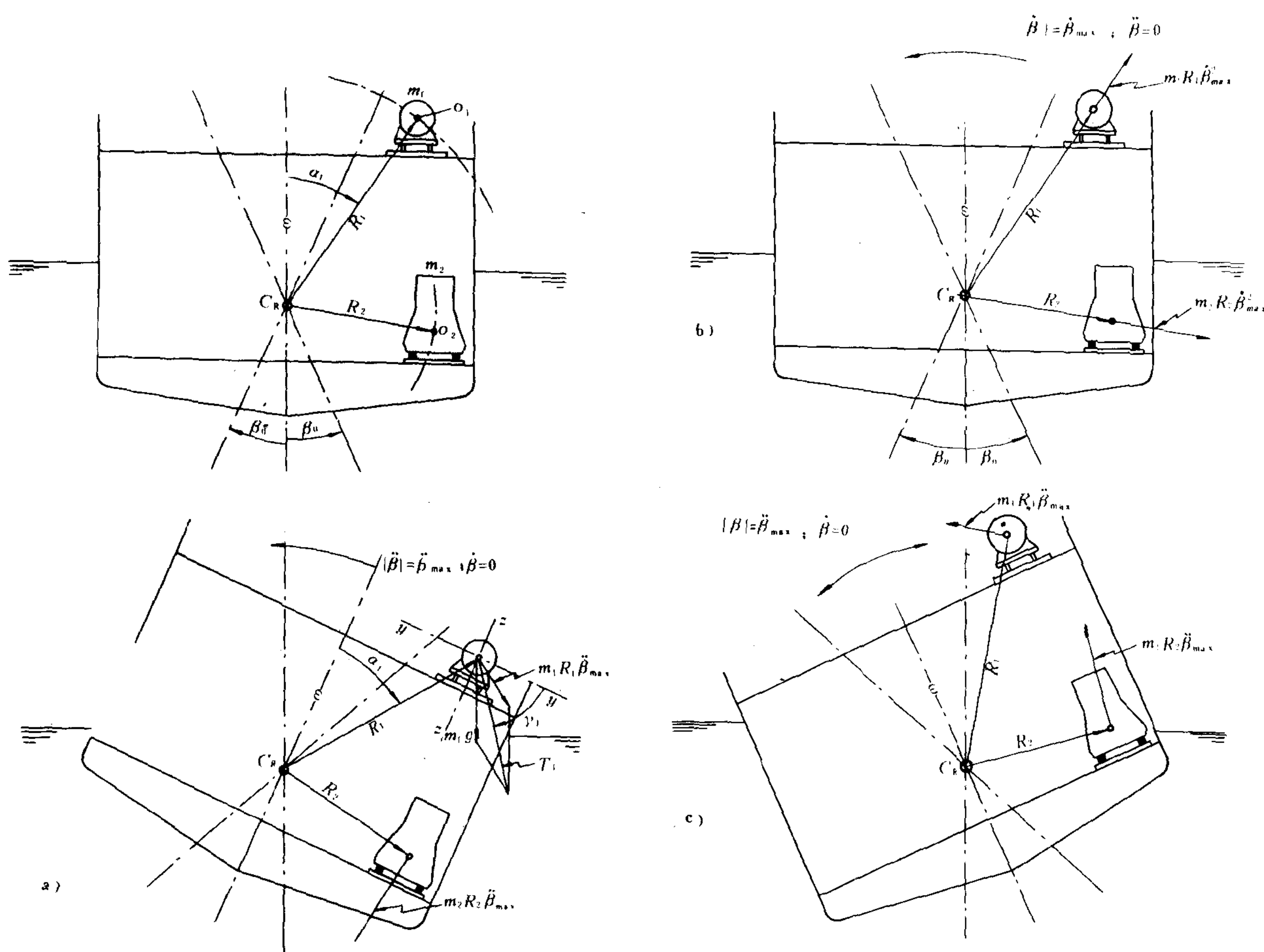


图 6.3.1—24 横摇时，隔振装置动态受力图

5.3 隔振器的布置方案

图 6.3.1—25 为船用机械设备、仪器仪表隔振装置隔振器的布置简图。

图中 a)、b)、c)、d)是主推进装置的隔振设计。a)为常规的直接带动螺旋桨的装置，主机安装在隔振器上，在主机和轴系之间设有一弹性联轴节以补偿主机的各种可能的偏移、偏斜及振动位移，另在轴系上设置一推力轴承以承受螺旋桨的巨大推力。b)为柴油机一燃气轮机联合装置，在这种设计中弹性支承的选用主要是为了防止冲击及减弱结构噪声。由于减速齿轮箱是刚性固定的，因此在轴系上就没有必要另设推力轴承，为取消价格昂贵的低速大扭矩弹性联轴

节提供了可能。c)为中速机并车装置，其特点是整套机组连同减速齿轮箱安装于一刚性大的公共底座上，然后再进行隔振，这种装置多用于水面舰艇，机组重量有达 200t 的。d)为柴油机一推进电机直连装置，多用于潜艇。

这几种方案(还有图中的 f))的共同特点是原动机(柴油机、电动机、燃气轮机等)和从动机(艉轴、减速齿轮、发电机等)安装在不同的支承点上，原动机安装在弹性支承上，从动机则刚性地固定在船体基座上，通常将这类隔振称作为“局部隔振”，其缺点如下：

1)在原动机和从动机之间必须设置一弹性联轴节(包括气胎离合器、橡胶弹性联轴节、弹性柱销联轴节、万向联轴节等等)以补偿两者之间可能出现的各种相对移动及振动位移。

2)在这种设计中，作用在弹性支承上的载荷除了机器的重量、不平衡惯性力及不平衡惯性力矩外，尚有从动机的反作用力矩，即倾覆力矩，因此弹性支承两侧的隔振器载荷是不均匀的，见图 6.3.1—26。

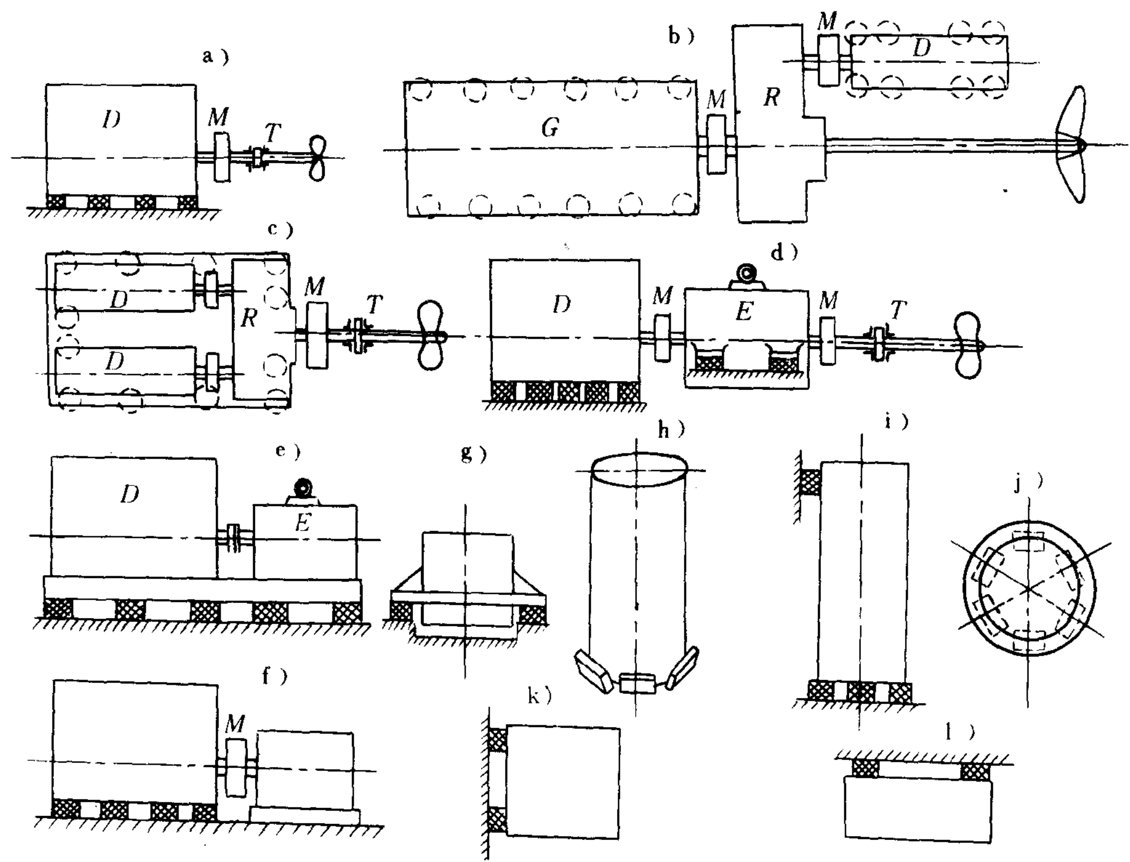


图 6.3.1—25 船舶机械设备、仪表、仪器隔振装置布置简图

a)、b)、c)、d)推进装置；e)、f)副机、辅机；g)、h)、i)、j)泵设备、器具箱柜；k)、l)仪表、灯具、电气设备、风机

D—柴油机；G—燃气轮机；E—电机；M—弹性联轴节；R—减速齿轮箱；T—推力轴承

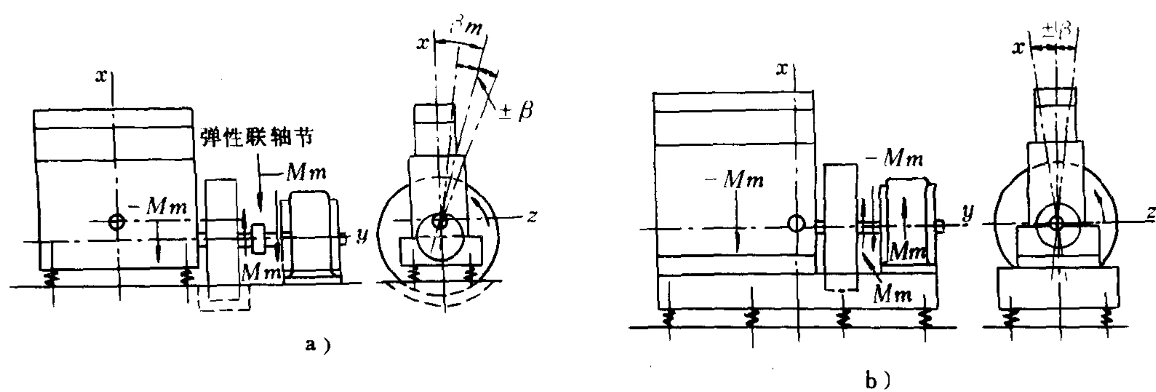


图 6.3.1－26　颠复力矩对隔振装置的影响

a)局部隔振；b)整体隔振

a)　b)　c)

d)　e)　f)

g)　h)

图 6.3.1－27　典型隔振器安装结构图

a)12V230 柴油机安装在 6641 剪切隔振器上；b)M50 柴油机装在 EA－220 隔振器上；c)柴油发电机组装在 E－400 隔振器上；d)电动通风机装在橡皮垫上；e)、f)仪器仪表装在 C 型、B 型隔振器上；g)、h)器具设备装在金属隔振器上。

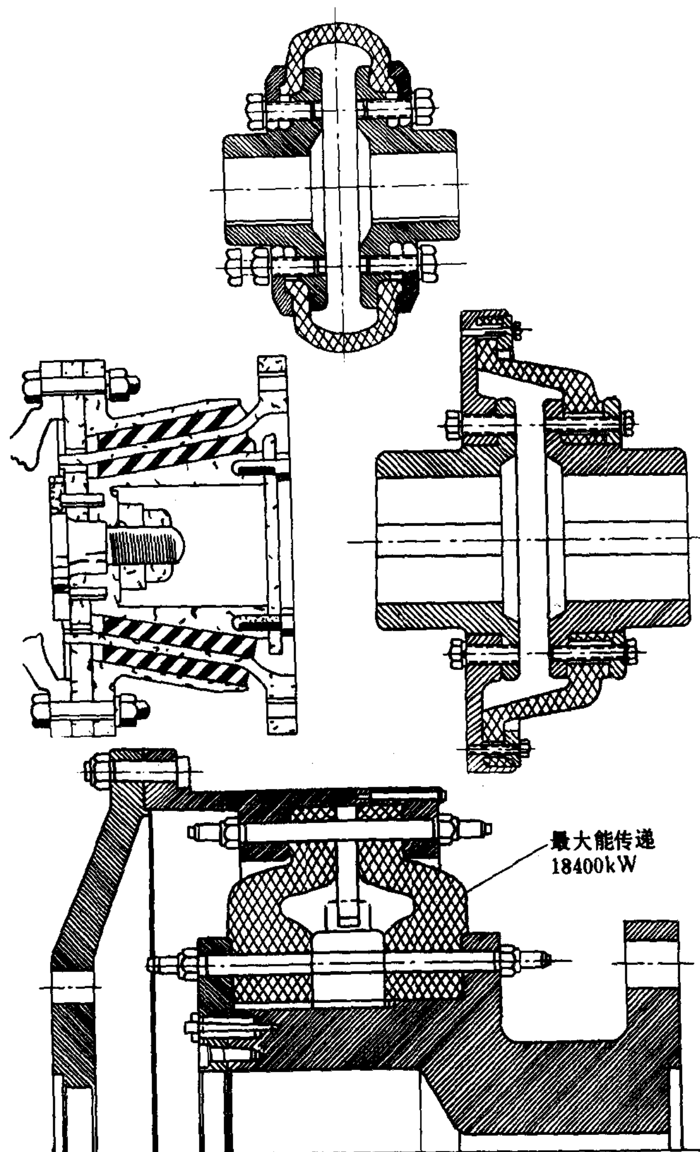


图 6.3.1-28 典型的橡胶弹性联轴节

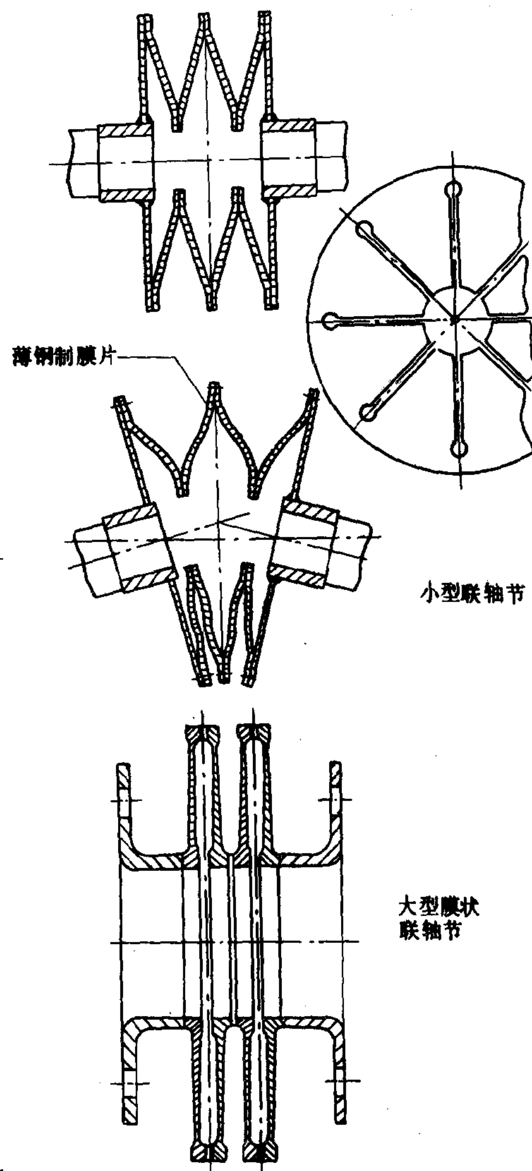


图 6.3.1-29 全金属弹性联轴节

3)由于一般柴油机常有不平衡的内力矩,因此在采用此法进行隔振时机体的刚性必须很强、或柴油机的内力矩必须很小,否则因内力矩所引起的附加应力及机体振动将很大,对柴油机本身是很不利的。在刚性固定时,当刚性不足的柴油机与船体基座直接扒紧时,等于加强了机体的刚性,使附加应力及机体振动大为减小,这对机器本身是很有利的。

因此对于刚性不足的柴油机在隔振时应采用附加底座以增加机体的刚性。

图 4.3.1—25 中的 e)是最常见的船用副机及辅机的隔振方案。其特点是原动机(柴油机、电动机)和从动机(发电机、泵、压气机)是一起刚性地安装在一刚性很强的公共底座上,以使整套机组形成一个刚体,然后再将此刚体进行隔振,即将它安放在弹性支承上。通常将这类隔振称作为"整体隔振",其优点如下:

1)由于加设了公共底座、整个机组作为一个整体了、质量大为增加,这对隔振来说是有利的、既提高隔振效率又减少了机组本身的振动。

2)由于整个机组是刚性地连接在一起、没有相对移动,因此弹性支承两侧的隔振器的载荷是均匀的。

3)由于公共底座的刚性是很大的,因此能避免船体变形对机组运转的影响(如轴线走中)。

特别是现代海战中、强烈的水下爆炸冲击波将引起船体基座明显的变形。在这种情况下，整体隔振的机械设备所遭受的损坏将要比几个设备分别安装的轻微得多。

图 6.3.1—25 中的 g)、h)、i)、j)是常见的直立式辅机。其中 g)为平置式、h)为合聚式、i)为侧置式、j)为辐射式。在选取布置方案时主要取决于设备的轮廓形状及重心位置。

图 6.3.1—25 中的 k)及 l)的结构比较简单、均属于平置式、都用于风机、仪表、灯具及电气设备的隔振中。

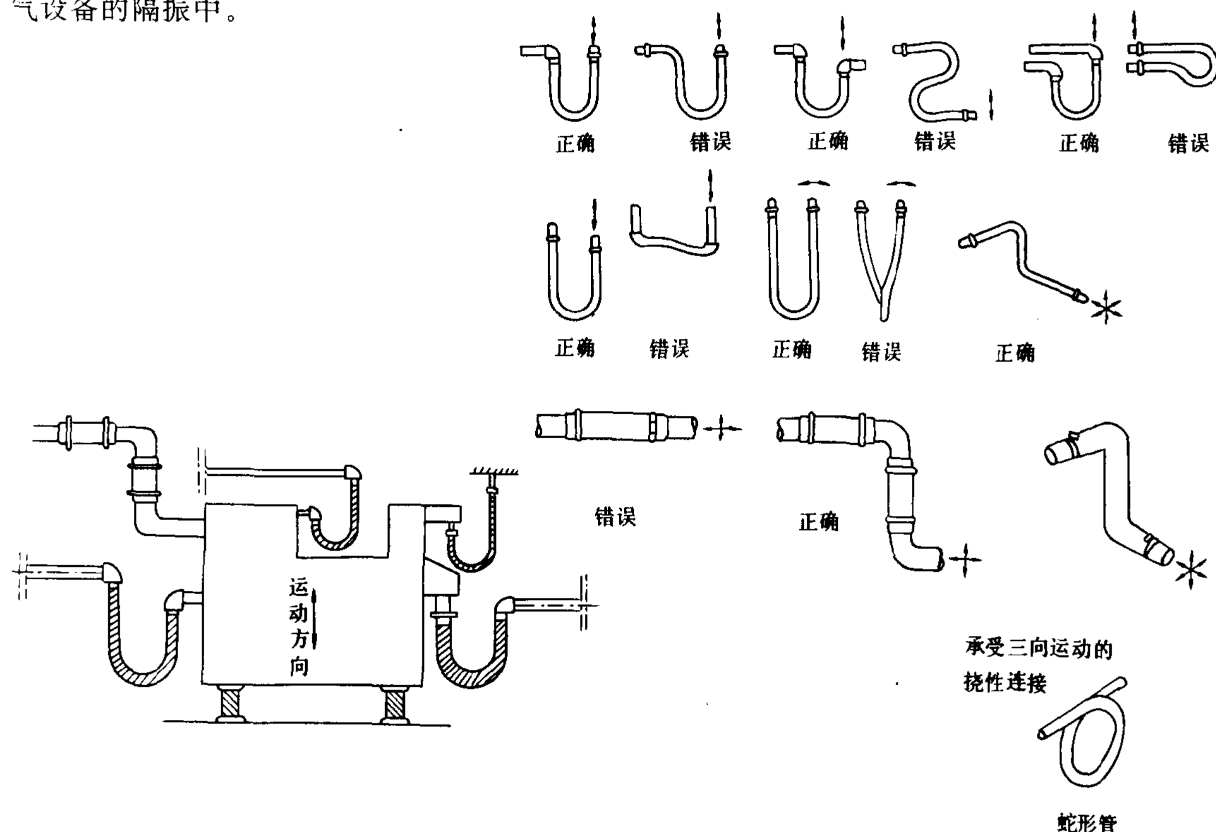


图 6.3.1—30 挠性连接管安装示意图。 图 6.3.1—31 挠性导管连接示意图

为防止安装在弹性支承上的大型机械、设备在船舶作大角度的倾摆时产生过大的位移，可在周围安放一定数量的位移限制器，它们在正常情况下是不接触的。

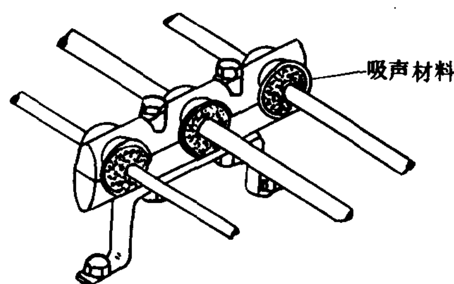


图 6.3.1—32 管子夹紧示意图

图 6.3.1—27 则为几种典型的隔振器在船上安装的具体结构图。图 6.3.1—28 为几种典型的橡胶弹性联轴节，图 6.3.1—29 为全金属弹性联轴节，图 6.3.1—30 为挠性连接管。

与装有隔振器的机械设备连接的管系必须能够安全地吸收某一方向的运动。挠性导管的末端不能承受大的弯曲负荷。

图 6.3.1—31 示出了各种挠性导管正确与错误的连接示意图。

为减少结构噪声的传递，管子支承部分应嵌入吸声材料如图 6.3.1—32 所示。

6 柴油机机架振动

6.1 机架振动的危害性

在近代船用柴油机的振动故障中，低速大型柴油机机架横向振动已成为一个突出问题。随着少缸数、长冲程柴油机的出现，柴油机高度的增加，及长度的减少，使原来不成为问题的机架纵向振动也成为船体激励源之一。如主机为5RLB56的集装箱船舶，由于剧烈的机架纵向及横向振动，在临界转速附近的振动加速度值分别达到13.3m/s^{2}和14.4m/s^2，致使船体上层建筑不少处振动加速度超过1m/s^2，个别测点处振动加速度值高达9m/s^2。

严重的柴油机机架振动能使拉杆螺栓松动、断裂；增压器左右晃动达到不能容忍程度；船体上层建筑振动增大，人体感觉不适；船舶操纵困难，甚而使驾驶室仪器损坏。

6.2 机架振动的类型

6.2.1 机架横向振动

机架横向振动系指柴油机机架在水平面内作左右方向的振动。引起机架横向振动的主要激励源是侧推力 p_h。在同一瞬间各气缸的侧推力作用在机架不同的高度及长度位置上，使机架产生H、X、x等不同类型的横向振动，如图6.3.1—33所示。

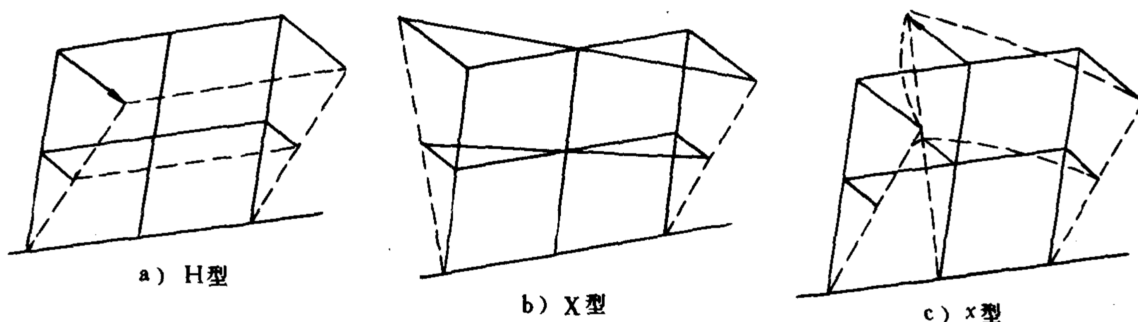


图6.3.1—33 机架横向振动模态

图6.3.1—33a)为H型振动(0节点)，此时各气缸顶部作同相振动；图6.3.1—33b)为X型振动(1节点)，它是由环绕机身中心的力矩 M_X 所激起的；图6.3.1—33c)为有2个节点的x型振动。

在常用转速区内成问题的横向振动，对少缸数的柴油机是H型振动；而对缸数较多的则是X型振动。至于x型振动，由于它的固有频率较高，一般不会形成有危害的机架横向振动。

6.2.2 机架纵向振动

机架纵向振动系指柴油机机架在前后方向的振动，如图6.3.1—34所示，习称为L型振动。

轴系纵向振动产生的继发性激励力和螺旋桨产生的不均匀轴向推力，通过推力轴承座激起机架的纵向振动。气缸爆压也能使柴油机机架前后端产生较大的局部纵向振动。

6.3 机架横向振动激励源

6.3.1 H型振动的激励

H型振动的特点是整个机架作同相振动，其振动的激励力是气体压力 p_g 与往复惯性力 p_j 的合力 p 在十字头部件上分解出的水平力，即侧推力 p_h，参阅图 6.3.1－35。

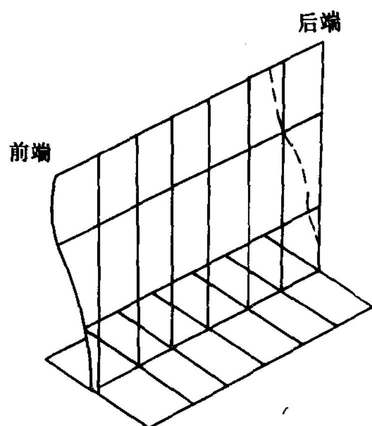


图 6.3.1－34 机架纵向振动模态

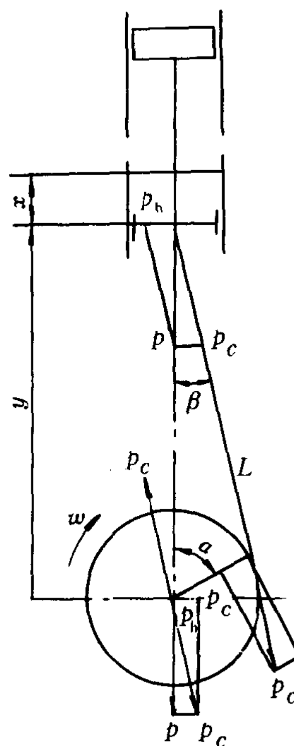


图 6.3.1－35 气体力力系

$$p_c = p\sec\beta = (p_g + p_j)/\cos\beta$$

$$p_t = p_c\sin(\omega t + \beta) = (p_g + p_j)\sin(\omega t + \beta)/\cos\beta$$

$$p_h = p.\ tg\beta = (p_g + p_j)tg\beta$$

显然

$$p_h Y = p_t R$$

则产生H型振动的激励力矩是柴油机输出扭矩的反力矩。

$$p_h = p_t R/Y \quad (6.3.1-12)$$

为了计算方便，取 $Y \approx l$，代入式(6.3.1－12)，得：

$$p_h = \lambda p_t \quad (6.3.1-13)$$

对均匀发火柴油机，H型振动激励力的简谐次数只能为气缸数的整数倍($\upsilon = KZ$)其幅值 $C_{h\upsilon}{}^*$ 为：

$$C_{h\upsilon}^* = Z\lambda C_r$$

式中：Z——气缸数；

C_r——扭振计算中的υ次切向力简谐系数。

6.3.2 X型振动的激励

X型振动的特点是环绕机身中心进行扭转，其激励力矩为侧推力乘以机身中心至各气缸中心线的距离，如图 6.3.1－36 所示。

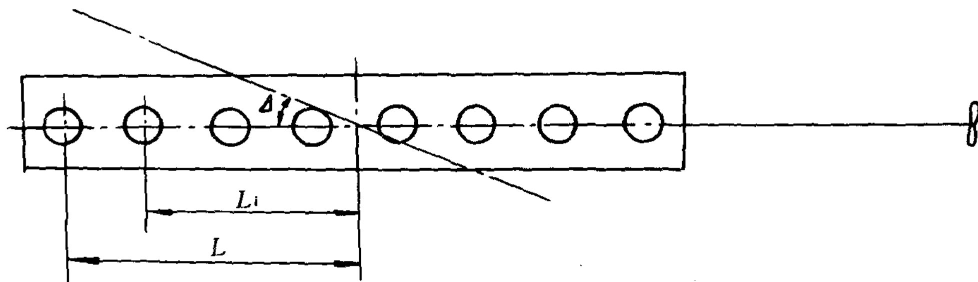


图 6.3.1-36 X 型振动激励力矩的计算图

第 i 缸 ν 次激励力矩 $M_{x\nu i}$ 为：

$$M_{x\nu i}=\frac{\pi D^2}{4}P_{n\nu i}L_i \qquad (6.3.1-14)$$

式中：$p_{h\nu i}$——第 i 缸 ν 次侧推力简谐值；

L_i ——第 i 缸气缸中心线至机身中心的距离。

式(6.3.1－14)亦可表达为：

$$M_{x\nu i}=\frac{\pi D^2}{4}L_0x_iC_{h\nu}\sin\left(\nu\omega t-\nu\delta_i+\theta_{d\nu}\right)$$

式中：X_i ——L_i/L_0；

δ_i ——第 i 缸相对于第一缸的发火延迟角；

L_0——第一缸(或第 z 缸)中心线至机身中心的距离。

X 型振动扭转角 Δ 的变化为：

$$\Delta=\Delta_0\sin(\nu\omega t+\theta\nu_{\xi})$$

式中：Δ_0 ——扭转角幅值；

ξ ——响应滞后角。

全部气缸的 γ 次激励力矩在一个振动周期内作的功 E 为：

$$E=\sum_{i=1}^{Z}\int_0^2 M_{x\nu i}\int_{dt}^{d\Delta}dt$$

$$=\frac{\pi^2D^2}{4}C_{h\nu}L_0\Delta_0\sqrt{\left(\sum_{i=1}^{Z}x_i\sin_{\nu}\delta_i\right)^2+\sum_{i=1}^{Z}x_i\cos\nu\delta_i\Big)^2}.\sin(\varphi-\xi)$$

式中：

$$\varphi=tg^{-1}\left(\frac{\sum_{i=1}^{Z}x_i\sin\nu\delta_i}{\sum_{i=1}^{Z}x_i\cos\nu\delta_i}\right)$$

共振时，激励力矩对系统输入的功达最大值 E_{max}，$\sin(\varphi-\xi)=1$。得共振时的激励力矩相当值 $M_{x\nu}$为：

$$M_{x\nu}=\frac{\pi D^2}{4}C_{h\nu}L_0\sqrt{\left(\sum_{i=1}^{Z}x_i\sin\nu\delta_i\right)^2+\left(\sum_{i=1}^{Z}x_i\cos\nu\delta i_i\right)^2}$$

$$=\frac{\pi D^2}{4}C_{h\nu}L_0V_s \qquad (6.3.1-15)$$

上式中的 V_s 为激励力矩矢量和，其值与发火顺序之间有着明显的关系。

例如对一台二冲程八缸机，发火顺序分别为 1－8－3－4－7－2－5－6 和 1－6－5－2－8

—3—4—7，其 V_s 值分别如表 6.3.1—5。

表 6.3.1—5 **激励力矩的矢量和**

简谐次数	1—8—3—4—7—2—5—6	1—6—5—2—8—3—4—7
1	0.2562	0.4016
2	0	0
3	3.6049	3.6814
4	1.1429	0
5	3.6049	3.6814
6	0	0
7	0.2562	0.4016
8	0	0
9	0.2562	0.4016
10	0	0
11	3.6049	3.6814
12	1.1429	0
13	3.6049	3.6814
14	0	0
15	0.2562	0.4016
16	0	0

上述二冲程八缸机常用的两种发火顺序，$\upsilon=5$ 时，均有一个最大的矢量和 V_s，故二冲程八缸机的 5 次 X 型振动振幅一般均较大，是一个危险振动。

6.4 机架横向振动的简易估算法（半经验公式）

将柴油机机架简化成图 6.3.1—37 所示的计算模型。

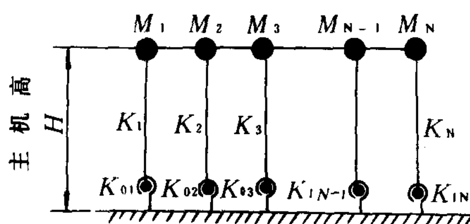


图 6.3.1—37 机架的简化模型

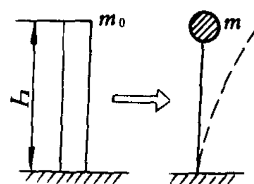


图 6.3.1—38 机架的等效集中质量

图中符号说明如下：

Z ——气缸数；

m ——相当于一个气缸的等效集中质量；

k ——相当于一个气缸的机架等效刚度；

$K_{\theta H}$ ——安装底部的横向扭转刚度；

K_i ——气缸间的连接刚度。

K 及 $K_{\theta H}$ 的合成刚度 K_e 为：

$$K_e=K+\frac{1}{1+H^2(\frac{K}{K_{\theta H}})}$$

其中：H——高度。

等效集中质量 m 是这样估算的，即将一端固定的板状均布质量按动能相等及挠度曲线相仿的原则，转化成一端固定的等效集中质量，见图 6.3.1—38。m 按下式计算：

$$m\approx0.25m_0$$

式中：m——为板架质量。

按下列公式计算H型及X型的固有频率：

$$f_H=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K_e}{m}} \quad H_z \tag{6.3.1-16}$$

$$f_x=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K_e+\alpha_x K_i}{m}} \quad Hz \tag{6.3.1-17}$$

式中：α_x——与气缸有关的系数，如表6.3.1－6所示。

表6.3.1－7是m、K_e、K_i的计算结果。

表6.3.1－6　**SulZer RND型的系数α_x**

气缸数	6	7	8	9	10	11	12
α_a	0.268	0.198	0.152	0.121	0.098	0.081	0.068

表6.3.1－7　**Suizer RND型的m、k_e及k_i值**

	RND68	RND76	RND90	RND105
m　kg	12458	17854	24132	36591
k_e　N/m	3.14×10^7	3.27×10^7	4.45×10^7	5.46×10^7
k_i　N/m	2.46×10^8	2.39×10^8	3.32×10^8	4.76×10^8

从式(6.3.1－16)及(6.3.1－17)可得到下列几点结论：

(1)H型振动的固有频率与气缸数无关；

(2)X型振动的固有频率随气缸数的增加而明显减小；

(3)计算值和实测值的趋向是一致的，误差约为±10%。

简易估算法的系数K_e及K_i值是在实测的基础上反推而得的。例如根据实测的f_H值及估算的m值，代入式(6.3.1－16)反推其合成刚度K_e。根据不同缸数实测的f_H及f_x值，代入式(6.3.1－16)与(6.3.1－17)反推气缸间连接刚度k_i及系数α_x。

6.5　机架振动与船体振动之间的关系

6.5.1　简述

当柴油机安装在船上时，由机架、双层底、机舱的舱壁组成的复杂振动系统。随着振幅的增加，其固有频率将相应的降低，因而可能出现几个H型和X型横向振动固有频率，及几个L型纵向振动固有频率。

6.5.2　船体双层底刚度对机架振动固有频率的影响

由于双层底的横向刚度是足够大的，其固有频率为机架横向振动时固有频率的6～7倍。当考虑双层底刚度影响时，柴油机机架的H型和X型振动的固有频率降低数约为主机单机振动时固有频率的5%～10%。在试车台上实测的固有频率和装船后的实测数据相比，两者相差约为10%，故可用试车台上的试验结果来推算装船后机架横向振动的固有频率。试车台上所测得的H型振动频率一般略高于装船运行时的实测值。

对于机架纵向振动，由于双层底纵向刚度较弱，故在试车台上测得的机架纵向振动的固有频率远高于装船后测得的频率值，两者相差在30%以上。在试验台上不成为问题的机架纵向振动，装船后，在常用转速区附近将出现临介转速。特别是少缸数的四、五缸机，易于出现与气

缸数目相同的Z谐次的大振幅的纵向振动。

6.5.3 机架横向振动与船体和轴系振动之间的关系

对多艘尾机舱的油船，油类/货物两用船的实测数据可看出：

(1)当机架作H、X、x型振动时，机架传递给柴油机的基座尾部的垂向或横向振动的幅值，仅为机架顶部横向振动幅值的0.2～0.3倍，亦即在一般情况下，机架横向振动对船体的影响是不大的，但当与船体产生局部共振时，将严重影响船舶的适航性。

(2)包含着扭转成分的船体横向振动，对诱发机架的横向振动有着明显的影响。

(a)当船体作低频振动时，机架可以认为是船体结构的一个组成部分，与船体一起振动；

(b)当船体作高频振动时，由它所激起的机架顶部横向振动幅值，将为船尾横向振动幅值的两倍左右，即船体横向振动对机架的横向振动有着明显的影响。

(c)轴系2节点的扭转振动能激起机架作X型的横向振动。

6.6 机架振动的预防措施

6.6.1 变更发火顺序

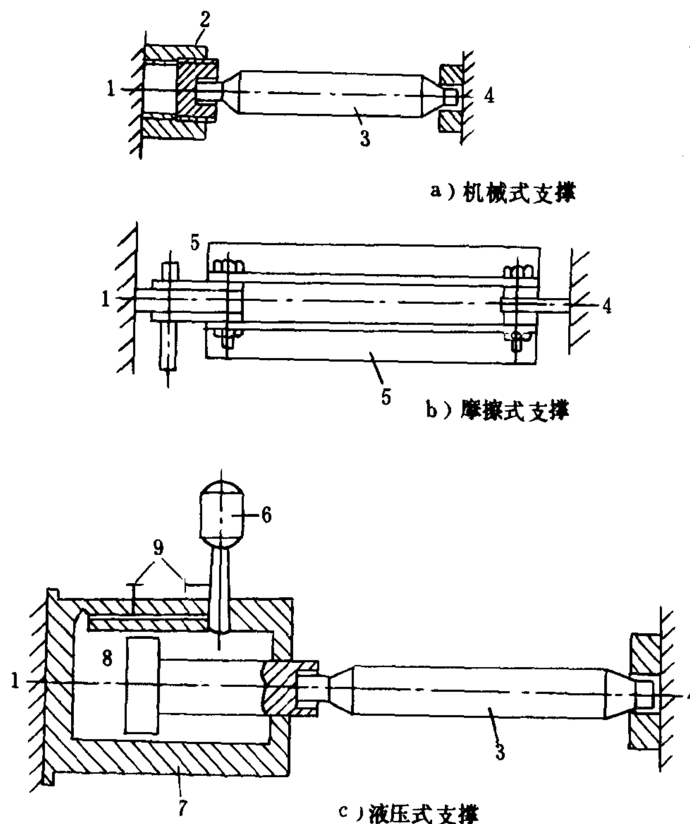


图6.3.1－39 三种支撑的示意图

1—船体侧；2—螺纹套；3—压杆；4—机架侧；5—梁；6—蓄能器；7—气缸；8—活塞；9—阀；

X型振动的激励力在很大程度上取决于发火顺序。以10缸机为例：原先的发火顺序为1—9—5—6—2—10—4—3—8—7，导致5次激励力矩在常用转速区内，主机产生X型强共振，上层建筑振动严重；后变更发火顺序为1—8—7—3—5—9—4—2—10—6，5次激励力矩矢量和V_s由3.49降至0.33，从而明显改善了主机的横向振动和船体振动。

6.6.2 设置防振支撑

防振支撑的减振作用。

图 6.3.1－39 所示为目前常用的三种支撑型式：机械式、摩擦式、液压式。

（1）防振支撑能增加机体的刚度，提高其固有频率，避免了在额定转速附近出现低谐次的共振，从而使机架的振幅明显下降。此外，磨擦式、液压式支撑具有较大的阻尼作用，进一步降低了整个系统的振幅。

在主机机架上部与船舷左右侧间加装防振支撑后，通常能使机架横向振动振幅减小约为 50%，固有频率提高 5%～50%。

在主机前后端与机舱壁之间安装纵向防振支撑同样能使机架纵向振动的振幅减小 50%以上，固有频率提高 25%左右。

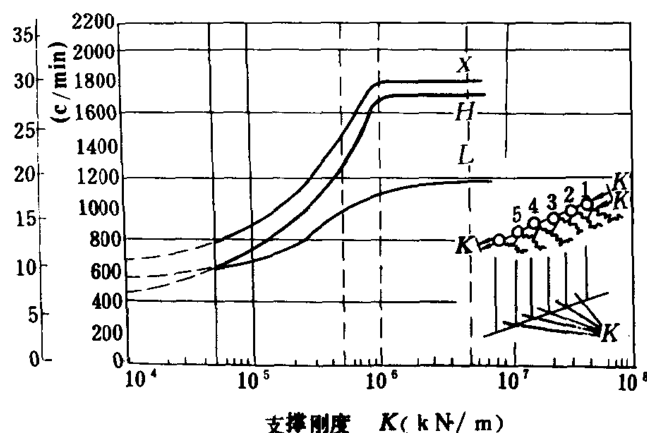


图 6.3.1－40 支撑刚度与机架固有频率间的关系

（2）加设防振支撑后，机体所增加的附加刚度，不仅取决于支撑的刚度，且与船体的刚度、安装位置等有关，见图 6.3.1－40 所示，当支撑的刚度超过 10^6kN/m 后，无论 H 型、X 型还是 L 型的固有频率基本保持不变。

6.7 衡　　准

实测表明，由于机架振动引起机体的最大附加应力值很小，若机架装设支撑后，附加应力值还可进一步降低，故不用机架振动引起机体的附加应力作为衡准标准。

以机架顶部的振动幅值及增压器处的加速度值作为机架振动衡准。对低速二冲程大型柴油机顶部振动幅值一般限制在 0.7mm 以下；对废气涡轮增压器处的加速度值则限制在 9.8m/s^{2}以下。

7　船舶管路、容器的振动及其控制

船舶上有大量不同用途的管路。船舶主机、发电机、空气压缩机等的机械振动，以及管内流体的脉动，都会引起船舶管路的振动。剧烈的振动会造成构件的疲劳破坏，使管路断裂，周围的振动和噪声加剧，工作和生活环境恶化，并影响所连接机械的正常运行，因此，船舶管路振动是一个值得注意的问题。

7.1 管路的机械振动

船舶管路布置一般比较复杂。其中最简单的情况是直管、假定管路是受均布荷载作用的等截面梁，如图 6.3.1－41 所示，以管的轴线方向为 x 轴，管的挠度 y 与其垂直，图中 Q 是剪力，M 是弯矩，p(x)是单位管长上的荷载，则管的挠度方程为：

$$M=EI\frac{d^2y}{dx^2}$$

直管的固有频率为：

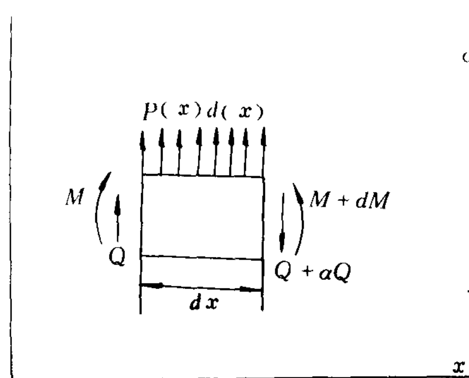


图 6.3.1—41 均布荷载作用的等截面梁

$$\omega_n=\beta_n^2\sqrt{gLEI/m}=(\beta_nL)^2\sqrt{\frac{gEI}{mL^3}}$$

$$=\frac{(\beta_nL)^2}{L^2}\sqrt{\frac{gEI}{\gamma A}} \qquad (6.3.1-18)$$

$$f_n=\frac{\omega_n}{2\pi} \qquad (Hz)$$

式中：f_n ——管的固有频率，H_z；

ω_n——管的固有园频率，rad/s；

g ——重力加速度，$g\approx9.81m/s^2$；

E ——弹性模量，kg/cm^2；

I ——横截面积对中性轴的惯性矩，cm^4；

r ——管材单位体积的重量，kg/cm^3；

A——管的截面积，cm^2；

L——管长，cm；

m——管的质量，kg；

β_nL ——频率系数，可由表 6.3.1—8 查取。

表 6.3.1—8 **直管的固有频率系数**

振动系统	1次	2次	3次
两端自由	4.730	7.853	10.996
一端固定一端自由	1.875	4.694	7.855
两端固定	4.730	7.853	10.996
一端固定一端铰支	3.927	7.069	10.210
两端简支	π	2π	3π

如果参加振动的不仅是管体本身，而且还有管内流体，管外包覆的材料等(式 6.3.1—18)，仍可应用，只是要计及其重量。当管路中间有阀类元件的时候，可将管路作为中间有集中质量的梁来近似求算。

直管的固有频率不仅与其结构参数、材料有关，而且亦决定于其支承的边界条件。经验表明，危害最大的是一次振动，二次以上的振动危害较小。

弯管的情况复杂得多，它还与各段之间的长度比以及弯角有关，此时单靠理论计算比较困

难。不过仍可应用式(6.3.1－18)，只是根据实验值对频率系数 $\beta_n L$ 值进行修整。

对于图 6.3.1－42a)那样的弯管，管的全长 $L=l_1+l_2$，频率系数 $\beta_n L$ 可由下方图中查得。

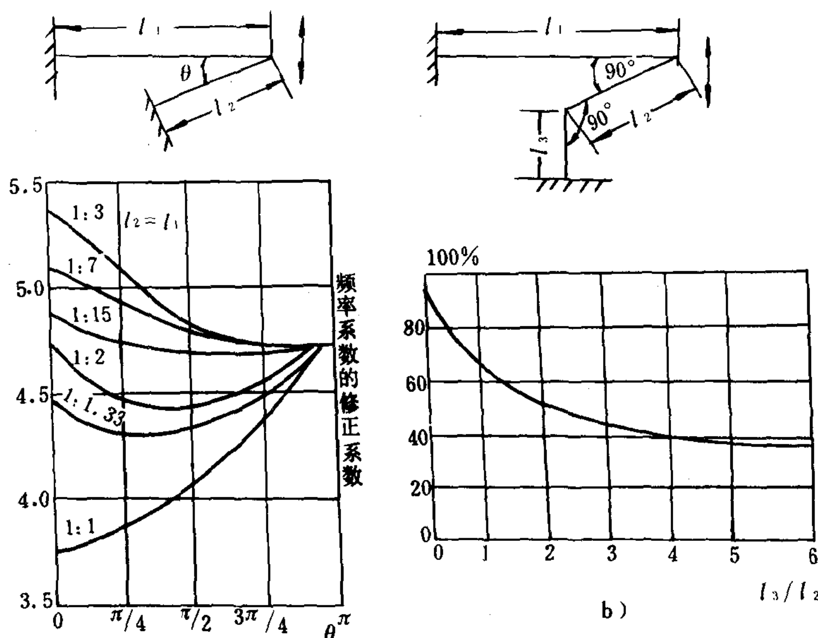


图 6.3.1－42　弯管的修正系数

对于图 6.3.1－42b)那样的成 90°角的弯管，前面二段弯管 l_1、l_2，可以按图 6.3.1－42a)的方法处理，$L=l_1+l_2$，$\theta=90°$，计算 $\beta_n L$。然后根据下方的实验曲线修正 L_3 的影响即可。

以上所讨论的是管路类似于梁那样作横向振动的情况。对于薄壁管，由于存在高频激励，其管壁还可能产生如图 6.3.1－43 所示的振动。在这种管壁振动的诸振型中，n＝2 的振型是基本振型。

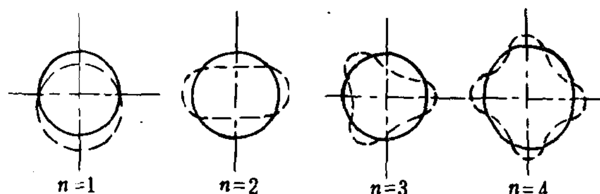


图 6.3.1－43　薄壁管的振型图

7.2　管路内流体的脉动现象

管路振动除了由于机械振动引起以外，很多是由于管内流体脉动所造成的。通风管、柴油机的排气管、气动及液压系统的控制和能量传送管系中流体的脉动，这些均是引起船舶振动的一个重要激励源。

7.2.1　流体中扰动传递的速度

如果流体中某一点受到了扰动，此扰动立即向四面八方以声速传递。

流体中的声速为：

$$C=\sqrt{\frac{B}{\varphi}}$$

式中：C——声速，m/s；

B——流体的体积弹性模量，Pa；

φ——流体的密度，kg/m^3。

在标准大气压力(1.01225×10^5pa)和温度为 21℃(294K)时，在空气和淡水中的声速分别 344m/s 和 1480m/s。

在实际管路内扰动的传递速度和管壁的刚性、扰动振幅的大小有关，在液体中如溶有空

气，会降低液体的体积弹性模量，声速变小。但在工程上作近似估算时，可不考虑上述的影响，直接选用该流体的声速。

7.2.2 管路系统内的驻波

图 6.3.1－44 为一个二端开口的直管，一端开口另一端为闭口的直管及亥姆霍兹(Helmholtz)谐振器的示意图。为了便于分析，假设只有一个简单的简谐力作用于这三种管路的左端。简谐力的力幅为常量 p_0、频率 f 为一变值，从 0 到一个很大的值。在各个激励频率下记录点 1 处的压力幅值 p_1，图 6.3.1－45 为其动态响应 p_1/p_0 与频率 f 之间的关系。在图 6.3.1－45 中示出了第一次共鸣时的基频，此时共振曲线的幅值出现了第一次最大值，与之相应的频率分别标注为 f_{Na}、f_{Nb}、f_{Nc}。

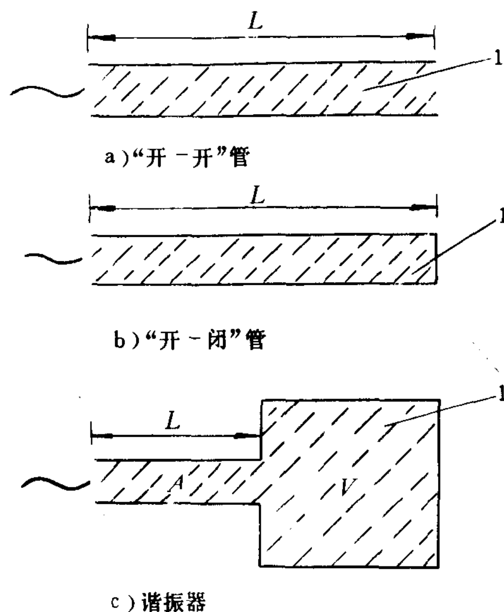


图 4.3.1－44 直管的激励

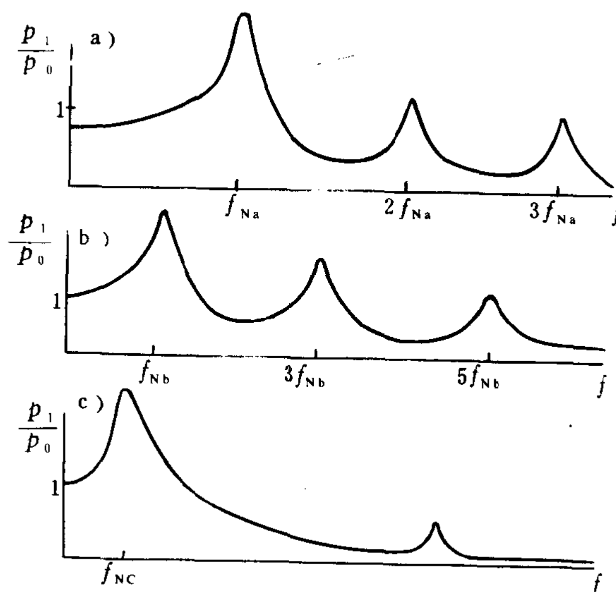


图 6.3.1－45 动态响应 p_1/p_0 与频率 f 间的关系

图 6.3.1——44 所示管路系统的固有声频可用简单的数学式来表达。

二端开口的直管：

$$f_{Na}=\frac{nC}{2L} \qquad n=1,2,3,\cdots\cdots \tag{6.3.1-19}$$

一端为开口、另一端为闭口的直管：

$$f_{Nb}=\frac{(2n-1)C}{4C} \qquad n=1,2,3,\cdots\cdots \tag{6.3.1-20}$$

亥姆霍兹谐振器的基频：

$$f_{Nc}=\frac{c}{2\pi L}\sqrt{\frac{AL}{V}} \tag{6.3.1-21}$$

式中：f_{Na}、f_{Nb}、f_{Nc}——管路系统的声频，Hz；

A ——管路横截面积，m^2；

L ——管路长度，m；

V ——亥姆霍兹谐振器的容积，m^3；

C ——声速，m/s。

实际管系很少能简化成图 6.3.1—42 所示的那样。大部分管系包括着各种泵、鼓风机等，这些流体驱动装置的声学特性非常接近于末端为封闭的管道，即比较接近于“开口——封闭”管系。

图 6.3.1—46 所示的管路比较接近于实际情况，管路中包含着渐变或突变截面的管子。这种管路无法用简单的公式来估算它的固有频率，只能籍助于计算机作繁复的计算。应当指出的是这种管系的基频将低于同样长度一端为开口另一端为封闭的直管的基频。

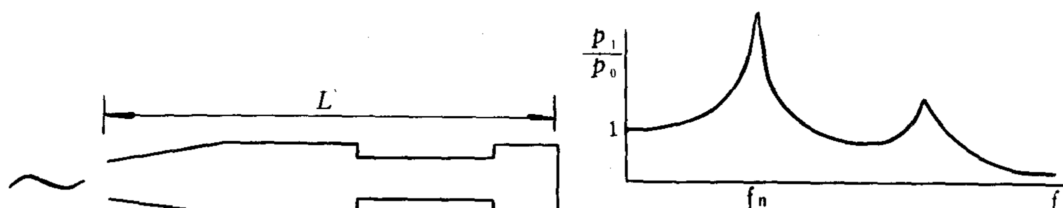


图 6.3.1—46　变截面管的动态响应示意图

7.3　管路内不稳定流动引起的振动和噪声

在管路内流体的不稳定流动必将产生机械振动和噪声，其中比较重要的一种即为“水锤”现象，它是由于流动突然阻塞而引起的。在管路内流动着不可压缩的液体时，突然很快关闭阀门，即使是部分关闭时，都能使管路内的压力很快上升到一个很大的值，如图 6.3.1—47 所示设该图中的液体密度为 ρ_0、压力为 p_0，以速度 V_0 流经某阀体，液体的声速为 C。如将此阀很快关小，这样流经阀体的速度从 V_0 降至 V_1，产生了冲击波，此冲击波以声速从阀体反射回来并反向传播，冲击波后的压力从 p_0 上升至 p_1。由于液体的不可压缩性，液体的密度可认为不变，冲击强度 Δp 可以从下式算得：

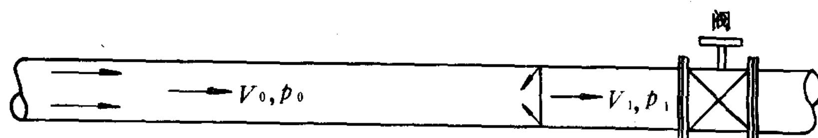


图 6.3.1—47　关阀时在管道内产生的压缩波

$$\Delta p = p_1 - p_0 = \rho_0 C(V_0 - V_1)$$

为了说明冲击强度的严重性，举例如下：

例：计算某淡水管，由于阀迅速关闭而产生的冲击强度。

$\rho_0 = 1,000 kg/m^3$，　　C=1480m/s

$p_0 = 10bar = 1.10^6 p_a$，　　$V_0 = 10m/s$

当阀迅速关闭后，$V_1 = 0$

$$\Delta p = p_1 - p_0 = \rho_0 C(V_0 - V_1) = 1000 \times 1480 \times 10$$
$$= 1.48 \times 10^7 p_a = 148bar$$

冲击波后的压力 $p_1 = 158bar$，此压力波将在整个管道内来回反射，直到被液体的阻尼消耗尽为止。

与稳压工作相比，不稳定流动不仅增加了管系的工作应力，同时在管系周围激发起振动和噪声。解决这些问题的措施是尽可能快的减少冲击波的强度。

削弱冲击波强度的最有效方法是确保阀的开关尽可能慢。当不可能这样做时，冲击波的强度可以用引入支管的办法加以削弱，如图 6.3.1—48 所示。

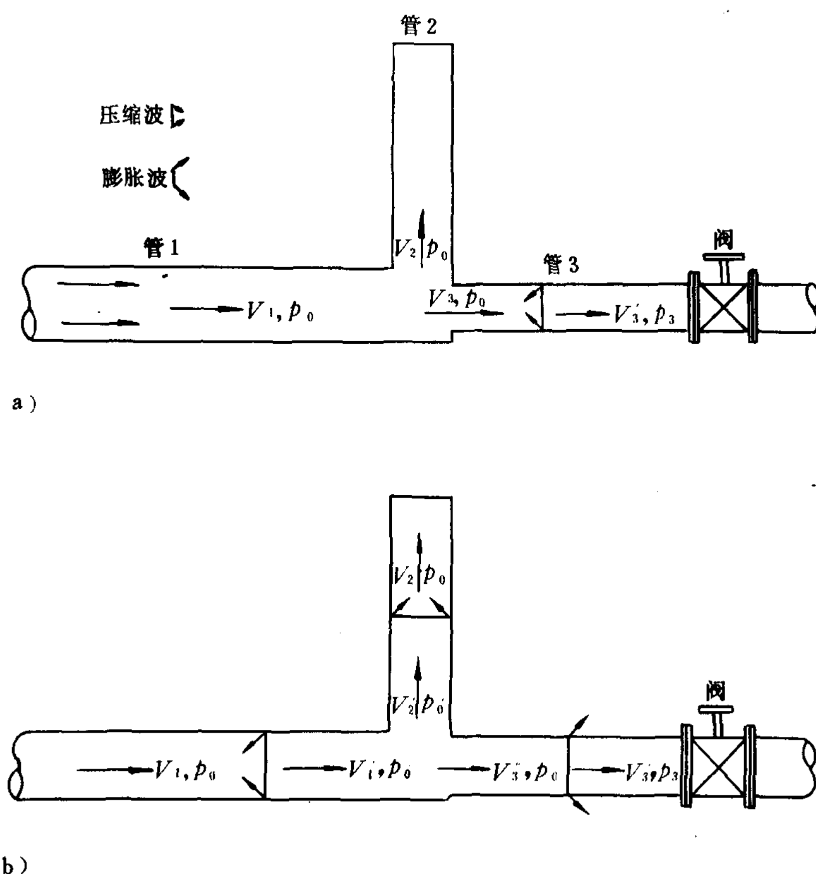


图 6.3.1—48 引入支管后，冲击波作用的示意图

图 6.3.1—48a)表示了阀已关闭，但冲击波尚未到达接合处时的流动情况。b)则为首次波达到接合处之后的瞬时情况。

首次冲击(压缩)波的强度

$$\Delta p = \rho C_3 (V_3 - V_3{}')$$

此冲击波将反射出一个强度为 Δp_3 的膨胀波和传入管 1 及管 2 强度为 Δp_1、Δp_2 的压缩波。此处：

$$\Delta p_1 = \frac{2\dfrac{A_1}{C_1}}{\sum\limits_{i=1}^{3}\dfrac{A_i}{C_i}} \cdot \Delta p$$

$$\Delta p_2 = \frac{2\dfrac{A_2}{C_2}}{\sum\limits_{i=1}^{3}\dfrac{A_i}{C_i}} \cdot \Delta p$$

$$\Delta p_3 = \frac{\sum\limits_{i=1}^{3}\dfrac{A_i}{C_i} - 2\dfrac{A_3}{C_3}}{\sum\limits_{i=1}^{3}\dfrac{A_i}{C_i}} \cdot \Delta p$$

式中：A_i——管"i"的横截面，m^2；

C_i——管"i"内流体的音速，m/s；

Δp——首次波的强度，Pa。

为了能更好地说明支管对冲击波的削弱作用，仍以前例为例，装上一支管，它们的参数分别为：

$$A_1=A_3=20cm^2,\quad A_2=40cm^2,\quad C_1=C_2=C_3=1480m/s,$$

$$\rho=100kg/m^3,\quad p_0=10bar,\quad V_3=10m/s,\quad V_3=0$$

首次冲击波的强度 Δp 仍为 148bar，但传入管 1 波的强度则降为：

$$\Delta p_2=\frac{2\times 20}{80}\Delta p=\frac{1}{2}\Delta p=74bar$$

即直接进入管 1 的冲击波压力为进入支管压力的一半，随着管 2 截面积的增加，此值将进一步减少。

传入支管 2 内的压力波将反射回原系统，在反射过程中波的强度将在支管内消弱。适当调整支管 2 的长度，使在管 1 中的第 1 次反射的膨胀波到达接合处之前，管 2 中的反射波不可能到达接合处，形成 3 相消干涉。

更好的办法是用平衡箱替代支管，如图 6.3.1－49 所示。弹性膜片将平衡箱分隔成上、下二个腔室，其中一个腔室与管路连接，另一个中则充满以一定压力的气体，不同的气体压力为系统提供了不同的刚性，调整气体压力值可望获得最佳的减振效果。

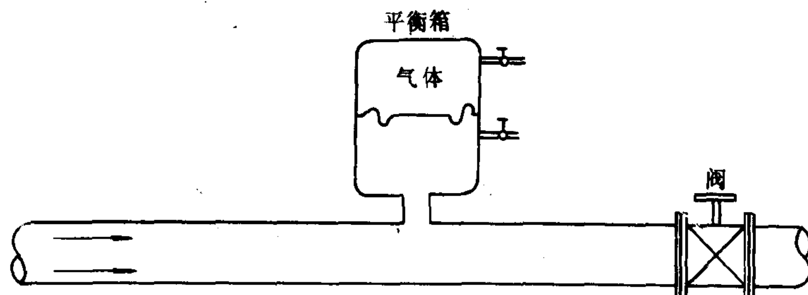


图 6.3.1－49　平衡箱示意图

平衡箱或支管应尽可能靠近流动阻塞区，即阀件处。

7.4　容器内液面的激荡(Sloshing in Tanks)

船舶在海上航行时，由于风浪作用，船体不停地晃动，必然诱发起各种容器内液体的激荡，从而激励起各种振动。

7.4.1　晃动激励

晃动将使容器内的液体产生一个动压力场，作用在容器的内壁上，如图 6.3.1－50 所示。

7.4.2　晃动激发的振动

在船舶上占支配地位和重要的激荡是横向激荡。用理论的方法求算激荡的固有频率和振型，目前仍有困难，本节只介绍其一般物理现象。

图 6.3.1－51 示出了各种不同形状容器的一阶固有振型(振幅很小)它是一个不对称的驻

波。

当液体相当深时，可出现大振幅的不对称波，严格讲它非驻波，但习惯上还称它为驻波，见图 6.3.1—52。

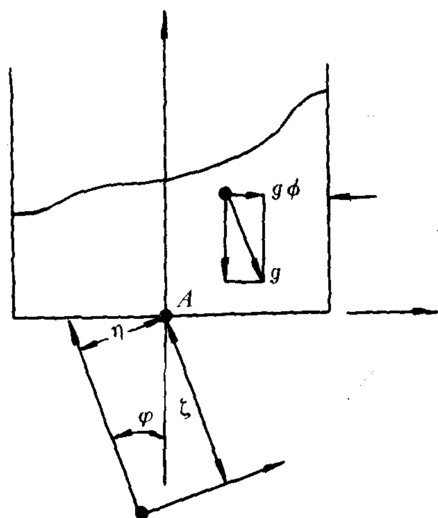


图 6.3.1—50 晃动时液体的动压力场



图 6.3.1—51 不同形状的容器在晃动时的一阶模态图

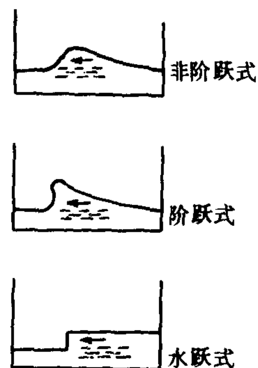
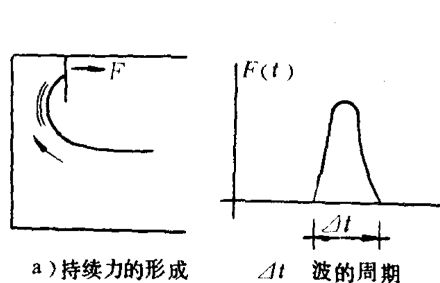


图 6.3.1—52 液柱较深时的振荡图



图 6.3.1—53 液柱较浅时的振荡图



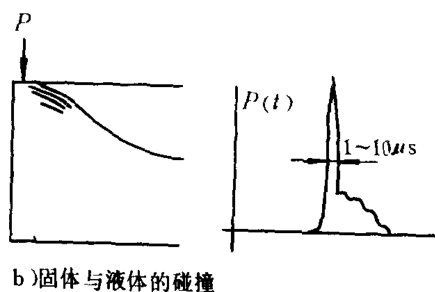


图 6.3.1—54 水动力作用时间图

当液体深度较浅时，有显著振幅的典型激荡波称为行波（Trave lling wave ），见图 6.3.1—53。

除了横向激荡外还有涡流激荡和垂向激荡等。

液体的激荡将使容器和它的内部构件承受着不同程度的水动力。液体与固体（如容器内壁）之间由于碰撞出现局部冲击力，此力有时可能很大，作用时间却很短，只有 1—10ms，如图

6.3.1—54 所示。

7.4.3 激荡的后果(Effects of sloshing)

7.4.3.1 油轮的激荡

对于油船，激荡不可能形成危害。这是由于：

1)油船内壁上高而密的框架结构有着足够的阻尼效应。

2)相对于船舶的尺度来说，每个油舱的尺寸非常小，船和液体的运动不可能出现共振现象。

7.4.3.2 散装货船的激荡

散装船中的油－散装－矿砂(OBO)多用途船的特点是货舱的空间大、无阻滞，货舱的宽度几乎等于整个船宽，存在着严重激荡的可能。

7.4.3.3 液化气货船的激荡

必须充分认识到激荡对于运输液化天然气船的特别严重性。所有登记在册的液化天然气船的舱室内壁均很光滑，再加上舱室数目少(通常只有 5～6 个)，对于近代大尺寸船舶，每个舱室的容积将很大，通常为 25000～30000m^3。上述二个原因，促使了严重激荡的存在。

7.5 管路振动的控制

管路可能受到机械振动、流体脉动力、水击、减压阀的冲击波、阀开闭时的冲击力等多种振源的激励。为了减小管路振动，有必要在设计和安装过程中采取一些措施，以避免产生共振或减小振源的影响。

7.5.1 正确选取管长、避免共振发生

式(6.3.1—19)、(6.3.1—20)和(6.3.1—21)表明：固有频率与管长 L 直接有关。因此，可以通过选取不同 L 值来改变固有频率，避免共振的发生。当激振频率 f 等于 f_{1n}时，将出现结构机械共振；当 f 等于 f_{2n}时，将出现气柱共振，有可能产生强烈振动。特别是如果 f_{1n}、f_{2n}和 f 三者一致，将会出现最坏的情况，气柱和管路都处于共振状态。因此，在管路设计时必须同时考虑 f_{1n}和 f_{2n}两个因素，以避免共振的发生。

7.5.2 管路走向与支承

实际上管路转弯是难免的。假定弯头转角为 θ，管子直径为 d，弯头进出口处的脉动压力为 P(图 6.3.1—55)，弯头分角线方向作用的力为：

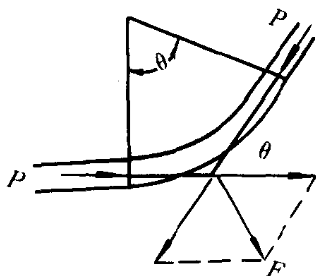


图 6.3.1—55 弯管分角线方向的作用力

$$F=P\frac{\pi d^2}{2}\sin(\frac{\theta}{2})$$

若是直管，$\theta=0$，$F=0$，管壁不受力；若弯成平行，$\theta=\pi$，$\sin\frac{\theta}{2}=1$，管壁受力最大。因此，管路应尽量避免转弯，在必须转弯时，应尽可能减小转角 θ，同时转弯半径尽可能大。

管路本身有一定重量，会因自重而下垂。特别是对于支承间距大的管段，下垂厉害，固有频率非常低，即使没有特定振源的干扰。由于外界的种种扰动也会出现大的振动。因此，要避免支承间距过大，当管路弯曲出现自由外伸悬浮时，要在悬浮处加设支承。与流动不均匀的往复泵吸入或输出口连接的挠性管，由于压力脉动，软管会跳动，为此，要将软管牢牢固定，使之不处于悬浮状态工作，并要加强与之相连的管路的固定。要选用耐压足够高的软管，且不要过长。

管路支承在振动方向要有最大的刚性。但要注意，即使防振托架、支柱等刚性足够，但基础（如梁、肋骨等）刚性不足，也不能很好地发挥作用。如果在振动的波腹处设置支承，由于支承的重量，在低频时甚至会助长振动。

相靠近的平行管、交叉管可共用同一支承，但要注意各管振动时不能互相接触。

7.5.3 管路附件及其它

管路中有大量阀件。如果将阀装在管路振动的波腹处，会使振动加剧。阀及其他重物要避开管路振动的波腹位置，而尽可能靠近支承或固定点。

与管路相连的压力表也处于振动环境中。由于流体的脉动影响，表的指针将摆动，读数不精确。为了使表的指针稳定，可在靠近压力表的地方装设节流阀，安装脉动缓冲器也可使压力表免受脉动的影响。压力表如果处于振动状态，就会不稳定，甚至破损。因此，不要将压力表安装在振动物体上。

如果只是将细管焊接在物体上，由于振动，会在根部破坏。因此要在根部加强，防止因振动破损。

对于脉动输出的往复式压缩机等用的立式冷却器，由于气体脉动地输出，若气体自下方进入，由上方排出，则折流板在流体力和重力的作用下被周期地抬起和落下，从而会使折流板破损散落。故要使气体从上方进入，由下方排出。不得已时，必须将折流板牢牢固定于管道或壳体上。

7.5.4 管路隔振

为了使管路的振动不影响周围环境，例如减少其对生活舱室的传递，并达到降低噪声的目的，通常可对管路采取一些隔振措施。一般做法是在支承和贯通部位嵌入隔声材料，如图 4.3.1－32 所示。

关于管路的减振措施，还有一些其他方法。例如，管路中安装消振孔板可降低管内流体的脉动。缓冲器能将来自排气（或进气）过程的振源与气柱振动系统隔开，对气柱起到减振作用。在液压系统中装设气囊式平衡箱可以缓和冲击并吸收油泵（特别是柱塞泵）的脉动。

总之，船舶管路振动是一个必须注意的问题。在设计阶段要根据已知振源充分考虑，采取相应措施。但是，由于船舶振源多种多样，频率范围很宽，想预先全部解决问题是不现实的。要重视试航时的实测工作，根据发现的问题采取对策。

8 测试与评价

8.1 振动测试的目的

振动可以通过理论计算与分析进行预估，不过最终还是要通过实测获得振动的实际参数。通过振动测试，能够对产品进行检查，评价产品能否安全运行，结构会否因振动损坏；进行振动诊断，查找事故的原因；了解环境振动情况，考察环境振动对人的工作与生活的影响；积累资料，分析引起结构噪声的大小等等。

衡量振动的量标主要有位移、速度和加速度。至于用哪一种量标为好，尚无统一规定。一般环境振动评价采用重力加速度 g；评价设备是否会因振动损坏最好用振动速度，因为振动的动能正比于速度平方，速度又正比于频率，因而也计及了频率的影响。同时，在低频（如频率小于 15－20Hz）时，主要考虑位移的影响；而在声频范围，多从速度方面考虑。另外，所用量标与

传统习惯有关，例如美国多用位移振幅。简谐振动的位移、速度和加速度之间有着固定的数学关系。

本节的衡准用来评定机械设备整体振动品质，适用于除低速柴油机机架振动以外的其他各种机械设备。低速柴油机机架振动按第六节的衡准评定。

8.2 测点数目和位置

测点数目依测量对象尺寸而定，对于尺寸较小的机械设备测点可取少些，对于大型机械设备测点应取多些。测点位置应取在具有代表性的刚性较强的位置，薄板、悬臂结构等刚性较弱的部位不宜布置测点。

8.3 测量仪器

所用的测量仪器应经过标定，并有合格证书，符合质量标准要求，整个测量系统处于正常使用状态。

振动测量仪器有机械式的和电子式的，以前多用机械式的。机械式测振仪简单可靠、使用方便，但测试记录的分析较麻烦，难以快速处理和达到高精度的分析。目前用得较多的是电子式测振仪器，它的灵敏度高，便于多点同时测量，分析方便迅速，但系统复杂，价格昂贵，对操作人员的要求也高。电子式的是通过传感器把振动信号转换成电信号，然后经过放大器和检波电路输出。

在振动测试时，要注意被测机械的运转状态，支承方法和背景振动等情况。振动传感器要装在测定位置，注意安装部分的接触共振以及测振方向与传感器的接收灵敏方向一致。放大器的使用要考虑测定频率大小和振级范围。

要想通过振动测试获得精确可靠的数据，减小测试误差，必须合理配用仪器，正确连接与操作，尽可能避免外界干扰。

振动传感器有通用的压电式加速度传感器，位移测量用的电动式速度传感器。其它还有低频精密测试用的伺服式加速度传感器、非接触式涡流位移传感器以及可远距离精密测试的电子光学式的传感器等。其中压电式加速度传感器体积小、重量轻，可用于1Hz～10kHz的测试，有一个方向的，也有三个方向的(X、Y、Z)但压电式加速度传感器要接高输入阻抗的前置放大器，配用电缆要求严格。电动式速度传感器用于位移测量，稍大些，但稳定可靠。它没有电缆杂音问题，且求位移只要一次积分，不产生过渡现象，但是测试频率范围较窄。

测振仪输出的振动波形要记录下来，以便详细研究。利用磁带记录仪可以实现振动的记录、保存，通过重放进行所需的分析。常用的记录与分析仪器有很多种，例如笔录式记录器、电磁示波器、阴极射线示波器、瞬态记录器、数据记录器、频率分析仪等。有关仪器发展很快，特别是在分析仪器方面，现在已经可以进行快速实时分析，即FFT方式。

8.4 机械设备振动衡准

8.4.1 测量工况

被测机械设备应在单独开动并处于额定工况下进行测量。没有运动部件的设备应在正常航行时进行测量。

8.4.2 国际标准

主要国际标准化组织有ISO(International standardization organization)和IEC(Interna-

tional Electrotechnical Commission)。IEC 负责推进、电气、电子方面的标准化,其余的由 ISO 负责。ISO/TC8 是造船专业委员会,IEC/TC18 是船舶电气设备专业委员会。ISO/TC108 专业委员会为机械振动与冲击,主持会员国为美国。其中 ISO/TC108/SCI 为平衡(美国);SC_2 为振动、冲击的测定与评价(德国),其中 SC_2/WG_2 为船舶振动(挪威),WG_4 为陆上乘载物的振动、冲击的测定与评价(英国);SC_3 为振动冲击测试仪器(丹麦);SC_4 为机械振动与 冲击对人体的影响(德国)。ISO/TC153 为阀件专业委员会,ISO/TC70 为内燃机专业委员会,主持会员国为英国。

表 6.3.1-9　　**ISO 推荐的振动烈度值**

振动强度 (m/s)	ISO2372(IO~200 rev/s 的机械)				ISO3945 (大型回转机械)		ISO2373(轴高 80~400mm 的电动机)														
	Ⅰ 小型机械	Ⅱ 中型机械	Ⅲ 大型机械	Ⅳ 涡轮机械	支承方法		80≤H≤132					132<H≤225					225<H≤400				
					刚性	弹性	N	R		S		N	R		S		N	R		S	
0.28	A	A	A	A	优	优															
0.45																					
0.71	B							600~1800		600~1800	71800~3600				600~1800						
1.12																					
1.8	C	B			良				71800~3600				600~1800			71800~3600				600~1800	71800~3600
2.8			B				600~3600							71800~3600							
4.5	D	C		B		良						600~3600						600~1800			
7.1			C		可												600~3600		71800~3600		
11.2		D		C		可															
18			D																		
28				D	不可																
45						不可															
适用	发动机·机械零件·电动机(<15KW)	电动机(15~75KW)·特殊基础电动机(<300 QKW)	大型机械(固定基础)	大型机械(轻量基础)	电动机(>300KW)发电机蒸汽透平·燃气透平涡轮压缩机涡轮泵·鼓风机		三相交流电动机 直流电动机										单位:r/min N:Nonal R:Reduced S:Special				

8.4.3 振动烈度

为了能够在共同的基础上对产品、环境的振动品质进行评价,必须制定振动标准,规定各种情况下的振动许容值。可以规定振幅大小,也可以限制振动速度或加速度。ISO 推荐使用一种专门的量值——"振动烈度"作为评价机械振动的量标,并以此分级。

振动烈度是振动速度的有效值。

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T V^2(t)dt}$$

对于简谐振动，则

$$V_{rms}=\sqrt{2}V_m/2=\sqrt{2}\pi fA$$

式中：V_m ——振动速度峰值，mm/s；

f ——频率，Hz；

A ——位移振幅，mm。

V_{rms}也叫振动速度的均方根值。振动烈度的频率范围是10～1000Hz(ISO2954)。由于振动速度不必再与频率或转速一起考虑，故应用方便。

8.4.4 ISO的标准

表6.3.1－9是ISO推荐的振动烈度值。振动烈度级相邻两级之比为1∶1.6，级差4dB。其中ISO2372以转速600～12000r/min的机械为对象。

ISO3945适用转速范围600～12000r/min的大型回转机械，测点要选在轴承盖或主轴承附近，三个方向测试。ISO2373是对轴高80～400mm的电动机的振动强度规定，三个方向测试。

8.4.5 船舶机械设备振动标准

中国国标尚未制定，在未制定之前参照ISO标准执行。

船舶机械设备振动标准规定，对于外形尺寸极小的设备，可以只在一点三个方向进行测量。一般则要在机组相互垂直的三个方向上，选取多点测量，进而确定整台机器的振动烈度。柴油机装置要在机体顶部、底座等处，沿机身长度方向在前、中、后选点测量，如图6.3.1－56所示。涡轮机装置要在涡轮机前后轴承、主减速器及止推轴承的外壳顶部、进气和排气管道的洁兰联接处等进行测量。可以在同一点进行相互垂直的三个方向的振动测量，也可以在不同点进行。

以振动速度的均方根值表示振动烈度，求算公式如下：

$$V=\sqrt{(\frac{\Sigma V_x}{N_x})^2+(\frac{\Sigma V_y}{N_y})^2+(\frac{\Sigma V_z}{N_z})^2}\quad \text{mm/s}$$

式中：ΣV_x、ΣV_y、ΣV_z ——三个方向振动速度有效值之和；

N_x、N_y、N_z ——三个方向上的测点数目。

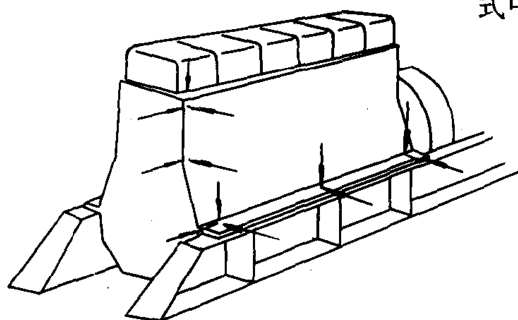


图6.3.1－56 柴油机振动测量的测点布置示意图

机械设备共分为六类：

Ⅰ类：安装在刚性基础上的15kW以下、转速高于3600r/min的电动机、发电机以及无线电设备、电器设备；

Ⅱ类：安装在刚性基础上的15kW以下、转速低于3600r/min的电动机、发电机和交流机；

Ⅲ类：功率大于15kW的同轴设备、交流机组、通风机、压气机、泵等；

Ⅳ类：气缸数目大于六的中型柴油机、副锅炉、制冷机、加热器、配电板以及在一般基座上功率超过200kW的旋转机械；

Ⅴ类：功率在2200kW以下的中型柴油机，2200kW以上、转速在200r/min以下的低速大型二冲程柴油机；

Ⅵ类：其他设备。

按照振动烈度进行评定，共分为四级：

A 级：不会使机械设备的正常运行发生危险，为“良好”；

B 级：可以验收，为“许可”；

C 级：振动是可以容许的，但有某些问题，应采取措施解决，为“可容忍”；

D 级：振动太大，机械不得运行，为“不允许”。

表 6.3.1—10　**各类机械设备不同振级的振动烈度**

<table>
<tr><th rowspan="2">振动烈度
mm/s</th><th colspan="6">机械设备类别</th><th rowspan="2">dB</th></tr>
<tr><th>Ⅰ</th><th>Ⅱ</th><th>Ⅲ</th><th>Ⅳ</th><th>Ⅴ</th><th>Ⅵ</th></tr>
<tr><td>0.45</td><td rowspan="2">A</td><td rowspan="3">A</td><td rowspan="3">A</td><td rowspan="4">A</td><td rowspan="5">A</td><td rowspan="6">A</td><td>93</td></tr>
<tr><td>0.71</td><td>97</td></tr>
<tr><td>1.12</td><td rowspan="2">B</td><td>101</td></tr>
<tr><td>1.80</td><td rowspan="2">B</td><td rowspan="2">B</td><td>105</td></tr>
<tr><td>2.80</td><td rowspan="2">C</td><td rowspan="2">B</td><td>109</td></tr>
<tr><td>4.50</td><td rowspan="2">C</td><td rowspan="2">C</td><td rowspan="2">B</td><td>113</td></tr>
<tr><td>7.10</td><td rowspan="7">D</td><td rowspan="2">C</td><td rowspan="2">B</td><td>117</td></tr>
<tr><td>11.20</td><td rowspan="6">D</td><td rowspan="6">D</td><td rowspan="2">C</td><td>121</td></tr>
<tr><td>18.00</td><td rowspan="5">D</td><td rowspan="2">C</td><td>125</td></tr>
<tr><td>28.00</td><td rowspan="4">D</td><td>129</td></tr>
<tr><td>45.00</td><td rowspan="3">D</td><td>133</td></tr>
<tr><td>71.00</td><td>137</td></tr>
<tr><td>112.00</td><td>141</td></tr>
</table>

各类机械设备不同振级的振动烈度如表 6.3.1—10 所示。可见此标准与 ISO 的标准是相似的，只是分类有别，且这里也把一些设备包括了进去。上、下相邻振动烈度值之比为1∶1.6。若用分贝(dB)表示，则

$$L_v = 20\log 20(V/V_0)$$

取基准值 $V_0=10^{-5}$mm/s，各振动烈度值则可用分贝表示，列于表中最右一栏，从上至下以 4dB 渐增。

8.5　振动的环境评价

从 30 年代开始，一些组织及个人就对车、船、飞机等交通工具的乘坐舒适性进行研究，提出过各种评价标准。现在一些工业发达国家为加强对人的振动保护，先后制定了振动容许标准。不过，因为人体的生理系统非常复杂，而且振动通常与温度、工作姿势、工作条件以及噪声等因素同时存在，使人呈现各种病症，所以想弄清振动对人体的生理影响机理，从而能定量地评价，是极其困难的。目前都是从人的感觉方面、即从心理影响方面进行评价。

8.5.1　人的振动感觉

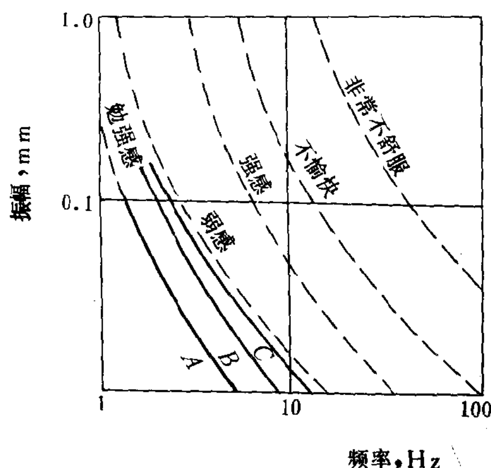


图 6.3.1－57　人体对振动感觉的实验曲线

人的振动感觉依存于皮肤感觉（触、压等）和深部知觉（筋、腱、关节的感觉）图 6.3.1－57 为人的振动感觉的实验曲线，以此作为防振设计的一个基准，认为图中 A 以下是理想的，C 以上是不允许的，A 与 C 之间尽可能避开。

用以评定振动感觉的参数有振动位移，振动速度和振动加速度。下面着重介绍 ISO2631 用振动加速度均方根值表示振动强度的评定方法。

振动加速度均方根值的意义如下式所示：

$$a_{rms}=\sqrt{\frac{1}{T}\int_{0}^{T}a_{t}^{2}dt}$$

式中：T——振动周期；

a_t——振动加速度。

对于简谐振动，若最大振幅为 a_{max}，则

$$arms=amax/\sqrt{2}$$

人对振动加速度的感觉范围大致从 1Gal（0.01m/s²）到 1000Gal（10m/s²）。为便于在宽广的范围内进行动态测量，常采用分贝标度。此时按下式定义振动加速度级

$$VAL=20\log10(a_{rms}/a_0) \qquad (6.3.1—22)$$

不过，直接用式（6.3.1－22）评定人的振动感觉是不妥当的。因为人的振动阈值（勉强感觉到振动时的振动加速度级值）随振动频率不同而异，而且振动方向不同感觉也有差别。图 6.3.1－58 是人的振动阈值曲线。从图中可见，垂直振动时人对 4～8Hz 的振动最敏感，水平振动时对于 1～2Hz 的振动最敏感；在 3Hz 以下时，水平振动容易感觉到，而在 3Hz 以上时，垂直振动容易感觉到。因此，为能恰如其分的表示人的振动感觉，须将式（6.3.1－22）的结果按照人的振动阈值特性进行修正，成为振动级，即

$$VL=VAL+C_n$$

式中：C_n——振动感觉修正值，可由表 6.3.1－11 查取。

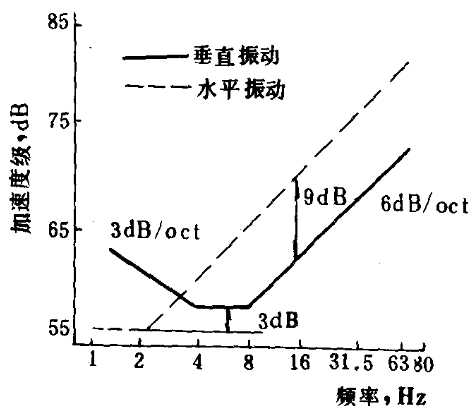


图 6.3.1－58　人体对振动的阈值曲线

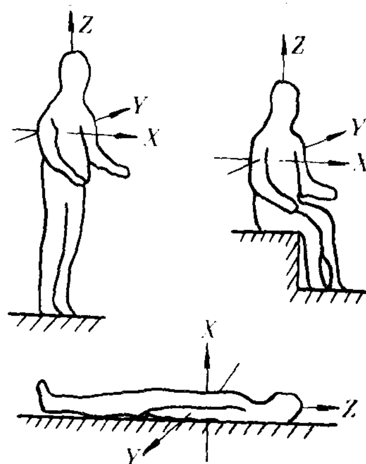


图 6.3.1－59　人体参考坐标轴

表 6.3.1－11

振动感觉修正值

频率 (Hz)		1	2	4	8	16	31.5	63	90
Cn (dB)	垂直振动	－6	－3	0	0	－6	－12	－18	－21
	水平振动	3	3	－3	－9	－15	－21	－27	－30

需要指出的是，上述 VAL 和 VL 虽都是用 dB 表示，但二者含义不同。前者是实际振级的

大小，后者则表示人对振动的感觉。在4～8Hz的垂直振动时二者相等。

8.5.2 全身振动的容许标准

各国标准不尽统一，这里介绍ISO2631(1974年)，它规定振动强度用加速度的有效值表示，单位是m/s^2；频率范围为1～80Hz；参考座标轴对于人体是固定的，如图6.3.1—59所示；对于人的健康保护，是限制人在振动环境中的暴露时间。

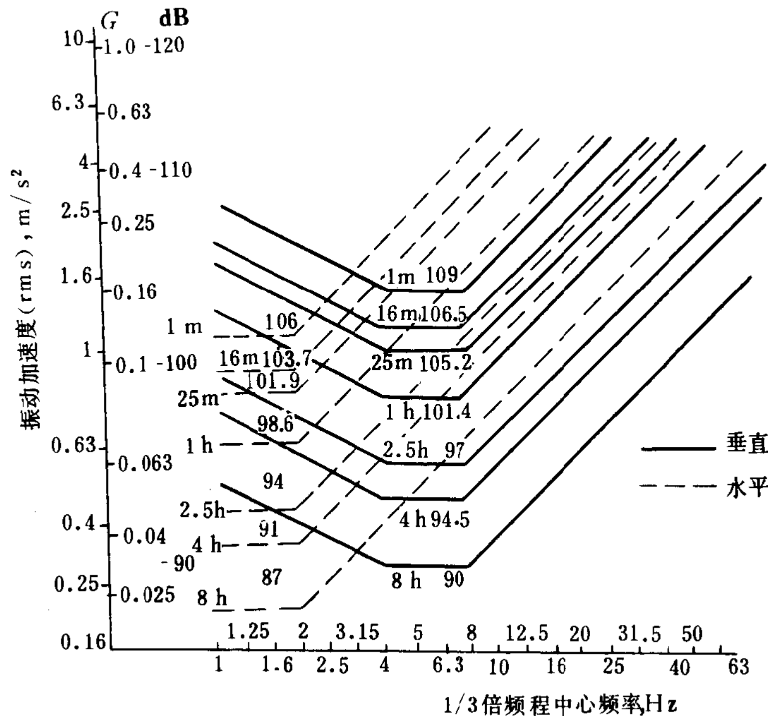


图6.3.1—60 等感觉曲线

图6.3.1—60的纵轴为振动加速度(rms)，横轴为1/3倍频程中心频率(Hz)。图中的一组等感曲线(对沿曲线变化的不同振级的振动，人的感觉是相同的)，每一根曲线表示一个容许暴露时间。图6.3.1—61则是表示振动加速度与暴露时间的关系，每根曲线为一1/3倍频程中心频率。两图形式不同，但所表示的标准完全一样。

ISO2631是从不舒感RC、工作效率降低FDP和耐久限EL三个方 面考虑作为评定基准的。图6.3.1—60、6.3.1—61是FDP曲线，超过此限则认为工作效率会降低；RC是失去舒适感的极限；EL则表示超过此限即不能保证人体健康安全，在无特殊防护的条件下，人体所受的 振动值不允许超过此限。三组曲线形状完全相同，只是基准不同，RC比FCP低10dB，EL比FDP高6dB。

应用上述标准评价环境振动，可按以下方法进行。振动测量时，作1/3倍频程频率分析，将所得结果与上述曲线比较。其中哪个频率分量的值所接近的许容曲线级值大，就按那个值来决定容许暴露时间。这样做是基于认为对于人的振动感觉，不同频率的振动互不影响。

因为等感曲线已经计及人的振动感觉特性的影响，所以若用具有振动感觉补偿电路的测振仪测量时，就只需测量总级值，将测量结果与图中曲线的平直部分比较，亦即对于垂直振动与5Hz的值，对于水平振动与1.6Hz的值进行比较。当振动方向不止一个的时候，各个方向分别求出，与相应的标准比较。

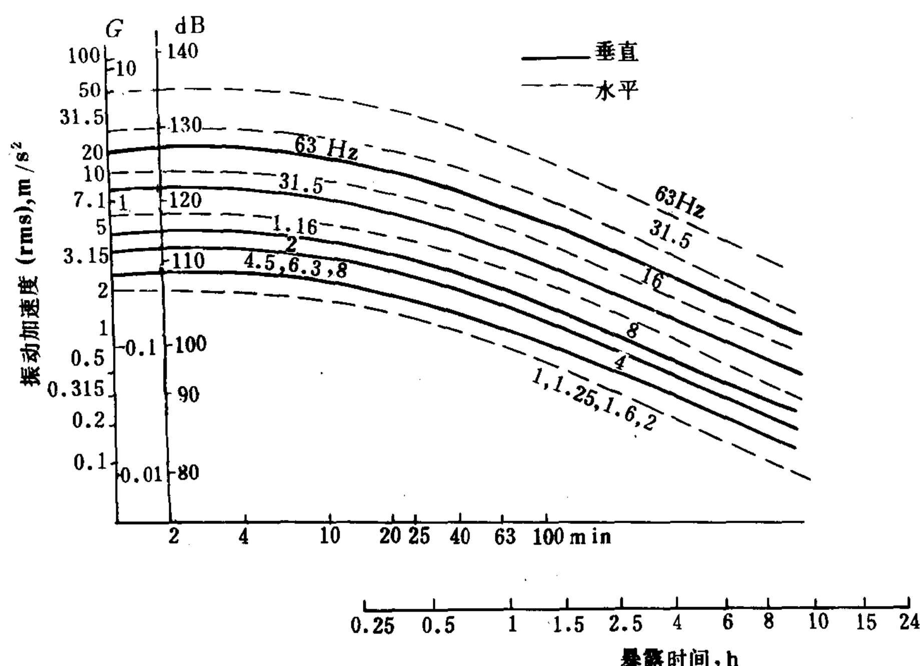


图 6.3.1—61　振动加速度与暴露时间的关系

关于振动持续时间问题，在振级不变的间歇振动情况下，将实际暴露时间相加即可；而对于振级变化的情形，则必须求等效暴露时间。换算公式为：

$$t_i' = T' \frac{t_i}{T_i}$$

式中：t_i ——是振级 A_i 的实际暴露时间；

T_i——是实际暴露振级 A_i 一天的许容暴露时间；

T'——是换算成振级 A'一天的许容暴露时间；

t_i'——是 A_i 换算至 A'的等效暴露时间。

例如，在 90dB 的振级下暴露 1n，$t_i = 1$，$T_I = 8$，若换算至 94.5dB 的振级，则 $T' = 4$，换算后的等效暴露时间

$$t_i' = 4 \times \frac{1}{8} = 0.5 \qquad (h)$$

A'可以是 A_i 中的任一个，A_I 要全部换算至 A'，然后将所求得的等效暴露时间 t_i' 相加，求总的等效暴露时间 T：

$$T = \Sigma t_i'$$

将所求得的 T 与 T'相比较，若 $T \leqslant T'$，则是许可的。

另外，关于 0.05～1Hz 的超低频全身振动，有人就正弦振动作过人的感觉实验，发现姿势的差异、振动方向的不同，几乎对人的感觉没有什么影响。手持式振动工具由于生产效率高、使用方便，应用非常广泛。从劳动卫生考虑，这种工具引起的手腕局部振动是个很值得注意的问题。有人对手腕部施加正弦振动进行实验，测试结果表明，垂直振动与水平振动的曲线形状完全相同。至于这两种振动如何评价，尚无统一意见。

8.5.3　船舶振动标准

自 1930 年泰勒提出第一个船舶振动标准以来，现在工业发达国家都有了船舶振动标准。$ISO/TC108/SC_2/WG_2$ 制定了"船体振动评价暂定基准线"，把人的感觉分为能承受、最小承受和不能承受三个区域，用振动加速度峰值评价，如图 6.3.1—62、图 6.3.1—63 所示。图中还给出中国海船、内河船体振动的衡准。

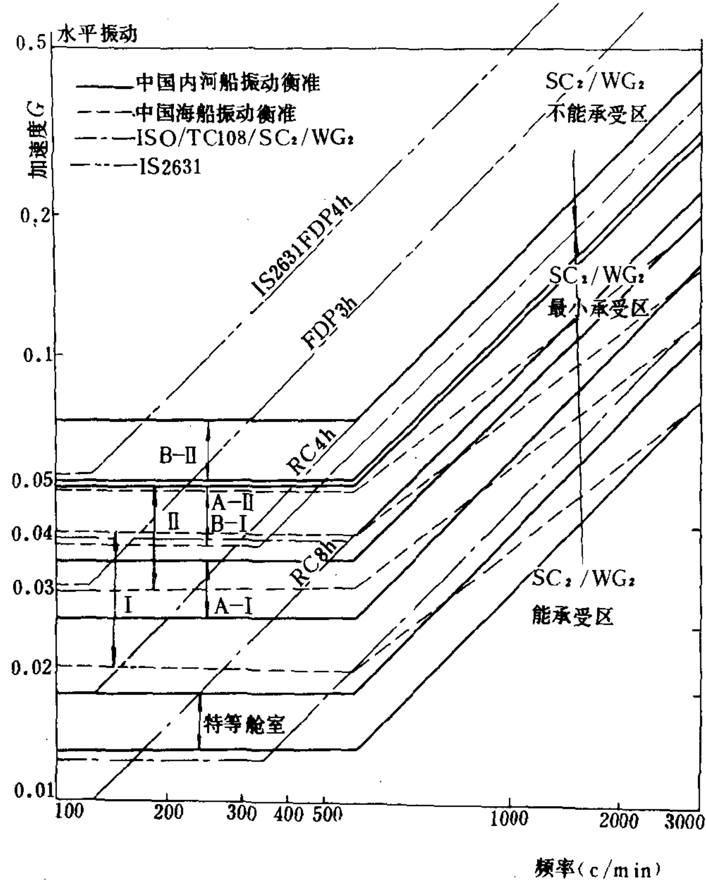


图 6.3.1—62 船体水平振动衡振

中国内河船舶体振动衡准把船舶分为 A、B 两类船型，每类船型又分为Ⅰ、Ⅱ类区。A 型船指一、二类客船及船长大于 60m 的油船、货船。B 型船指船长大于 30m 的其它机动钢质运输船舶。Ⅰ类区指居住舱室及驾驶室、报务室、医疗室等，Ⅱ类区指连续工作时间不超过 4h 的工作舱室及工作场所，如机舱、厨房等。对于垂直振动，除与图示曲线比较外，还可据下式判定：

$$a=\frac{1}{8}\varphi NK$$

式中：a ——振动加速度，半幅峰值；

φ——衡准系数，$\varphi<0.035$ 为良好，

$0.035\leqslant\varphi\leqslant0.047$ 为尚可

$\varphi>0.047$ 不允许；

N——振动频率，Hz，当 $N<8$ 时，取 $N=8$；

K——船型系数，对高级游艇及客船的特等舱取 $k=0.5$，其它则为：

	Ⅰ	Ⅱ
A	1.0	1.5
B	1.5	2.0

水平振动标准取垂向的 0.75 倍。

海船船体振动衡准与内河船大致相同，基准曲线如图所示。

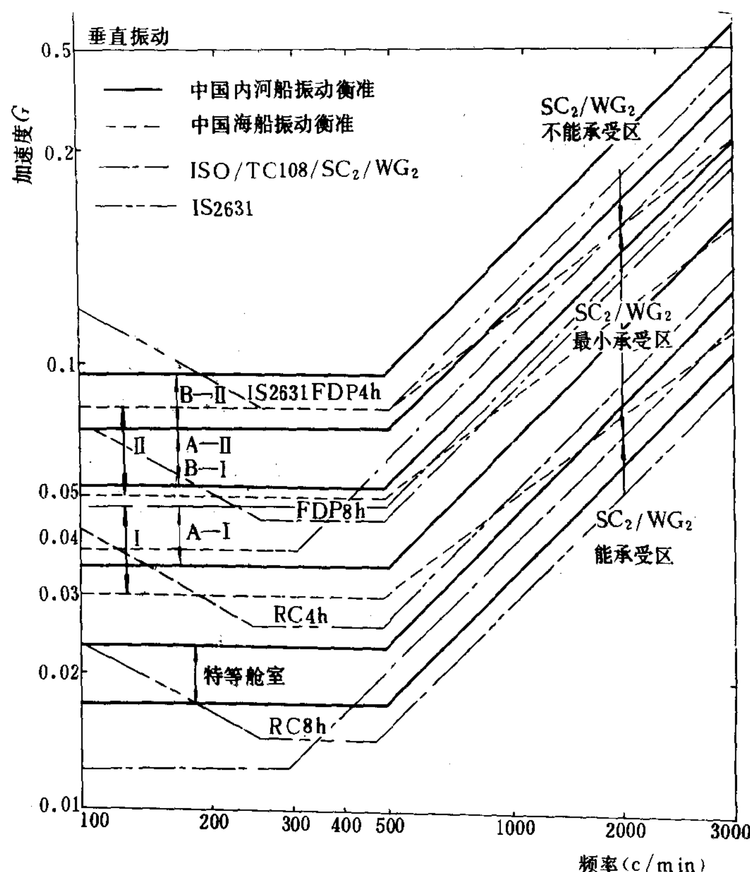


图 6.3.1—63　船体垂向振动衡准

8.6　实船振动测试

8.6.1　实船振动测试的任务

振动测量的目的：

1)测定振级，评定其是否符合国家有关标准。

2)寻找引起振动的主要根源，确定船体和机械设备的振形。

3)研究动力机械的平衡性，减少不平衡力的传递。

4)提供结构、基座、机身或构件的动力学特性(例如机械阻抗与导纳)，分析它们在各种振动、冲击负荷下的动响应。

5)验证设计计算方法(包括隔振、抗冲设计计算、隔振元件设计等)的可靠性和效果如何，并为改进设计提供依据。

6)为舰船机电设备、电子设备提供设计和实验的环境条件依据——设计谱和试验谱的资料。

7)近代振动测量与分析还越来越广地被用作产品质量检查和故障早期警报的手段。

通常的振动测试都是为着解决其中某一项或几项任务进行的。为了达到预期的目的，根据国家有关规范或标准，确定试验的具体内容和要求，拟订试验大纲，选择并校准测试仪表等项准备工作都是必要的。

具体试验方式可分为航行振动试验、系泊振动试验、激振试验、机械设备台架振动测试以及仪表设备的例行振动考核等。

8.6.2 测试大纲

在进行一项试验，特别是一条船的大规模测试之前，应该拟订测试大纲。制订确切而周密的测验大纲可以避免差错、遗漏、返工等不必要的麻烦。在上船测试前，先应作调查研究，熟悉有关的图纸资料、并向有关人员了解情况。在测试过程中还必须及时发现和总结问题。测试大纲在试验过程中修改或补充是常有的事。测试大纲应由试验单位、用船部门、设计单位、造船部门、检验部门等有关人员讨论认可后执行，并作为技术档案保存。

实船振动测试大纲通常考虑下列内容：

1)船舶概况，包括船舶形型式、主要尺寸、结构情况、用途、营运条件及拟定的试验试验航区等。

2)动力装置概况，包括动力装置的形式、主机的形式和数量、主要结构参数、转速、功率、轴数、螺旋桨主要参数等。

3)根据测试目的，确定测试的内容，拟定测试方案，绘制测点草图。测试方案中应开列船体、主机、副机和设备的测量部位与测点概况，完成测量必须的时间和航行条件，主机工况与对操舵的要求等。

4)测试仪表和测量系统。对于这一点在测试前特别要作仔细地考虑，以确保特别是在实船航行的恶劣条件下，人员往往晕船、体力消耗大，一般又不具备临时修理仪器条件的情况下准确、简便、可靠地进行测试。这当中保证测量的精度是最主要的，不保证准确的简便和可靠是无意义的。

8.6.3 航行振动试验

8.6.3.1 试验内容

船舶航行振动试验是获得包括船体、局部结构、动力装置、仪表和设备的振动数据，判断引起振动原因的主要途径。系统性的振动测量不仅可以成功地断定振源，而且可以给出在航行状态时所有的振动程度。分析所得的数据有助于确定进行修改或采取的补救措施。

属于航行振动试验范畴的项目有：

1)船体总振动的振幅、振型、频率和应力；

2)船体局部结构振动的振幅、振型、频率和应力；

3)波浪拍击产生的振动测量；

4)螺旋桨工作时产生的轴承力、表面力及其扰动频率测量；

5)主机(包括燃气轮机、蒸汽轮机和柴油机)的振动幅值、频率和振形测量；

6)轴系扭转振动幅值、频率、振型和应力的测量；

7)轴系横向振动幅值、频率、振型测量；

8)轴系纵向振动幅值、频率、振型测量；

9)齿轮传动机组的振动幅值、频率和振形测量；

10)发电机组的振动幅值、频率和振型；

11)辅机、船舶装置、管路和仪表设备的振动测量等等。

8.6.3.2 航行振动试验的条件

1)确定振级容许性的船舶航行振动测试应在水深不小于五倍船舶吃水深度的水域中作直线航行时完成。试验要求在三级以下海情的平静海面上进行，以避免风浪所产生的不利影响。

2)船舶应在尽可能接近正常连续航行时的排水量下进行试验。运输船振级测定应分别在船舶满载和压载两种装载状态下分别进行，其艉部吃水深度应使螺旋桨叶稍在无波水面下至少距水平 0.6m 以上。

3)预定在浅水中营运的船舶，除了在深水中进行测试外，还需在浅水中测试。

4)扫雷艇、拖船、渔船、破冰船等振级测定应包括自由航行和特定工况航行时的振动装置。

5)振级测定时，推进装置的工况应包括本船规定的从低速至全速各档营运转速及全速后退等工况。

6)在振级测量期间，操舵次数希望尽可能地减少，舵角应该限制在左舵或右舵二度以内。

7)为了查明船舶总体、局部结构、主副机仪表及设备强迫振动的原因和特性，应该从低速至全速分成许多档，每档转速稳定约 5min 后开始测量。通常取转速间隔为 10r/min，为了精确地确定共振频率和振幅，可在共振区前后增加 5r/min 的档子。总档数不得低于 10 至 15 档。在共振区测量时，转速稳定时间和测量时间都应尽可能缩短，以免不必要的损坏。

参 考 文 献

[1] GB3947—83 声学名词术语，中国标准出版社，1984 年

[2] 马大猷、沈嵘：声学手册，科学出版社，1983 年

[3] 蒋淦清：船舶噪声控制，人民交通出版社，1985 年

[4] GB5979—86 海洋船舶噪声级规定，中国标准出版社，1986 年

[5] GB5980—86 内河船舶噪声级规定，中国标准出版社，1986 年

[6] 车世光等：建筑声学手册，建筑工业出版社，1986 年

[7] W. L. Ghering：噪声控制手册，上海科技出版社，1982 年

[8] 赵松龄：噪声的降低与隔离(上)，同济大学出版社，1986 年

[9] M. Heckl, H. A. Müller："Taschenbuch der Technischen Akustik", 1975

[10] Helmut Schmidt："Schalltechnisches Taschenbuch"VDI—Verlag, 1976

[11] L. Cremer und M. Keckl："Körperschall physikalische Grundlagen und Technische Anwendungen", 1967

[12] J. W. E. Pettersen. J. Fr. Storm："Noise control in ships"NTNF—report B. o930. 4502. 1, NTNF1975

[13] И. И. Клюкин, И. И. Боголепов："Справоиник по судовой акустике", лениград цздателъство "судостроенце", 1978

[14] Э. А. Гомзиков, Г. Д. Пзak："Проеkтирование противошумового комплекса судов", Пениград"судостроение", 1981

[15] П. А. гпадких："Борььа с шумом И виърацией в судостроении", Д енинград "судостроение", 1971

[16] 船上有害振动的预防船舶指导性文件，人民交通出版社，1986 年

[17] 徐敏等：船舶动力机械的振动，冲击和测量，国防工业出版社，1981 年

第 2 章　船舶机械与设备的噪声控制

船上存在着对人们的工作和健康有危害的噪声称为船舶噪声污染，它包括船舶舱室噪声对船员和旅客的噪声污染和船舶噪声对周围环境的污染两大部分。本章仅讨论与船舶舱噪声污染有关的问题，而与舱室噪声有密切联系的振动控制技术可参看本篇的第 1 章——船舶机械与设备的振动控制。

1　常用名词术语[1]

1.1　一般声学术语

声学(acoustics)　研究声波的产生、传播、接收和效应的科学。

船舶声学(ship acoustics)　研究与船舶环境有关的声学问题的科学。它包括船舶舱室噪声控制和船舶噪声对周围环境污染评价与控制两大部分，其目的是创造符合人们听闻要求的环境。

简谐运动(simple harmonic motion)　以时间为正弦函数的运动。

振荡，振动(osciollation，vibration)　一个物理量在观测时间内不停地经过最大值和最小值而变化的过程。总的称为振荡，振动是指物理量代表一个机械系统运动参量时的振荡。振荡是一般术语，振动只用于机械系统(包括声学系统)。

激励、刺激(excitation，stimulus)　加于一个设备或系统以某种方式响应的外力(或其它输入)。激励是一般名称，作用于人身时称为刺激。

声(sound)　弹性媒质中传播的压力、应力、质点位移、质点速度等的变化或几种变化的综合。

波(wave)　媒质中传播的扰动，在媒质任意一点量度扰动的量都是时间的函数，而在同一时刻，任意一点的这个量都是它的位置的函数。任一与传播的扰动具有同样空间时间依赖关系的物理量在同一时刻的空间分布也称为波。

纵波(longitudinal wave)　媒质中质点沿传播方向运动的波。空气中的声波即为纵波。

横波(transverse wave)　媒质中的质点都垂直于传播方向而运动的波。水表面波即为横波。

自由行波(free wave)　在一个没有边界的均匀而各向同性的媒质中传播的波。

驻波(standing wave)　由于频率相同的同类自由行波互相干涉而形成的空间分布固定的周期波。驻波的特点是具有固定于空间的节和腹。

节(node)　驻波中某种声场特性基本为零的点、线或面。使用时必须用适当的词说明节的类别，如“声压节”，“位移节”，“质点速度节”等。某种声场特性最小但不是零时称为次节(partial node)。

腹(antinode，loop)　驻波中某种声场特性的幅值为最大的点、线或面。作用时须用适当的词说明腹的类别，如“声压腹”，“位移腹”“质点速度腹”等。

平面波(plane wave)　波阵面平行于与传播方向垂直的平面的波。

柱面波(cylindrical wave)　波阵面为同轴柱面的波。

球面波(spherical wave)　波阵面为同心球面的波。

弯曲波(bending wave flexural wave)　板或杆(梁)作弯曲运动而传播的横波。

切变波(Shear wave. rotational wave)　弹性媒质中使媒质各部分变形而体积不变的波。在板或棒中截面间只有上下切变,没有疏面变化

扭转波(torsional wave)　棒截面间的距离无疏密变化,而只有相互间的扭转,即弹性媒质中使媒质各部分相对扭转而体积不变的波。

波阵面(wave front)　行波在同一时刻相位相同各点的轨迹。

波长(wave length)　在声波传播的途径上,两相邻同相位质点之间的距离称为波长,符号为 λ,单位是 m。

频率(frequency)　单位时间内振荡的次数。符号为 f,单位是周/秒即 C/s,国际上称为赫兹(Hz)。

周期(period)　振荡一周所需的时间。符号为 T,单位为秒(s)。周期与频率互为倒数。

拍(beat)　由不同频率 f_1 和 f_2 的简谐量相加而形成的周期性变化。幅值按拍频 $|f_1-f_2|$ 周期性增减。

纯音(pure tone,simple tone,pure sound)　(1)具有单一音调的声觉。(2)瞬时值为一简单正弦式时间函数的声波。

声速(speed of sound,velocity of sound,sound velocity)　声波在媒质中传播的速度。

相速(phase velocity)　波上相位固定的一点沿传播方向的速度。

群速(group velocity)　一段波的包络上具有某种特性(例如幅值最大)的点的传播速度。群速是波群的能量传播速度。群速和相速只是在频散媒质中才有差别。

频散(dispersion)　声速随频率变化的现象。

简正下振动,简正波(normal mode of vibration)　无阻尼系统的一种自由振动方式,系统的任何复合运动一般可分解为简正振动的和,简正振动的频率是简正频率(normal frequency)。

固有频率(natural frequency)　系统自由振动时的频率,在多自由度系统中,固有频率是简正振动的频率。

基频(fundamental frequency)　(1)周期性振荡中与其周期相同的正弦式量的频率。(2)振动系统的最低固有频率。

频程(frequency interval)　两个声或其它信号的频率间的距离,它以高频与低频的频率比的对数来表示。此对数通常以 2 为底,单位称为倍频程(oct)。

倍频程(octave)　两个基频相比为 2 的声或其它信号间的频程。

谐波(harmonic)　周期性振荡中,频率等于基频的整数倍的正弦式量。例如,频率等于基频二倍的波称为二次谐波,三倍的称为三次谐波等。

衍射(diffraction)　由于媒质中有障碍物或其它不连续性而引起的波阵面畸变。

反射(reflection)　波阵面由两种媒质之间的表面返回的过程。向表面的入射角等于反射角。

折射(refraction)　因媒质中声速的空间变化而引起的声传播方向改变的过程。

干涉(interference)　频率相同或相近的声波相加时所得的现象,特点是某种特性的幅值与原有声波相比较具有不同的空间和时间分布。

散射(scattering)　声波朝许多方向的不规则反射，折射或衍射。

静压(static pressure)　没有声波存在时，媒质中的压力。

声压(sound pressure)　有声波时，媒质中的压力与静压的差值。一般使用时，声压是有效声压的简称。符号为 p，单位是牛顿/米^2(N/m^2)或帕斯卡(P_a)或微巴(μbar)。

有效声压(effective sound pressure)　在一段时间内瞬时声压的均方根值，这段时间应为周期的整数倍或长到不影响计算结果的程度。

瞬时声压(instantaneous sound pressure)　在某点的瞬时声压等于在该点的瞬时总压力减去静压力。

体积速度(volume velocity)　声波在一指定表面上产生的每单位时间的交变流量。符号为 U，其表达式为 $U=\int_s u_n ds$，式中的 u_n 为质点速度在表面 ds 法线方向的分量，面积分在有声波通过的表面 s 上进行。一般使用时是指有效值。

声源强度(strength of a sound source)　简单声源发出正弦式波时的最大体积速度。简单声源是指尺度甚小于波长的声源。

声强(sound intensity，sound energy flux density，sound power density)　在某一点上，一个与指定方向垂直的单位面积上在单位时间内通过的平均声能。符号为 I，单位为瓦/米^2(W/m^2)。声场在指定方向 n 的声强等于在垂直于该方向的单位面积上的平均声能通量。声波为纵波时，声强的表示式为。$I_n=\frac{1}{T}\int_0^T pu_n dt$，式中 p 为瞬时声压，$p_a$；$u_n$ 为瞬时质点速度在方向 n 的分量，m/s；T 为周期的整数倍，或长得不影响计算结果的时间 S。在自由平面波或球面波的情况，在传播方向的声强是 $I_0=p^2/\rho_0 C$，式中 p 是有效声压，p_a，ρ_0 是媒质密度，kg/m^3；C 是声速，m/s。

质点速度(particle velocity)　媒质中某一尺度甚小于波长而甚大于分子尺度的质点，因声波通过而引起的相对于整个媒质的振动速度。如不加说明，一般指有效值(均方根值)。

声能通量(sound energy flux)　单位时间内通过某一面积的声能，单位为瓦(W)。

声功率(sound power of a source)　声功率是声源在单位时间内发射出的总能量，符号为 W，单位为瓦(W)。声源声功率或指在全部可听频率范围所辐射的功率，或指在某个有限频率范围所辐射的功率(通常称为频带声功率)。

级(level)　在声学中一个量与同类基准量(refe－rence quentity)之比的对数。对数的底、基准量和级的类别应加注明。级的类别用名称表示，如声压级，声强级和声功率级等。

分贝〔(decibel(dB)〕　声学计量中一种级的单位，是贝尔(bel)的十分之一。

声压级(sound pressure level)　声压(p)与基准声压(p_0)之比，取 10 为底的对数乘以 20 即为声压级，符号为 L_p，单位是 dB，即

$$L_P=20\lg\frac{p}{p_0}$$

基准声压 $p_0=2\times10^{-5}Pa$。

声强级(sound intensity level)　声强(I)与基准声强(I_0)之比，取 10 为底的对数值乘以 10 即为声强级，符号为 L_I，单位是 dB。即

$$L_I=10\lg\frac{I}{I_0}$$

基准声强 $I_0=10^{-12}W/m^2$。

声功率级(sound power level)　声功率(W)与基准声功率(W_0)之比,取10为底的对数乘以10即为声功率级,符号为L_W,单位是dB,即

$$L_W = 10\lg \frac{W}{W_0}$$

基准声功率 $w_o = 10^{-12}W$。

声级(sound level)　用一定的仪表特性和A,B,C,计权特性测得的计权声压级。所有计权声级必须说明,否则指A声级。A,B,C计权特性分别是40、70、100方等响线的反曲线,计权特性用声级前的字母或用读数后的字样表示,如A声级65dB或65dBA等。计权的目的是为了测量的声级大小能符合人耳的听觉特性。

噪声级(noise level)　(1)噪声的级。其种类必须加定语或由上下文说明,所测的物理量(如电压)、基准量、所用仪器和频带宽度或其它计权均应指明。(2)在空气中即声级。计权应指明,否则指A声级。

频带声压级(band sound pressure level)　指有限频带内的声压级。基准声压和频带宽度必须指明。常用基准声压为2×10^{-5}Pa如频带宽度为1倍频程时称为倍频带声压级(octave band sound pressure level)。

频带声功率级(band sound power level)　指有限频带内的声功率级,基准声功率和频带宽度必须说明。常用基准声功率为10^{-12}W。

阻抗(impedance)　一个拟力的量(如力、力矩、声压、电压、温度、电场强度等)和它所产生的拟速度的量(如速度、体积速度、角速度、电流、热流、磁场强度等)的复数比值。这个术语及与其相关的术语只适用稳态下单频率的量。这些量可用时间的复指数函数表示。在复数比值中,含有时间的因数互相消掉,只剩下与时间无关的复数,表示拟力的量与拟速度的量之间的数量关系和相位关系。严格地讲,阻抗这概念应满足上述限制。在习惯上有时把阻抗这概念引伸到非正弦或非线性系统中,当这样使用时应加说明。阻抗的倒数是导纳。

力阻抗(mechanical impedance)　力与速度的复数比值。力阻抗的实分量是力阻,虚分量是力抗。

转动阻抗(rotational impedance)　力矩与角速度(或相对角速度)的复数比值。

转移阻抗(transfer impedance)　一点上外加拟力的量与在另一点所得拟速度的量的复数比。

驱点阻抗(driving－point impedance)　一点上所加拟力的量与该量所得拟速度的量的复数比值。

声阻抗(acoustic impedance)　媒质在波阵面的一定面积上的声压与通过这个面积的体积速度的复数比值。声阻抗可以用力阻抗表示:等于力阻抗除以有关面积的平方。

声阻抗率(specific acoustic impedance)(unit area acoustic impedance)　媒质里某一点的声压与质点速度的复数比值,其实数部分是声阻率(specific acoustic resistance),虚数部分是声抗率(specific acoustic reactance)。

特性阻抗(characteristic impedance,intrinsic impedance)　平面自由行波在媒质中某一点的有效声压与通过该点的有效质点速度的比值。特性阻抗等于媒质的密度与声速的乘积。

可听声(audible sound)　(1)引起听觉的声波。(2)声波引起的听觉。可听声的频率范围大致为20Hz至20kHz。

响度(loudness)　听觉判断声音强弱的属性。根据它可以把声音排成由轻到响的序列。响

度的单位是宋(sone)。响度主要依赖于引起听觉的声压，但也与声音的频率和波形有关。

宋(sone)　宋是响度的单位。频率为1000Hz，声压级为听者听阈以上40dB的一个纯音所产生的响度是1宋。任何一个声音的响度如果被听者判断为1宋响度的n倍，这个声音的响度就是n宋。

听阈，检测阈(threshold of audibility，threshold of detectability)　某信号能在多次试验的一定百分数中引起听觉的最低声压。信号的特性，它到达听者的方式以及测量声压的地点都必须说明。听阈一般用相对于$2\times10^{-5}P_a$的分贝数表示。

响度级(loudness level)　等于根据听力正常的听音判断为等响的1000Hz纯音(来自正前方的平面行波)的声压级。响度级的单位为方(phon)。响度级为40方时，响度为1宋。响度级每增加10方，响度增加一倍，即40方为1宋，50方为2宋，60方为4宋，70方为8宋，……。

方(phon)　方是响度级的单位。见响度级。

等响曲线(equal－loudness contour)　典型听者认为响度相同的纯音的声压级与频率关系的曲线。它反映人耳对各频率的灵敏度。

1.2 室内声学

混响(reverberation)　(1)声源停止后，声音由于多次反射或散射而延续的现象。(2)声源停止后，由于多次反射或散射而延续的声音。

混响〔稳态〕声，漫射声(reverberation steady－staty sound)　房间内在稳态时所有一次和多次反射声相加的结果。

混响时间(reverberation time)　声音已达到稳定后停止声源，平均声能密度自原始值衰变到其百万分之一(60dB)所需要的时间。测量时，常用开始一段声压级衰变5dB至35dB的情况外推到60dB衰变所需的时间。

声能密度(sound energy density)　在某点一尺度甚小于波长而甚大于分子尺度的小体积中的声能用这个体积来除所得的商。单位为焦每立方米，J/m^3 使用时，一般指有效值。在某点的平均声能密度等于

$$D=p^2/\rho_0c^2$$

式中：p ——声压(有效值)，Pa；

ρ_0 ——媒质密度，kg/m^3；

C ——声速，m/s。

声场(sound field)　媒质中有声波存在的区域，或是有声波存在的空间。

直达声(direct sound)　自声源未经反射直接传到接收点的声音。

自由场(free (sound) field)　(1)均匀各向同性的媒质中，边界影响可以不计时的声场。(2)只有直达声而没有反射声或反射声可以忽略的声场。在自由场中声强的变化与距离的平方成反比。

近场(near field)　自由声场中，声源附近瞬时声压与瞬时质点速度不同相的声场。在近场内声压级与距离没有简单的关系。

远场(far field)　自由声场中，离声源远处瞬时声压与瞬时质点速度同相的声场。当声源为点声源时，远场中从声源的距离每增加一倍，声压级衰减6dB。

扩散场(diffuse field)　能量密度均匀，在各个传播方向作无规分布的声场。在扩散场中，任何一点所接收到的各个方向的声能是相等的。

半消声场(semianechoic field) 有一个反射面的自由场,亦称半自由场。

扩散场距离(diffuse field distance) 在有混响的房间内,各方向的平均的均方直达声压与均方混响声压相等的点到声源的声中心的距离。扩散场距离亦称为混响半径。

平均自由程(mean free path) 室内声音在两次反射间经过距离的平均值。

无规入射(random incedence) 大量入射波其大小和方向均作无规分布时的情况。

房间常数(room constant) 房间内总吸声量以1减去平均吸声系数来除所得的商,符号为R。它表征房间的静寂程度,房间常数越大房间越静寂。房间常数公式是。

$$R=\alpha s/(1-\alpha)$$

式中:R——房间常数,m^2;

α——平均吸声系数;

s——房间表面积,m^2。

吸收(absorption) (1)当声波通过媒质,或射到媒质表面上时,声能减少的过程。(2)当声波经过一种介质时,将声能转换为其它能量的一种现象。

吸声系数(sound absorption coefficient) 入射声能被材料表面或媒质吸收的百分数。

声反射系数(sound reflection coefficient) 自界面反射到入射方向的声能通量与入射声能通量之比。一般其测量条件和频率应加以说明。

声透射系数,传声系数(sound transmission coefficient) 在给定频率和条件下,经过分界面(墙或间壁等)的透射声能通量与入射声能通量之比。一般指两个扩散声场间的声能传输,否则应具体说明测量条件。

等效吸声面积、吸声量(equivalent absorption area) 一个表面的等效吸声面积等于它的面积乘以吸声系数,单位为平方米(m^2)。

房间吸声量(room absorbtion) 房间内各表面和物体的总吸声量加上房间内媒质中的损耗。后者等于4mV m是空气中的声衰减系数,V是房间体积。

吸声材料(sound absorption material) (1)相对地具有较大吸声能力的材料,通常平均吸声系数超过0.2以上的材料称为吸声材料,平均吸声系数是125、250、500、1000、2000、4000Hz的吸声系数的算术平均值。(2)由于材料的多孔性,薄膜作用或共振作用,而对入射声能具有吸收作用的材料。

多孔吸声材料(porous absorbing material) 内部有很多与大气相通的微孔和通道,对气体或流体流过时给予阻尼的材料。由于空气在材料微孔中的粘滞、热传导与驰豫现象,使声能转换为热能。常用的多孔吸声材料有玻璃棉、矿棉、岩棉和泡沫塑料等。

流阻(稳态流阻)(flow resistance,D. C. flow resistance) 在稳定气流状态下,吸声材料中压力梯度与气流线速度的比,单位是帕秒每米,PaS/m。

孔隙率(porosity) 多孔性吸声材料内部空隙体积与材料所占的总体积之比。常用百分数表示。

微穿孔板吸声结构(microperforate absorber) 装置在刚性墙前一定距离处的穿孔板可以看作无限多个共振器系统。如将穿孔板的孔径缩小到丝米级,就可以获得需要的流阻,不需另加多孔材料就可构成微穿孔板吸声结构。它的优点是结构简单,吸声特性可以预计。微穿孔板大多数为金属薄板制成,因此不怕气流、水、温度、湿度等的浸蚀,适用于特殊环境。

空间吸声体(functional absorber) 悬挂在室内空间专为吸声目的而制成的物体,它的吸声系数往往大于1。

空气声(air—borne sound) 建筑中经过空气传播而来的噪声。

固体声、结构声(solid—borne sound,structure—borneenoise) 建筑中经过建筑结构传播而来的机械振动引起的噪声。

撞击声(impact sound) 在建筑结构上或机械结构上撞击而引起的噪声。柴油机排气伐落座时的声音即为撞击声。

隔声量、传声损失(transmission loss sound reduction index,noise insulation factor) 墙或间壁一面的入射声能与另一面的透射声能相差的分贝数。隔声量等于传声系数的倒数取以10为底的对数再乘以10。

质量定律(mass —law) 决定墙或间壁隔声量的基本定律,可表述如下:墙或间壁的隔声量与它的面密度以10为底的对数成正比。面密度指墙或间壁的单位面积的质量。

吻合效应(coincidence effect) 当声波斜入射到墙上时,墙壁的受迫弯曲波速度与自由弯曲波速度相吻合时的效应。此时,墙就失去了传声的阻力。吻合效应与共振有本质的差别。满足吻合效应的最低频率称为临界吻合频率。构件的临界吻合频率越低,对其隔声越不利。因此,在设计中应尽量提高构件的临界吻合频率。

侧向传声(flanking transmission) 空气声自声源室不经过共同墙壁而传到接收室的情况。

标准化声级差(normalized standard sound pressure level difference) 相应于接收室内某一混响时间基准值(0.5秒)的声压级差。

声桥(sound bridge) 在双层或多层隔声结构中两层间的刚性连接物,声能以振动的形式通过它在两层间传播。因此,结构中存在声桥时将降低其隔声能力。

声锁(sound lock) 声吸收能力大的小室或走廊,其用途是使室的两边可以相通但声耦合很小,从而提高两个分隔室间的隔声能力。

声耦合(acustic coupling) 两室间的声耦合是指两室声学上相通可以交换声能的情况。

声影区(sound shadow region) (1)由于障碍物或折射关系,声线不能到达的区域。(2)在声传播途径中遇到一定尺寸的屏障或建筑物时,将在屏障或建筑物的另一面产生一声能显著减弱的区域,从而达到降低噪声的目的。

声线(sound ray) 自声源发出,代表能量传播方向的曲线。声的波动性质不计。在各向同性的媒质中,声线就是代表波的传播方向,处处与波阵面垂直的曲线。

浮筑楼板(floating floor) 将楼板面层与结构层和四周墙壁之间铺放弹性垫层,如软木、橡胶或玻璃棉毡等,以隔绝撞击声的楼板构造。

1.3 噪声控制

噪声(noise) (1)紊乱、断续或统计上随机的声振荡。(2)不需要的声音。

无规噪声(random noise) 瞬时值不能预先确定的声振荡。无规噪声的瞬时值对时间的分布只服从一定统计分布规律。无规噪声不一定是白噪声。

环境噪声(ambient noise,environmental noise) 在某一环境下总的噪声,常是由多个不同位置的声源产生的。

背景噪声(background noise) 在发生、检查、测量或记录的系统中与信号存在与否无关的一切干扰。

平均声(压)级(average sound pressure level,mean sound pressure level) 某一声的声压

平方的空间或(和)时间的平均值与基准声压(20μPa)的平方之比的以 10 为底的对数乘以 10。对时间平均的方式应同时指明。

A(计权)声级(A—weighted sound pressure level) 用 A 计权网络测得的声压级。

等效连续 A 声级(equivalent continuous A—weighted sound level) 在规定的时间内某一连续稳态声的 A(计权)声压具有与时间变化的噪声相同的均方 A(计权)声压,则这一连续稳态声的声级就是此时间变化噪声的等效声级。其计算式为

$$L_{Aeq}T = 10\lg\left[\frac{1}{t_2 - t_1}\int_{t_1}^{t_2}\frac{p_A^2(t)}{p_0^2}dt\right]dBA$$

式中:$L_{Aeg}T$ ——等效声级,dBA;

$t_2 - t_1$ ——规定的时间间隔,S;

$p_A(t)$ ——噪声讯号瞬时 A(计权)声压,Pa;

p_0 ——基准声压(=20μPa)。

再声噪声(regenerated noise) 由于气流(或液体)在管道或消声器中流动,产生摩擦而发土的噪声。再生噪声的大小与气流(或流体)的速度、摩擦阻力等有关。

消声器(muffler,silencer) 具有吸声衬里或特殊形状的气流管道,可有效地降低气流中的噪声。消声器基本上是一种滤波器,特性是频率的函数。

自然衰减(natural attenuation) 在整个通风系统中未插入消声器前,系统对风机噪声的衰减。在设计消声器时消声器需要的消声量应减去这一自然衰减。

插入损失(insertion loss) 房间或设备采取减噪措施前后同一点声压级的变化。

振动速度级(vibration velocity level) 已知振动速度与参考速度的比值取其以 10 为底的对数乘以 20,用分贝表示。

振动加速度级(vibration acceleration level) 振动加速度值与参考加速度值的比值取其以 10 为底的对数乘以 20,用分贝表示。

1.4 测量仪器与方法

声学测量(acoustical measurement) 研究声学量的测量技术的科学。在船舶声学测量中,包括舱室吸声系数、混响时间、声场分布、构件隔声量和噪声分析及声源识别等方面的测量。

啭音(warble tone) 频率作正弦式调制的纯音。常用在混响时间测量中,作为测试信号,它可以减少驻波的干扰。

传声器(microphone) 将声信号转换为相应电信号的电声换能器。

白噪声(white noise) 用固定频带宽度测量时,频谱连续并且均匀的噪声。无规噪声不一定是白噪声。

粉红噪声(pink noise) 用正比于频率的频带宽度测量时,频谱连续并且均匀的噪声。

指向性因数(directivity factor) 声源在它主轴上远处一点上某频率的声压平方,与通过这个点和声源同心球面上同一频率的声压平方的平均值的比值。

频程(interval) 两个声音的音调或频率的距离。频程用频率比或其对数表示。

倍频程(octave) 两个声音之间的频率间隔,它们的基频比例为 2,即 $f_2/f_1=2$。

频谱(frequency spectrum) 在噪声控制中测试声源特性时,除了要知道声源在某一点的声压级外,还需要知道一定频率范围(63—8000H_z 或 125—4000H_z)的各个频带的声压级,这

种由各个频带范围(横坐标)与其相应的频带声压级(纵坐标)所组成的图形,称为声源的频谱。

线谱(line spectrum) 由一些离散频率成分形成的谱。

连续谱(continuous spectrum) 在一定频率范围内含有连续频率成分的谱。

计权网络(weighted network) 在声级计中用一定的仪表特性对通频带的声压级进行计权的网络。所用计权特性必须说明,否则即指 A 声级。A,B,C 的计权特性分别近似于 40、70、100 方等响曲线的倒置曲线。

标准声源(refrence sound source) 它有一恒定的宽频带声功率输出,不受周围环境的影响。可用作测定房间的混响时间,声场分布,但主要是用比较法测定未知声源的声功率。

活塞发生器(pistonphone) 一个小腔,其中具有振动频率和幅值已知的往复泵,在腔中可产生已知的声压。

声级计(噪声计)(sound level meter) 预加校准的,包括传声器、放大器、衰减器、适当计权网络和具有规定动态特性的指示仪表的仪器,用以测量噪声的声级。如输入端接拾振器,则成为振动计。

声分析仪(sound analyzer) 包括滤波器系统和用以读出通过滤波器系统的相对信号能量的指示仪表的设备,用以求得所加信号的能量对频率的分布。分析速度较一般大为加快的系统称为实时分析仪。

声级记录仪(lever recorder) 自动记录声级变化的仪器。

2 声学资料与计量[2],[3],[4],[5]

2.1 声学单位

声学单位是以国际单位制(SI)为基础的,现用单位列于表 6.3.2—1 中。

表 6.3.2—1 **声学单位**(取自 GB3102.7—82)

量	符号	单位名称	符号	公式
声压	p	帕〔斯卡〕	Pa	Nm^{-2}
力	F	牛〔顿〕	N	$kgms^{-2}$
质点速度	u	米每秒		ms^{-1}
〔振动〕位移	d	米	m	
〔振动〕速度	v	米每秒		ms^{-1}
〔振动〕加速度	a	米每二次方秒		ms^{-2}
声强〔度〕	I	瓦每平方米		Wm^{-2}
声能通量	Φ	瓦〔特〕	W	Js^{-1}
声源功率	W、P	瓦〔特〕	W	Js^{-1}
声能		焦〔耳〕	J	Nm
声能密度	D,W	焦〔耳〕每立方米	J	Jm^{-3}
声阻抗	Z_a	帕〔斯卡〕秒每三次方米		$Pa \cdot sm^{-3}$
力阻抗	Z_m	牛〔顿〕秒每米		Nsm^{-1}
声压级 声功率级 声强级	Lw(Lp) L_I	分贝	dB	
隔声量,传声损失	R	分贝	dB	
吸声量	A	平方米		m^2
响度级	L_N	方	(phon)	
响度	n	宋	sone	
音程		八度	oct	

2.2 主要声学量的级和基准值

在声学中，一个量的级的定义是这个量与同类基准值的比的对数。对数的底，基准值和级的类别必须说明。

级的类别通常在前面加词冠来说明，如声压级，声功率级等。

贝〔耳〕是级的单位，对数的底为 10，量与功率成正比。分贝是贝〔耳〕的十分之一，符号是 dB。

声压、功率、强度等的基准值已在国际上通用。采用这些基准值主要是使常遇到的量的级不致太大，也不致太小，大约是几十或一百几十分贝的范围，使用比较方便。表 6.3.2—2 为主要声学量的级和基准值。

表 6.3.2—2 主要声学量的级和基准值 (ISO1DIS1683.2，GB3238－82)

名称	定义	基准值
声压级(气体中)	$L_p=20\lg(p/p_0)$	$p_0=20\mu Pa$
振动加速度级	$L_a=20\lg(a/a_0)$	$a_0=1\mu ms^{-2}$
振动速度级	$L_v=20\lg(v/v_0)$	$v_0=1nms^{-1}$
振动位移级	$L_d=20\lg(d/d_0)$	$d_0=1pm$
力级	$L_F=20\lg(F/Fl)$	$F_0=1\mu N$
功率级	$L_w=10\lg(w/w_0)$	$w_0=1pW$
强度级	$L_I=10\lg(I/I_0)$	$I_0=1pWm^{-2}$
能量密度级	$L_D=10\lg(D/D_0)$	$D_0=1pJm^{-3}$
能量级	$L_E=10\lg(E/E_0)$	$E_0=1pJ$

2.3 声学常数

表 6.3.2—3 和表 6.3.2—4 列出了一些材料的声学常数。表 6.3.2—5 为一些材料的损耗因子。

表 6.3.2－3 某些船用材料的声学常数

材料	杨氏弹性模量 $E\times10^9N/m^2$	切变弹性模量 $G\times10^{10}N/m^2$	密度 $\rho\times10^3$ kg/m³	泊杉比 δ	纵波速度 $C_e\times10^3m/s$	横波速度 $C_S\times10^3m/s$	棒中的纵波速度 $C_{L1}\times10^3m/s$	板中的纵波速度 $C_{L2}\times10^3m/s$
钢	210	8.14	7.8	0.29	5.94	3.22	5.2	5.4
铝合金	72	2.77	2.8	0.3	5.87	3.14	5.1	5.3
玻璃钢	21	0.955	1.7	0.1	3.55	2.36	3.5	3.54
胶合板	3.4	—	0.8	—	—	—	—	—
木质纤维板	3	—	1	0.17	—	—	—	—
硬橡胶	2.3	0.10	1.1	0.4	—	—	1.4	2.4
软橡胶	0.005	—	0.95	0.5	—	—	0.07	1.05
有机玻璃	0.04	0.14	1.2	0.4	—	—	5.4	5.7

表 6.3.2-4 **水、空气的声学常数**

名称	温度(℃) t	密度 ρ_0 kg/m³	容积弹性模量 $B_T\times10^9N/m^2$	比热比 γ	声速 $C\times10^3m/s$	特性阻抗 $\rho_0C\times10^6kg/m^2s$	粘性系数 η NS/m²
淡水	20	998	2.18	1.004	1.481	1.48	0.001
海水	13	1026	2.28	1.01	1.500	1.54	0.001
空气	20	1.293		1.402	0.3316	428	0.000017
空气	20	1.21		1.402	0.343	415	0.0000181

表 6.3.2-5 **结构材料在小振幅、室温和声频范围内的典型损耗因子**

材料		损耗因子 η	材料	损耗因子 η
铝		10^{-4}	铅	$0.5\sim2\times10^{-3}$
黄铜、青铜		$\angle10^{-3}$	锌	3×10^{-4}
混凝土	轻质	1.5×10^{-2}	锡	2×10^{-3}
	多孔	1.5×10^{-2}	钢、铁	$1\sim6\times10^{-4}$
	重混凝土	$1\sim5\times10^{-2}$	有机玻璃	$2\sim4\times10^{-2}$
紫铜		2×10^{-3}	胶合板	$1\times1.3\times10^{-2}$
软木		0.13~0.17	橡木枞木	$0.8\sim1\times10^{-2}$
玻璃		$0.6\sim2\times10^{-2}$	木质纤维板	$1\sim3\times10^{-2}$

2.4 声压级、声强级和声功率级

2.4.1 声压与声压级

声压和有效声压的定义见名词术语一节。一般使用时，声压是有效声压的简称。有效声压的计算式为：

$$p=\sqrt{\frac{1}{T}\int_{0}^{T}p^{2}(t)dt}\qquad Pa \tag{6.3.2—1}$$

式中：P(t)——瞬时声压；

T——取平均的时间间隔，在周期声压时，T取一个或几个（正整数）周期；对非周期性声压，T应取足够长，使间隔长度的微小变化不影响测量结果。一般用电子仪器表头表示的声压即为有效声压。

声压级的定义式为

$$L_p=10\lg\frac{p^2}{p_0{}^2}=20\lg\frac{p}{p_0}\qquad dB \tag{6.3.2—2}$$

式中：p_0——基准声压，对于空气声，等于20μPa；

p——有效声压，Pa。

2.4.2 声强与声强级

声强的定义见名词术语一节。声强的计算式为：

$$I=\frac{\overline{W}}{s}\qquad W/m^2 \tag{6.3.2—3}$$

式中：$\overline{w}$——平均声能量，W；

S——垂直于声传播方向的面积，m^2。

在自由声场中，点声源发出的球面波均匀地向四周辐射声能，因此，距声源中心 r 米的球面上的声强为：

$$I=\frac{w}{4\pi r^2} \quad W/m^2 \qquad (6\cdot3\cdot2—4)$$

式中：w——声源的声功率，W。

声强还可以用单位时间内单位面积的声波向前进方向毗邻媒质所作的功来表示，因此，在指定方向 n 上的声强也可写为：

$$I=\frac{1}{T}\int_0^T p(t)u_n dt \quad W/m^2 \qquad (6.3.2—5)$$

式中： T ——周期的整数倍或比周期大得多的时间；

$p(t)$——瞬时声压；

u_n ——瞬时质点速度在方向 n 上的分量。

在自由平面波或球面波的情况下，声强表达式可写为：

$$I=\frac{p^2}{\rho c} \quad W/m^2 \qquad (6.3.2—6)$$

式中： p——有效声压，Pa；

ρ——媒质密度，kg/m^3；

c——声速，m/s。

声强级的定义式为：

$$L_I=10\lg\frac{I}{I_0} \quad dB \qquad (6.3.2—7)$$

式中：I_0 为基准声强，在空气中规定为 $10^{-12}W/m^2$ 或 1pW。它相应于人耳对 1000Hz 声音的可听阈声强，其相应的声强级为零 dB。

2.4.3 声功率与声功率级

声功率的定义见名词术语一节。声功率的表达式为：

$$W=I_{av}\cdot S \quad W \qquad (6.3.2—8)$$

式中：I_{av}——总表面积 S 上的平均声强。

在远场，声强可以通过测量有效声压来求出，求出声强后，由相应的包围声源的某一假想表面的面积，就可求出声源的声功率。

声功率级的定义式为：

$$L_w=10\lg\frac{W}{W_0} \quad dB \qquad (6.3.2—9)$$

式中：W_0——基准声功率，10^{-12}W.

2.4.4 声强级和声压级、声功率级的关系

1)声强级与声功率级的关系

声强与声功率的关系由式(4.3.2—8)给出：

$$W=I_{av}.S$$

基准声功率 W。$=I_0.S_0$，S_0 为基准面积，取为 $1m^2$。因此，声强级与声功率级的关系为：

$$L_w=L_I+10\lg S \quad dB \qquad (6.3.2—10)$$

当面积 S 取 $1m^2$ 时，则 $L_w = L_I$。

2)声强级与声压级的关系

在远场，声强与声压的关系由式(6.3.2—6)给出：

$$I = \frac{p^2}{\rho c}$$

因此，由声强级及声压级定义得：

$$L_I = L_p - C_1 \quad dB \qquad (6.3.2-11)$$

式中：

$$C_1 = 10\lg\frac{\rho c}{400} \quad dB \qquad (6.3.2-12)$$

因此，当空气特性阻抗 $\rho c = 400kgm^{-2}s^{-1}$ 时，$C_1 = 0$，$L_I = L_p$；在标准条件下(气温 22℃，大气压为 750mmHg)时，$C_1 = 0.13dB$。这个数值不大，对于自由传播声波可以认为声强级等于声压级。但当温度和大气压离开标准条件较远时，可用式(6.3.2—11)来求声强级。系数 C_1 值可查图 6.3.2—1。

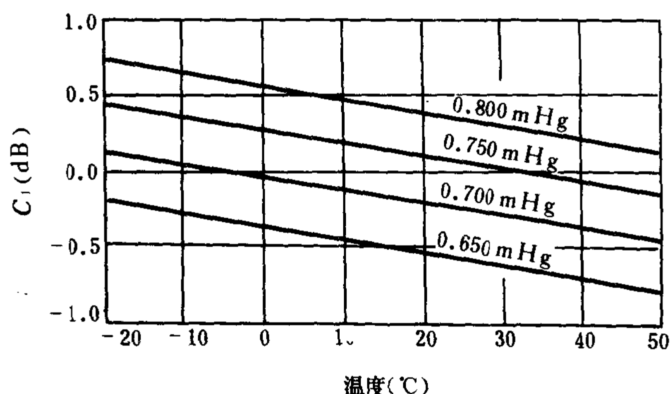


图 6.3.2—1　不同大气条件下的 C_1 值

3)声压级随距离的变化

在点声源向自由空间辐射声能的情况下，声波将以球面波辐射。这时声压随着离声源距离的增加反比地衰减。距离增加一倍，声压级减少 6dB。即称为平方反比定律。

在点声源向自由空间辐射声能的条件下，距声源 r 米处声压级与声功率级的关系为：

$$L_p = L_n - 20\lg r - 11 \quad dB \qquad (6.3.2-13)$$

在半自由空间条件下(即点声源置于刚性地面向半无限空间辐射声能)，则为：

$$L_p = L_n - 20\lg r - 8 \quad dB \qquad (6.3.2-14)$$

2.5　频带和频带声压级

1)频带

频带又称为频程。声学测量中常用的频带宽是倍频带(或倍频程)。一个倍频带是上限频率 f_2 为下限频率 f_1 的两倍的频带范围，即 $f_2 = 2f_1$。如果对一个噪声频谱需要得到比倍频带更详细的资料，尚可用 1/3 倍频程。

关于上限和下限截止频率的一般关系式为：

$$f_2 = 2^n f_1$$

式中：n——倍频带的系数，可以是分数或整数。当 $n=\frac{1}{3}$ 时，即为 $\frac{1}{3}$ 倍频带，n=1 即指倍频带。

频带的中心频率是截止频率的几何平均，即：

$$f_m=\sqrt{f_2 . f_1}$$

于是，相应于某一中心频率 f_m 的上、下限截止频率为：

$$f_2=2^{n/2}f_m$$

$$f_1=2^{-n/2}f_m$$

相应的带宽 B 为：

$$B=f_2-f_1=f_m(2^{n/2}-2^{-n/2})=\beta f_m$$

式中：β——常数，对于 1/3 倍频带，β=0.231，对于倍频带，β=0.707。

倍频带和 1/3 倍频带的中心频率及截止频率如表 6.3.2—6 所示。

表 6.3.2—6　**倍频程和 1/3 倍频程**

倍频程			1/3 倍频程		
频带下限 Hz	频带上限 Hz	中心频率 Hz	频带下限 Hz	频带上限 Hz	中心频率 Hz
11	22	16	14.1	17.8	16
			17.8	22.4	20
			22.4	28.2	25
22	44	31.5	28.2	35.5	31.5
			35.5	44.7	40
			44.7	56.2	50
44	88	63	56.2	70.7	63
			70.7	89.1	80
			89.1	112	100
88	177	125	112	141	125
			141	178	160
			178	224	200
177	355	250	224	282	250
			282	355	315
			355	447	400
355	710	500	447	562	500
			562	708	630
			708	891	800
710	1420	1000	891	1122	1000
			1122	1413	1250
			1413	1778	1600
1420	2840	2000	1788	2239	2000
			2239	2818	2500
			2818	3548	3150
2840	5680	4000	3548	4467	4000
			4467	5623	5000
			5623	7079	6300
5680	11360	8000	7079	8913	8000
			8913	11220	10000
			11220	14130	12500
11360	22720	16000	14130	17780	16000
			17780	22390	20000

2)倍频带声压级和 1/3 倍频带声压级

在一个倍频程带宽中的声压级称为倍频带声压级，简称倍频带级。

以频率为横坐标，声压级为纵坐标，画出声源辐射声音的频率成分组成图，称为频谱图或频谱。图(6.3.2－2a)和(6.3.2－2b)为同一台鼓风机的倍频带谱和1/3倍频带谱。

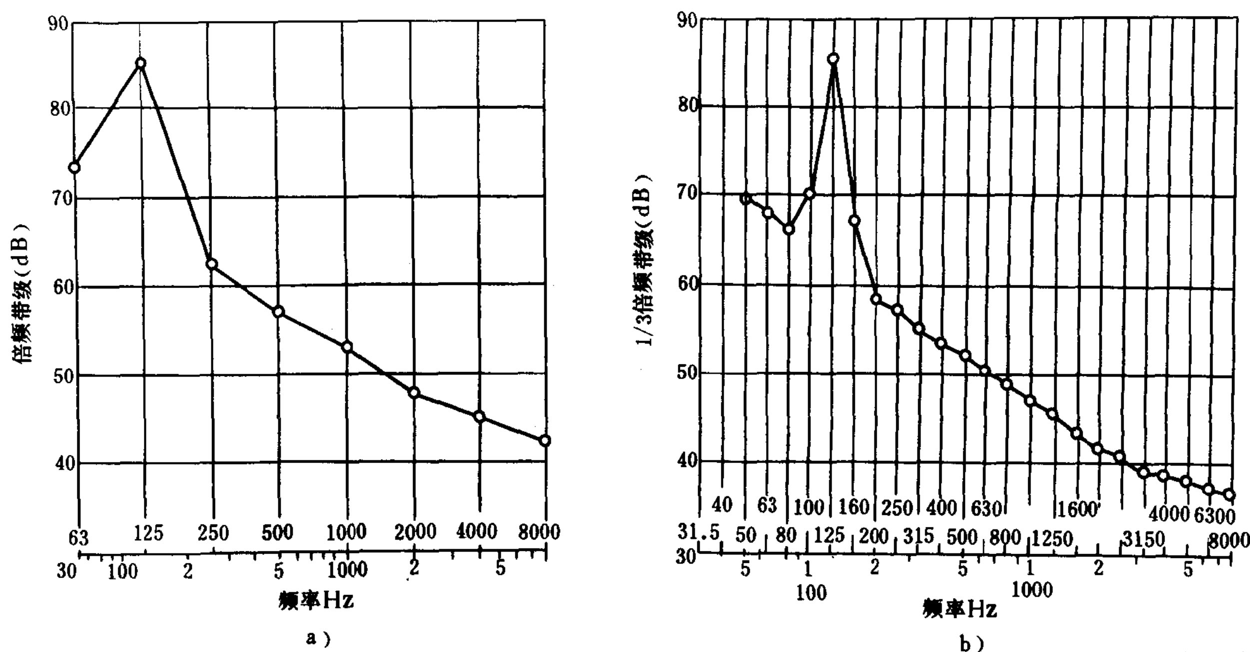


图 6.3.2—2　鼓风机的频谱

2.6　计权网络与计权声级

1)等响曲线

从刚能听得见的听阈到感觉疼痛的痛阈之间，人耳对声压级相同而频率不同的声音有不同的响度感觉。即相同声压级的不同频率的声音，人耳听起来是不一样响的；反之，不同频率的声音要听起来一样响(等响)，就应有不同的声压级。

以连续纯音作试验，取1000Hz的某个声压级(如40dB)作为参考标准，则听起来和它同样响的其它频率的纯音的各自的声压级就构成了一条等响曲线，并称为响度级为40方的等响曲线。依次改变参考用的1000Hz纯音的声压级，就可得到一组等响曲线。图6.3.2—3为国际标准化组织ISO在1959年确定的一组等响曲线，与1000Hz相交的曲线的声压级定为响度级。

2)计权网络与计权声级

在评价声音大小时，为了考虑到人们主观上的响度感觉，例如图6.3.2—3中，40dB300Hz的纯音，人听起来与30dB1000Hz的纯音一样响，在声级计中，把300Hz40dB左右的响应降低10dB从而使仪器反映的读数与人的主观感觉相接近。其它频率也根据等响曲线作一定的修正。这种对不同频率给以适当增减的电子线路称为频率计权网络。

声级计中常用的A、B和C计权网络分别模仿等响曲线中响度级为40方、70方和100方的等响曲线。A计权网络的应用最广泛，它能较好地模仿人耳的频响特性。B计权网络实际上很少使用。C计权网络测出的声级，在许多实际情况中与总声压级值近似相等。

使用A、B或C计权网络测得的声级分别称为A计权声级、B计权声级和C计权声级，简称为A声级(dBA)，B声级(dBB)和C声级(dBC)。

A、B、C计权网络的频响特性见表6.3.2—7。

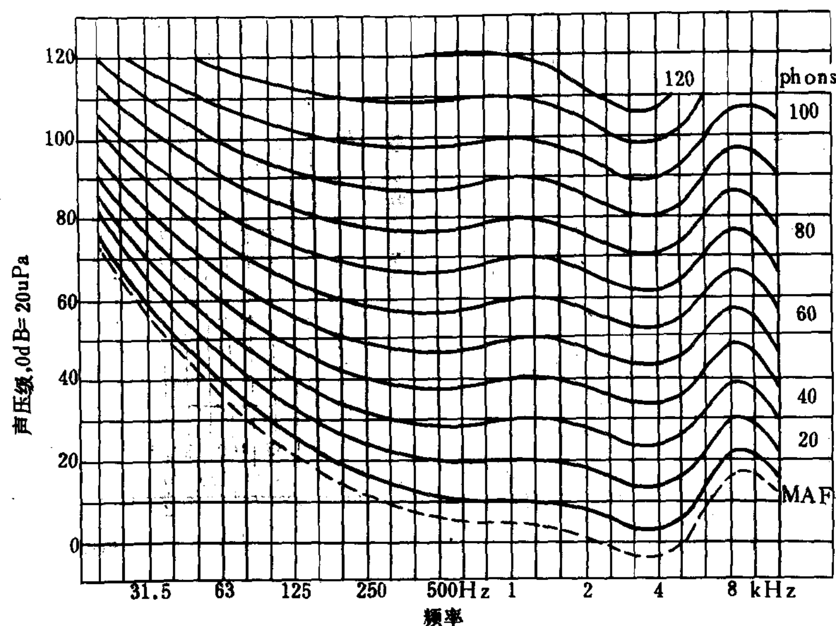


图 6.3.2—3 纯音等响曲线

表 6.3.2—7 **声级计用计权网络**(IEC 标准)

频率 Hz	A 计权修正量 dB	B 计权修正量 dB	C 计权修正量 dB
10	−70.4	−38.2	−14.3
12.5	−63.4	−33.2	−11.2
16	−56.7	−28.5	−8.5
20	−50.5	−24.2	−6.2
25	−44.7	−20.4	−4.4
31.5	−39.4	−17.1	−3.0
40	−34.6	−14.2	−2.0
50	−30.2	−11.6	−1.3
63	−26.2	−9.3	−0.8
80	−22.5	−7.4	−0.5
100	−19.1	−5.6	−0.3
125	−16.1	−4.2	−0.2
160	−13.4	−3.0	−0.1
200	−10.9	−2.0	0
250	−8.6	−1.3	0
315	−6.6	−0.8	0
400	−4.8	−0.5	0
500	−3.2	−0.3	0
630	−1.9	−0.1	0
800	−0.8	0	0
1000	0	0	0
1250	+0.6	0	0

续上表

频率 Hz	A计权修正量 dB	B计权修正量 dB	C计权修正量 dB
1600	+1.0	0	-0.1
2000	+1.2	0.1	-0.2
2500	+1.3	-0.2	-0.3
3150	+1.2	-0.4	-0.5
4000	+1.0	-0.7	-0.8
5000	+0.5	-1.2	-1.3
6300	-0.1	-1.9	-2.0
8000	-1.1	-2.9	-3.0
10000	-2.5	-4.3	-4.4
12500	-4.3	-6.1	-6.2
16000	-6.6	-8.4	-8.5
20000	-9.3	-11.1	-11.2

2.7 声级计算

2.7.1 声级的叠加

1)声级叠加的规则

声级的叠加以对数求和的规则计算其总声级。

(1)当n个不同声源同时发声时，总声压级为：

$$L_{Pi}=10\lg\Sigma 10^{0.14pc} \quad dB \tag{6.3.2—11}$$

式中： L_{Pi}——第i个声源的声压级 dB。

(2)当n个相同声源同时发声时，总声压级为：

$$L_{pT}=L_{p1}+10\lg n \quad dB \tag{6.3.2—12}$$

式中：L_{pT}——一个声源单独发声时的声级。

由此，当n=2时，即当两个相同声压级叠加时，$L_{pT}=L_{p1}+3$。即比一个声源的声压级大3分贝。

(3)当仅有两个声源L_{p1}和L_{p2}时，且L_{p1}大于L_{p2}，则合成声级为：

$$L_{pT}=L_{p1}+K \quad dB \tag{6.3.2—13}$$

式中：K——与$L_{p1}-L_{p2}$的差值有关的修正值(dB)可查表6.3.2—8。

表6.3.2—8 **相应于Lp_1-Lp_2的K值**

$L_{p1}-L_{p2}$	K	$L_{p1}-L_{p2}$	k	$L_{p1}-L_{p2}$	k	$L_{p1}-L_{p2}$	K	$L_{p1}-L_{p2}$	k	$L_{p1}-L_{p2}$	k
0	3	3	1.8	6	1.0	9	0.5	12	0.3	15	0.1
1	2.5	4	1.5	7	0.8	10	0.4	13	0.2	16	0.1
2	2.1	5	1.2	8	0.6	11	0.3	14	0.2	>16	0

例：在给定点处，三台机器各自单独发声时测得的声级分别是70dB、66.2dB和65dB，欲计算三台机器同时运转时的合成声级，可按表6.3.2—9所示的次序计算(按从小到大顺序依次叠加)，最后求出总声级为72.4dB。

表6.3.2—9 **声级叠加顺序**

L_{p1}	L_{p2}	L_{p3}	$L_{p2}-L_{p3}$	K_1	$L_p(2+3)$	$L_{p1}-L_p(2+3)$	K_2	L_{pt}
70	66.2	65	1.2	2.5	66.2+2.5=68.7	70-68.7=1.3	2.4	70+2.4=72.4

2)声级叠加的应用场合

(1)计算许多声源的叠加总声级；

(2)计算声源加上背景噪声的叠加声级；

(3)由倍频带级或1/3倍频带级计算总声压级；

(4)由给定的倍频带谱计算A计权声级；

(5)多声源的声功率级叠加计算；

(6)由倍频带声功率级计算A计权声功率级。

例1:由倍频带级计算总声压级。倍频带级见表6.3.2—10。

表6.3.2—10 **倍频带级**

倍频带中心频率 Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
倍频带级 dB	83	95	72	67	63	58	55	52

解:首先叠加中心频率为4000Hz和8000Hz的倍频带级,其差值为3dB,根据表6.3.2—8,可知,应在较大的数值上加上1.8dB修正值,即叠加声级为55+1.8=56.8dB;再将它与中心频率为2000Hz的频带级叠加,以此类推,最后求出总声压级为95.3dB。具体求解过程见图6.3.2—4。或者按式(6.3.2—11)计算。

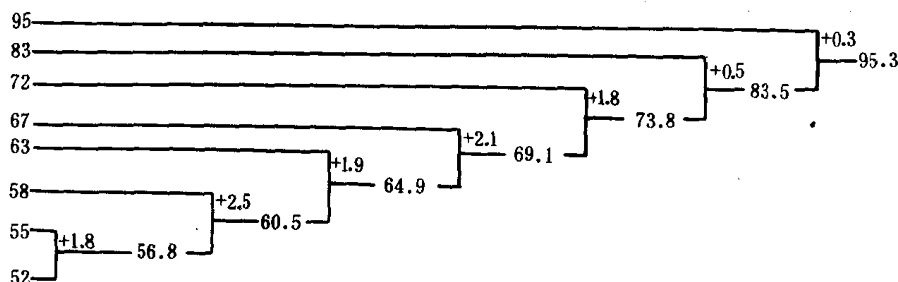


图6.3.2—4 从倍频带声级计算总声压级的计算步骤

例2:从倍频带级计算A计权声级。频谱与例1相同。

解:计算表由表6.3.2—11给出。表中第二行为倍频带级。第三行是从表6.3.2—7中得到的A计权值。第四行为修正后的A计权倍频带级,计算时按上例的步骤首先将表中第四行所列的A计权倍频带级按从小到大的顺序排列,然后依次叠加,最后求出的总的A计权声级为79.3dBA。

表6.3.2—11 **A计权声级计算表**

倍频带中心频率 Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
倍频带级 dB	83	95	72	67	63	58	55	52
A计权 dB	−26.2	−16.1	−8.6	−3.2	0	+1.2	+1.0	−1.1
A计权倍频带级 dBA	56.8	78.9	63.4	63.8	63.0	59.2	56.0	50.9

声功率级(包括A计权声功率级)的叠加规则及由频带级计算C计权声权的方法同上述两例。

2.7.2 声级的差

已知两个声源的总声级 L_{pT} 和其中一个声源的声级 L_{p1},求另一个声源的声级 L_{p2} 的大小,其计算式为:

式中:
$$L_{p2}=L_{pT}+10\lg[1-10^{0.1(L_{pT}-L_{p1})}] \quad dB \qquad (6.3.2—14)$$

式中：$10\lg[1-10^{0.1(L_{pT}-L_{p1})}]=-\Delta L$，其值可用图 6.3.2—5 计算。

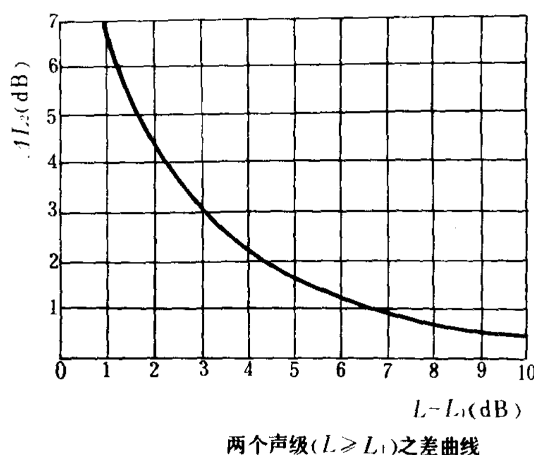


图 6.3.2—5　ΔL 的计算曲线

2.7.3　声级的平均

测量机器噪声时，周围各点的声压级不一定相同，希望用一个平均声级来代表该机器的噪声水平，平均声级的计算式为：

$$\bar{L}_p=L_{pT}-10\lg n \quad \text{dB} \tag{6.3.2—15}$$

式中：L_{pT} ——n 个测点的声级叠加之和，$L_{pT}=10\lg\Sigma 10^{0.1L_{pi}}$

n ——测点的数目。

如果各测点声级之间最大的差值小于 5dB 时，也可以用算术平均法求其平均值，即

$$\bar{L}_p=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}L_{pi} \quad \text{dB} \tag{6.3.2—16}$$

2.8　噪声评价参数

噪声评价参数有百余种，目前被国际上广泛使用的有二十多种，如响度，响度级，A、B、C 计权声级，噪度，感觉噪声级，语言干扰级，噪声污染级，等效声级等。船舶噪声中，除常用的 A、C 计权声级外，还有下面几种评价参数。

2.8.1　等效连续声级

噪声对人体的影响除与频率有关外，尚与噪声持续时间有关，即与噪声的能量有关。为此，人们提出了等效噪声的评价方法，即能量平均的方法。等效连续声级的计算式为：

$$L_eq=10\lg\left\{\frac{1}{T}\int_0^T 10^{0.1L_{pi}}\ dt\right\} \quad \text{dB} \tag{6.3.2-17}$$

式中：L_{pi} ——某时刻噪声的声级，dB；

T ——测量时间。

若某时刻的噪声用 A 声级表示，则平均后的声级称为等效连续 A 声级(dBA)。

等效连续 A 声级的含义是将间歇暴露的 n 个不同的 A 声级，用一个稳定的 A 声级表示该测量时间的噪声大小，其计算方法如下：

将所测得的声级按次序从小到大每隔 5dBA 为一段排列，每段以其算术中心声级表示。用中心声级表示的各段为：80、85、90、95、…165dBA，…80dBA 表示 78～82dBA 的声级范围，85dBA 表示 83～87dBA 的范围，以此类推。将一个典型工作日各段声级的暴露时间统计出

来，填入表 6.3.2—12 中。

表 6.3.2—12　　**各段中心声级和相应的暴露时间**

段　数	1	2	3	4	5	6	7	8	……
中心声级 L_ndBA	80	85	90	95	100	105	110	115	……
暴露时间 $T_n$min	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	……

以每天工作 8h 为基础，低于 80dBA 的不考虑，每天的等效声级 L_{eq} 的近似计算式为：

$$L_{eq}=80+10\lg\frac{\Sigma 10^{\frac{n-1}{2}}T_n}{480}\quad \text{dBA} \qquad (6.3.2\text{—}18)$$

式中：T_n ——一个工作日内第 n 段(L_n)的总暴露时间，min；

n ——一个工作日内所划分的第 n 段段数。

例：每天 8h 工作，其中 4h 在集控室内观察仪表，室内的声级为 78dBA；2.5h 在发动机附近巡回检测，声级为 104dBA；1h 在工作间维修设备，声级为 89dBA，其它时间在声级为 70dBA 下工作，试计算该轮机人员每天接触噪声的等效声级的大小。

解：将测得的声级按大小填入表 6.3.2—13 中。

表 6.3.2—13　　**等 效 声 级 记 录**

测点	同一工作日内的连续声级及其暴露时间										Leq dBA
	n 段	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	中心声级 dBA	80	85	90	95	100	105	110	115	120	
机舱	暴露时间 Tmin	240		60		150				100	

把测得的数据代入式(6.3.2—18)中得：

$$L_{eq}=80+10\lg\frac{(10^{\frac{1-1}{2}}\times 240+10^{\frac{3-1}{2}}\times 60+10^{\frac{4-1}{2}}\times 150)}{480}=100\text{dBA}$$

2.8.2　噪声评价曲线

工程上处理问题时，往往要了解存在问题的频带及其声压级，因而需要按频带声压级定出标准。为使用方便，用频带声压级曲线及其代号来规定。

目前常用的是 NR 评价曲线(ISO 推荐的方法)，它与倍频带声压级的关系见图 6.3.2—6。图中每条曲线与 1000Hz 交点的倍频带声压级数即为噪声评价数 NR 的号数。表 6.3.2—14 和 6.3.2—15 为从倍频带声压级直接查出 NR 评价曲线号的数表。

A 声级与 NR 数的关系为：

A 声级大于 55dBA 时；　　$NR=L_A-5$

A 声级小于 55dBA 时。　　$NR=L_A-10$

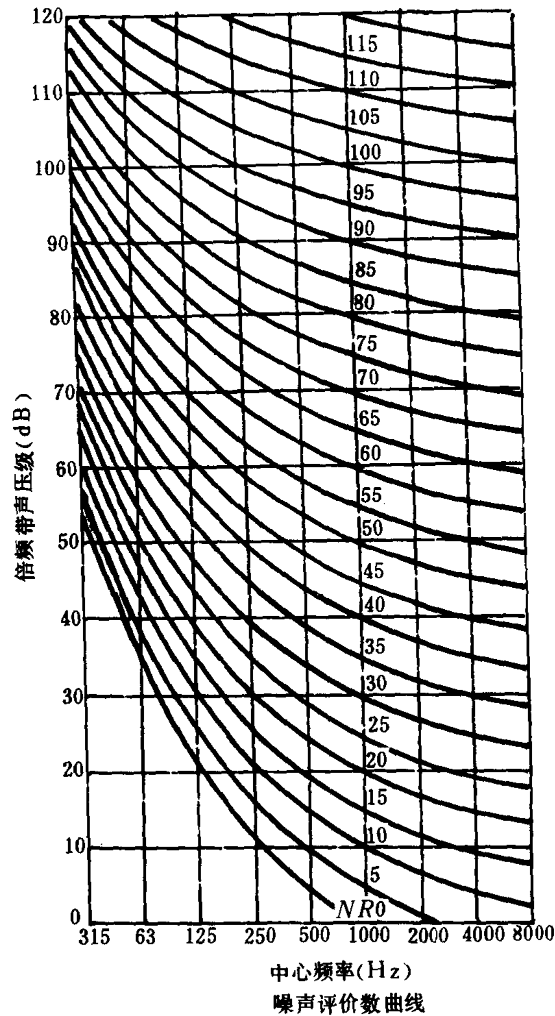


图 6.3.2—6 NR 噪声评价曲线

表 6.3.2—14 **噪声评价曲线 NR(N)数对应的各倍频带声压级(dB)**

NR (N)	倍频带中心频率(Hz)								
	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
NR－0	55	35	22	12	4	0	－4	－6	－7
NR－5	58	39	26	16	9	5	1	－1	－2
NR－10	62	43	30	21	14	10	6	4	3
NR－15	65	47	35	25	19	15	11	9	8
NR－20	69	51	39	30	24	20	16	14	13
NR－25	72	55	43	35	29	25	21	19	18
NR－30	76	59	48	39	34	30	26	25	23
NR－35	79	63	52	44	38	35	32	30	28
NR－40	82	67	56	49	43	40	37	35	33
NR－45	86	71	61	53	48	45	42	40	38
NR－50	89	75	65	58	53	50	47	45	44
NR－55	93	79	70	63	58	55	52	50	49
NR－60	96	83	74	68	63	60	57	55	54
NR－65	100	87	78	72	68	65	62	60	59
NR－70	103	91	83	77	73	70	67	65	64
NR－75	106	95	87	82	78	75	72	70	69
NR－80	110	99	92	86	82	80	77	76	74
NR－85	113	103	96	91	87	85	82	81	79
NR－90	117	107	100	95	92	90	87	86	84
NR－95	120	111	105	100	97	95	92	91	89

续上表

NR (N)	倍频带中心频率(Hz)								
	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
NR－100	123	115	109	105	102	100	97	96	94
NR－105	127	119	113	110	107	105	103	101	100
NR－110	130	122	118	115	112	110	108	106	105
NR－115	134	126	122	119	117	115	113	111	110
NR－120	137	130	127	124	121	120	118	116	115

表 6.3.2—15　**NR 噪声评价标准曲线号数**

声压级 (dB)	倍　频　带　中　心　频　率　(Hz)								
	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
20					15	20	23	25	27
21				10	16	21	24	26	28
22			1	11	17	22	25	27	29
23			2	12	18	23	26	28	30
24			3	13	19	24	27	29	31
25			4	14	21	25	28	30	32
26			5	15	22	26	29	31	33
27			6	16	23	27	30	32	34
28			7	18	24	28	31	33	35
29			8	19	25	29	32	34	36
30			10	20	26	30	33	35	37
31			11	21	27	31	34	36	38
32			12	22	28	32	35	37	39
33			13	23	29	33	36	38	40
34			14	24	30	34	37	39	41
35			15	25	31	35	38	40	42
36		1	16	26	32	36	39	41	43
37		2	18	27	33	37	40	42	44
38		3	19	28	34	38	41	43	45
39		4	20	29	35	39	42	44	46
40		5	21	30	36	40	43	45	47
41		7	22	31	37	41	44	46	48
42		8	23	32	38	42	45	47	49
43		9	25	33	39	43	46	48	50
44		11	26	34	40	44	47	49	51

续上表

声压级 (dB)	倍频带中心频率 (Hz)								
	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
45		12	27	35	41	45	48	50	52
46		13	28	36	42	46	49	51	53
47		14	29	37	44	47	50	52	54
48		16	30	39	45	48	51	53	55
49		17	31	40	46	49	52	54	56
50		18	33	41	47	50	53	55	57
51		20	34	42	48	51	54	56	58
52		21	35	43	49	52	55	57	59
53		22	36	44	50	53	56	58	59
54		23	37	45	51	54	57	59	60
55	1	25	38	46	52	55	58	60	61
56	2	26	39	48	53	56	59	61	62
57	3	27	41	49	54	57	60	62	63
58	5	28	42	50	55	58	61	63	64
59	6	30	43	51	56	59	62	64	65
60	8	31	44	52	57	60	63	65	66
61	9	32	45	53	58	61	64	66	67
62	11	34	46	54	59	62	65	66	68
63	13	35	48	55	60	63	66	67	69
64	14	36	49	56	61	64	67	68	70
65	15	37	50	57	62	65	68	69	71
66	17	39	51	58	63	66	69	70	72
67	18	40	52	59	64	67	70	71	73
68	19	41	53	60	65	68	71	72	73
69	21	43	54	61	66	69	72	73	74
70	22	43	56	63	67	70	73	74	76
71	24	45	57	64	68	71	73	75	77
72	25	46	58	65	69	72	74	76	78
73	26	48	59	66	70	73	75	77	79
74	28	49	60	67	71	74	76	78	80

续上表

声压级 (dB)	倍频带中心频率 (Hz)								
	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
75	30	50	62	68	72	75	77	79	80
76	31	52	63	69	73	76	78	80	81
77	32	53	64	70	74	77	79	81	82
78	34	54	65	71	75	78	80	82	83
79	36	55	66	72	76	79	81	83	84
80	37	57	67	73	77	80	82	84	85
81	38	58	68	74	78	81	83	85	86
82	40	59	69	75	79	82	84	86	87
83	42	60	70	76	81	83	85	87	88
84	43	62	72	77	82	84	86	88	89
85	45	63	73	78	83	85	87	89	90
86	46	64	74	80	84	86	88	90	91
87	48	65	75	81	85	87	89	91	92
88	49	46	76	82	86	88	90	92	93
89	51	68	77	83	87	89	91	93	94
90	52	69	78	84	88	90	92	94	95
91	54	71	80	85	89	91	93	95	96
92	55	72	81	86	90	92	94	96	97
93	56	73	82	87	91	93	95	97	98
94	58	75	83	88	92	94	96	98	99
95	59	76	84	89	93	95	97	99	100
96	61	77	85	90	94	96	98	100	101
97	62	78	87	91	95	97	99	101	102
98	64	80	88	92	96	98	100	101	103
99	65	81	89	94	97	99	101	102	104
100	67	82	90	95	98	100	102	103	105
101	68	84	91	96	99	101	103	104	106
102	69	85	92	97	100	102	104	105	107
103	71	86	94	98	101	103	105	106	108
104	73	87	95	99	102	104	106	107	109

续上表

声压级 (dB)	倍频带中心频率 (Hz)								
	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
105	74	89	96	100	103	105	107	108	110
106	75	90	97	101	104	106	108	109	111
107	77	91	98	102	105	107	109	110	112
108	78	92	99	103	106	108	110	111	112
109	80	94	101	104	107	109	111	112	113
110	82	95	102	105	108	110	112	113	114
111	83	96	103	107	109	111	113	114	115
112	85	98	104	108	110	112	114	115	116
113	86	99	105	109	111	113	115	116	117
114	88	100	106	110	112	114	116	117	118
115	89	101	107	111	113	115	117	118	119
116	91	103	108	110	114	116	118	119	120
117	92	104	110	113	115	117	119	120	121
118	93	105	111	114	116	118	120	121	122
119	95	106	112	115	117	119	121	122	123

求噪声评价数 NR 的方法如下：先测量八个倍频带的声压级，求出倍频带频谱。把频谱画到图 6.3.2—6 上，其中最接近而稍高于频谱线(最小距离是 1dB)的一条曲线的值就是噪声的 NR 值。

在美国，一般使用 NC 曲线，用法和 NR 曲线相同。NC 曲线是用旧滤波器频率标准，使用不方便，后又提出 PNC 曲线，采用标准频带。表 6.3.2—16 和 6.3.2—17 分别为 NC 和 PNC 噪声评价曲线对应的倍频带声压级。

表 6.3.2—16　**NC 噪声评价标准曲线对应的倍频带声压级(dB)**

	倍频带中心频率(Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
NC−15	47	36	29	22	17	14	12	11
NC−20	51	40	33	26	22	19	17	16
NC−25	54	44	37	31	27	24	22	21
NC−30	57	48	41	35	31	29	28	27
NC−35	60	52	45	40	36	34	33	32
NC−40	61	56	50	45	41	39	38	37
NC−45	67	60	54	49	46	44	43	42
NC−50	71	64	58	54	51	49	48	17
NC−55	74	67	62	58	56	54	53	52
NC−60	77	71	67	63	61	59	58	57
NC−65	80	75	71	68	66	64	63	62

表 6.3.2—17　　**PNC 噪声评价标准曲线对应的倍频带声压级(dB)**

	倍频带中心频率(Hz)								
	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
PNC—15	58	43	35	28	21	15	10	8	8
PNC—20	59	46	39	32	26	20	15	13	13
PNC—25	60	49	43	37	31	25	20	18	18
PNC—30	61	52	46	41	35	30	25	23	23
PNC—35	62	55	50	45	40	35	30	28	28
PNC—40	64	59	54	50	45	40	36	33	33
PNC—45	67	63	58	54	50	45	41	38	38
PNC—50	70	66	62	58	54	50	46	43	43
PNC—55	73	70	66	62	59	55	51	48	48
PNC—60	76	73	69	66	63	59	56	53	53
PNC—65	79	76	73	70	67	64	61	58	58

2.9　船舶噪声与噪声容许标准

表 6.3.2—18 为我国 80 余艘海洋船舶和 90 余艘内河船舶的噪声测量统计值[2]，其船长在 21～214m 之间，主机除极个别为蒸汽轮机外，均为柴油机，船型有货船，客船，拖推船和油船等运输船舶。

表 6.3.2—18　　**船舶舱室噪声**(dBA)

舱室名称			居住舱室	无控制室机舱	有控制室机舱	集控室	机舱工作间	驾驶室	桥楼两翼	报务室	医务室	厨房
船长≥70m			50～60	94～100	98～104	68～83	82～95	56～66	65～75	51～64	57～63	65～81
船长<70m			60～75	102～108	103～106	67～83	80～97	60～72	72～80	62～80	60～63	73—86
噪声极值	最大值	船长≥70m	80	103	104		101	71	83	73	65	86
		船长<70m	93	115	108		102	79	83	86	82	95
	最小值	船长≥70m	40	90	93		72	44	62	44	53	52
		船长<70m	50	97	103		74	55	62	51	60	55

注：本表内的数据为 1982 年的资料。

1982 年我国颁布了中华人民共和国交通部标准 JT4517—82 运输船舶舱室噪声标准。1986 年颁布了国家标准 GB5979—86 海洋船舶噪声级规定和 GB5980—86 内河船舶噪声级规定代替交通部标准 JT4517—82。表 6.3.2—19 为海洋船舶和内河船舶舱室噪声客许标准值。

表 6.3.2 19 **舱室噪声限制值**

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="3">部位</th><th colspan="4">dBA</th></tr>
<tr><th rowspan="2">海船</th><th colspan="3">内河船舶</th></tr>
<tr><th>Ⅰ</th><th>Ⅱ</th><th>Ⅲ</th></tr>
<tr><td rowspan="4">机舱区</td><td>有人值班机舱主机操纵处</td><td>90(1)</td><td colspan="3">90(1)</td></tr>
<tr><td>有控制室或无人机舱</td><td>110</td><td colspan="3">110</td></tr>
<tr><td>机舱控制室</td><td>75</td><td colspan="3">75(2)</td></tr>
<tr><td>工作间</td><td>85</td><td colspan="3">90</td></tr>
<tr><td rowspan="4">驾驶区</td><td>驾驶室</td><td>65</td><td>65</td><td>70</td><td>70</td></tr>
<tr><td>桥楼两翼</td><td>70</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>海图室</td><td>65</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>报务室</td><td>60</td><td>65</td><td>70</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">起居室</td><td>卧室</td><td>60</td><td>60</td><td>65</td><td>70</td></tr>
<tr><td>医务室、病房</td><td>60</td><td>60</td><td>65</td><td></td></tr>
<tr><td>办公室、休息室、接待室</td><td>65</td><td>65</td><td>70</td><td>75</td></tr>
<tr><td rowspan="2">厨房</td><td>机械设备和专用风机不工作</td><td>70</td><td rowspan="2">80</td><td rowspan="2">85</td><td rowspan="2">85</td></tr>
<tr><td>机械设备和专用风机正常工作</td><td>80</td></tr>
</table>

注：① 任一测点的噪声级不得大于 110dBA。

② 主机为高速机时可放宽 3dBA。

表 6.3.2—19 中的数值对海洋船舶来说，适用于货舱、油轮、推拖船、供应船、耙吸式和绞吸式挖泥船。内河船舶中，Ⅰ类船为航行时间大于 24h 的干线客船、油船，货船，旅游船；Ⅱ类船为航行时间不小于 12h 或夜间航行的Ⅰ类以外的船舶及耙吸式挖泥船；Ⅲ类船为航行时间小于 12h 不夜航的船舶及绞吸式挖泥船。

船上的噪声测量按 GB4595—84《船上噪声测量》的规定进行。

表 6.3.2—20 为国外的船舶噪声容许值。表 6.3.2—20 为国外的船舶噪声客许值。

表 6.3.2—20

国外船舶噪声标准 (dBA)

国名		德国		挪威	丹麦	英国	瑞典			美国	波兰	荷兰	以色列	日本	加拿大	IMO	法国
颁布日期		1968		1978	1975	1978	1973	1976年建议		1980	1973	1978	1976	1975	1971	1981	1981
								新船	旧船								
标准名称		SBG 船舶噪声许用值	内河船舶噪声许用值	NSD 航运董事会	商业部(DOT)	商业部船舶噪声级实用规程(DOT)	国家航运和航海部			造船和轮机师协会 SNAME	海洋商船工作安全和船员居住条件			防止船内噪声的确议书		船舶噪声级规程	船舶规范
机舱区	有控制室机舱	110	110	105	110	110	100	100	100			110	90/90			110	
	无控制室机舱	90		90	90	90			70	85～90	90	90	90 /90	90		90	NR85
	控制室	75		75	75	75	70	65	80	75	75	80	75 /80	75		75	NR70
	工作间	85		85	85	90	75	75+K		85	90	90	80 /85	85		85	NR85
	无人值班机舱																
驾驶区	驾驶室	65	70	65	65	65	65	60		65/60*	65	65	65/70	65		65	NR65
	桥楼两翼	70		70	70	65	70	65				70				70	NR75
	海图室	60		65	65	65	65	60			65	65	65/70			65	
	报务室	60		65	65	60	55	60		60	60	65	65/70			60	NR60
起居区	居住舱室	60	60	60*	60	60	55	45+K		60	60	60	65/70	65/60*	70	60	NR60
	休息室	65		65	65	65	65	60		65	65	65	70/80		74	65	
	办公室、会议室	65		65	65	65	55	60/55				65		65/60**		65	
	医务室、病房	60		55		60		45 +K			55	60				60	
	文娱室、图书室	60		65	65	65	65	60/50		65	55	65	70/80		74	65	
	厨房、配餐室	70		70	70	70	65	60+K		65	75/80	80				75	
	预备室	65									65						
通道走廊						80											
敞开甲板娱乐场所		70		70	70	75	65	65								70	
备注		适用于悬挂SBG旗号的船舶	莱茵河船舶试验规则	*总吨位小于2000吨的船为65dBA			总吨位 T_t K=0 $T_t>6000t$ K=5 $10000t<T_t<60000t$ K=10 $5000t<T_t<1000t$ K=15 $1000t<T_t<5000t$			*60为关门时的测量值	适用于200t以上的商船		新船/旧船	* $T_t>6500t$ **努力目标为55 dBA，本规定适用于>3500t的船舶			

2.10 船舶噪声源的声级估算

船舶主要噪声源有：

1)动力装置的噪声

主推进发动机，柴油发电机组，减速齿轮箱及主辅机的进排气噪声；

2)辅助机械的噪声

各种舱室机械，液压甲板机械及电流变流机组；

3)通风空调系统噪声，通风机、附件、管道；

4)螺旋桨噪声；

5)水、汽管及液压油管的流体噪声；

6)船体振动引起的噪声。

声级估算：

1)柴油机噪声级。

离柴油机机身表面 1m 处的 A 声级：

$$L_{PA}=54+10\lg(n_eP_e^{0.55})+30\lg(\frac{n}{n_e}) \quad \text{dBA} \qquad (6.3.2—19)$$

式中： n_e——额定转速，r/min；

P_e——额定功率 kW；

n——工作转速，r/min。

柴油机的 A 声功率级与离机身表面 1m 处的 A 声级的关系为：

$$L_{WA}=L_{PA}+3+4.51\lg P_e \quad \text{dBA} \qquad (6.3.2—20)$$

A 声功率级为[3]：

$$L_{WA}\approx 57+10\lg(n_eP_e)+30\lg(\frac{n}{n_e}) \quad \text{dBA} \qquad (6.3.2—21)$$

$\frac{1}{3}$倍频带声功率级[3]：

$$L_W\approx 52+10\lg\left[\frac{n_eP_e(1+P_e/m)}{(f/1000+1000/f)}\right]+20\lg(\frac{n}{n_e}) \qquad (6.3.2—22)$$

式中： m——柴油机的质量，kg；

f——$\frac{1}{3}$倍频程中心频率，Hz。

有隔振器时，柴油机机脚上的$\frac{1}{3}$倍频程振动速度级为[3]：

$$L_v=44+10\lg\left[\frac{n_eP_e^{0.55}(1+P_e/m)}{1+(f/1500)^3m/P_e}\right]+30\lg(\frac{n}{n_e}) \quad \text{dB} \qquad (6.3.2—23)$$

2)燃气轮机的噪声级[4]：

进气噪声声功率级：

$$L_W=127+10\lg(G+3.5) \quad \text{dB} \qquad (6.3.2—24)$$

排气噪声声功率级

$$L_W=119+10\lg(G+3.5) \quad \text{dB} \qquad (6.3.2—25)$$

式中： G——耗气量 kg/s。

隔振器上方机匣上 1/3 倍频程振动速度级为[3]

$$L_v\approx 76+5.5\lg P_e+10\lg P/P_e-13\lg f/32 \quad \text{dB} \qquad (6.3.2—26)$$

式中：P_e —— 额定功率，kW；

P —— 输出功率，kN；

f —— 1/3 倍频程中心频率，Hz。

3）减速齿轮箱的噪声级：

齿轮装置的声功率级为：

$$L_W = 56 + 10\lg P \quad \text{dBA} \qquad (6.3.2\text{—}27)$$

式中：P —— 传递的功率，kW。

4）通风机的噪声级

离心式通风机进风口的声功率级为：

$$L_W = 10\lg Q + k\lg p - 40\lg f + 148 \quad \text{dB} \qquad (6.3.2\text{—}28)$$

式中：Q —— 通风机的排量，m^3/s；

p —— 全压力，Pa；

f —— 倍频程中心频率，Hz；

k —— 系数，见表 6.3.2—21。

表 6.3.2—21 **K 值表**

倍频程中心频率 Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
K	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0

离心式通风机的排气噪声的每个频带上均比进气口大 4dB。

轴流式风机的进出风口的声功率级相等。

5）电机的噪声

$$L_w = 10 + 10\lg P + 20\lg n \quad \text{dBA} \qquad (6.3.2\text{—}29)$$

式中：P —— 电机的功率，kW；

n —— 额定转速，r/min。

3 船舶柴油机的噪声控制

3.1 柴油机的声学特性

柴油机的主要声源为空气动力性噪声和结构振动辐射的噪声。前者包括进排气系统噪声和增压系统的噪声，后者包括燃烧噪声和机械噪声。图 6.3.2—7 为柴油机噪声源分类示意图。

柴油机的声学参数有：$L_W(f)$、$L_p(f)$、L_{WA}、L_{pA}、η、$\eta(A)$值，前四个参数表示噪声的大小和频谱特性，后两个参数表示柴油机的声学品质好坏。

其中：$L_W(f)$ —— 频带声功率级；

$L_p(f)$ —— 频带声压级；

L_{WA} —— 总的 A 声功率级；

L_{pA} —— 总的 A 计权声压级；

η——发动机的声辐射系数，$\eta=\frac{W}{P_e}$；

$\eta(A)$——发动机的比声功率，$\eta(A)=\frac{W_A}{P_e}$。

式中：P_e——发动机的额定功率；

W、W_A—发动机额定工况时的总声功率和A计权声功率。

由于η和$\eta(A)$值很小，一般用它们的级来表示：

$$L_{\eta}=10\lg\frac{W}{P_e} \tag{6.3.2—30}$$

$$L_{\eta(A)}=10\lg\frac{W_A}{P_e} \tag{6.3.2—31}$$

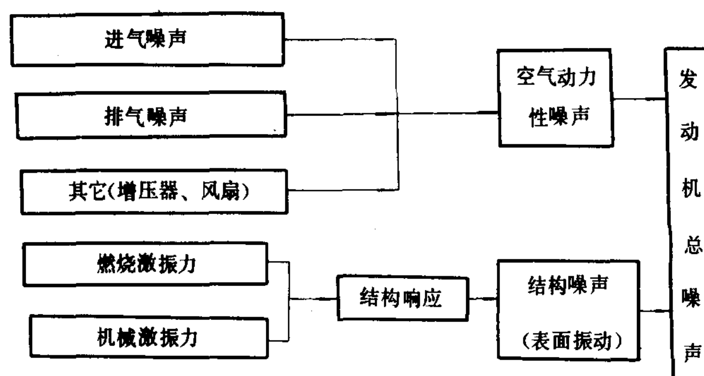


图 6.3.2—7 柴油机噪声源分类示意图

表 6.3.2—22 为与柴油机缸径，转速和缸数有关的总声压级的经验值。

表 6.3.2—22 **柴油机的总声压级**

缸径 mm	转速 r/min	缸 数	比质量 kg/kw	相应的声级 dB
>500	<200	5—12	<60 >60	98～101 96～99
130—250	<500	3—9	<27 >27	97～102 96～100
>250	<500	4—9	<27 27—40 >40	104～107 102～105 100～103
130—250	501—1000	2—12	<14 14—27 >27	102～111 99～108 96～105
>250	501—1000	4—16	<14 14—27 >27	106～112 104～110 102～108

续上表

缸径 mm	转速 r/min	缸　数	比质量 kg/kw	相应的声级 dB
<130	>1000	1—8	<14	95～104
			14—27	93～102
			>27	91～100
130—250	>1000	4—16	<2.0	117～123
			2.0—4.0	114～120
			4.0—14	108～114
			14—27	105～111
			>27	103～109

表 6.3.2—23 是某些柴油机的噪声频谱，表中的数值是在自由声场中离声源距离 1m 时测得。

表 6.3.2—23　　**某些船用柴油机的平均声级**

发动机型号	制造厂	转速 r/min	功率 kW	倍频程中心频率 Hz									A dBA	L dB
				31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
低　速　机														
6K90GF	B&W	112	13980	96	95	95	97	99	101	98	98	83	105	107
Д 6—21	БМЗ	122	15900	104	99	98	97	96	95	92	97	79	100	105
Д 6—12	БМЗ	115	8830	98	97	95	97	97	96	94	91	81	101	105
Д 6—10	БМЗ	115	7070	98	95	93	89	91	91	88	85	81	95	102
Д 6—6	БМЗ	115	6620	95	94	93	94	95	96	96	91	85	100	103
Д 6—14	БМЗ	140	4490	97	95	96	93	94	95	94	85.5	80	99	104
574—VIBF—160	B&W	115	5740	92	94	96	93	92	92	93	89	82	97	103
Д 6—2	БМЗ	170	3830	93	96	96	92	91	91	90	83	77	96	103
Д 6—7	БМЗ	170	3600	98	97	99	93	93	95	92	89	79	99	104
Д 6—4	БМЗ	170	2130	93	98	93	96	98	95	93	86	79	100	104
6RD76	SULZER	119	7060	—	95	95	95	93	91	94	83	74	97	106
9SD72	SULZER	125	4630	103	104	99	94	95	95	92	85	77	99	110
6RND68	SULZER	150	7280	95	96	96	97	98	97	94	92	83	101	106
5RD68	SULZER	135	4050	94	95	93	94	93	89	86	83	77	96	103
B546TS	FIAT	155	2130	94	97	98	98	97	92	87	80	74	98	104
STD56/110	SULZER	155	1760	104	102	104	102	99	96	92	86	75	101	109
K6Z57/80F	MAN	225	3970	106	107	102	96	94	93	93	88	82	100	114
K6Z57/80C	MAN	185	2390	105	104	97	94	94	94	92	89	82	99	110

续上表

发动机型号	制造厂	转速 r/min	功率 kW	倍频程中心频率 Hz 31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	A dBA	L dB
中　速　机														
6ТАД-36	Ckoda—Sulzer	285	1100	98	96	97	102	101	98	95	91	84	103	107
6L525IIPS	Брно	233	1470	100	97	97	99	100	99	92	99	82	104	108
LD8315RF		400	730	95	91	91	94	95	94	89	84	79	98	103
16V23HV	B&W	800	1470	101	106	102	102	104	105	101	96	93	107	112
8ДР43/61		250	1470	114	107	100	103	99	97	92	87	82	102	116
G8V30/45	MAN	370	700	92	94	93	99	102	99	95	89	82	102	109
8ЧН25/34		500	440	99	96	93	96	99	96	96	91	83	102	109
8Ч23/30—2		750	330	92	94	91	96	102	101	96	90	85	104	106
6ДР30/50		300	440	109	104	99	102	98	93	90	85	79	100	115
3Д100		810	1320	96	105	104	108	111	106	101	93	85	110	113
14Д100		810	1910	110	105	104	106	108	106	104	105	99	111	114
6Ч25/34		500	220	92	97	93	95	97	94	89	83	79	97	105
SB—300HDK	Bolnes	375	1690	97	96	98	97	97	98	96	91	91	103	106
8T—23H	B&W	825	800	94	100	94	97	101	99	97	90	90	104	107
726MTBF—40	B&N	600	850	101	96	96	98	99	84	90	84	80	100	107
6NVD36/24	SkL	500	330	88	94	92	92	94	94	90	80	74	96	100
8NVD48A	SKL	375	730	103	96	92	94	99	95	92	87	81	100	107
D484—64	MWM	375	380	94	97	93	96	95	97	92	87	80	101	105
5KNL75/500	Bolnes	550	240	98	97	97	95	90	98	86	83	77	94	104
ГА-25		750	610	95	96	95	95	99	98	92	88	82	101	105
Г-74		500	1100	—	94	100	101	100	99	95	94	85	104	108
高　速　机														
2—6D49		1000	1100		96	98	101	103	103	98	97	94	106	109
M—400		1550	730		100	101	104	106	111	110	107	101	114	116
D—50		740	730		100	98	100	104	103	103	97	90	106	110
3D6		1500	110	95	101	95	95	102	104	103	96	70	107	109
4Ч11/13—2		1500	40	108	107	105	92	94	95	93	86	78	105	112
BIF6M716	Deutze	1500	80	80	86	92	96	97	99	92	91	88	101	103

国际内燃机内会议(CIMAC)噪声组曾对各类柴油机(单缸、多缸、水冷、风冷、直列式、V型)209 台作了噪声统计调查(其中四冲程机 191 台,二冲程机 18 台,功率范围为 8～6000kW,转速为 200～3000r/min),得到的噪声估算公式见式 6.3.5—19。图 6.3.2—8 为这 209 台柴油机的 A 声计权声功率级 L_{WA} 和自由声场条件中离机体 1m 时的 A 声级的频率图。由图看出:声功率级 100—130dBA,声压级 80～110dBA,绝大部分的柴油机(130 台,68%)的声级为 95～105dBA。

图 6.3.2—9 为柴油机声辐射系数 $L_{\eta A}$ 与转速的关系,图中的直线为数学期望,其数学关系为:

$$L_{\eta A}=10\lg(\frac{n_e}{n_0})-91 \qquad (6.3.2-32)$$

式中：n_e——额定转速，r/min；

$n_0=1$r/min。

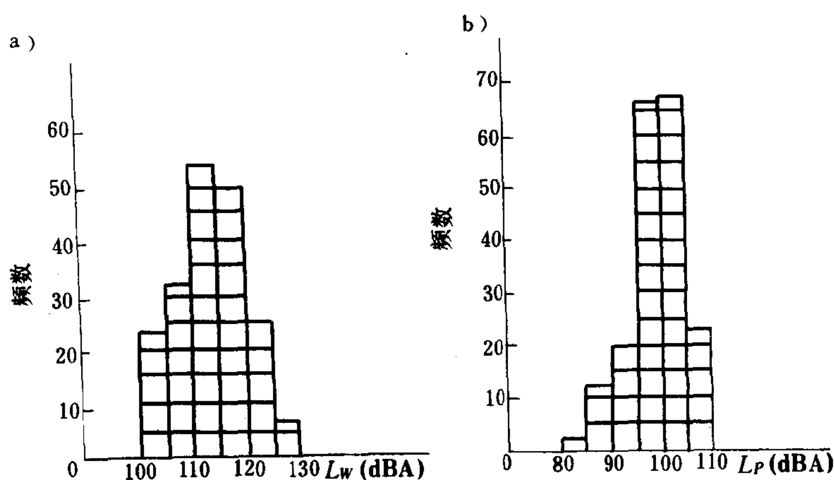


图 6.3.2—8　柴油机声功率级和声压级的频率分布图

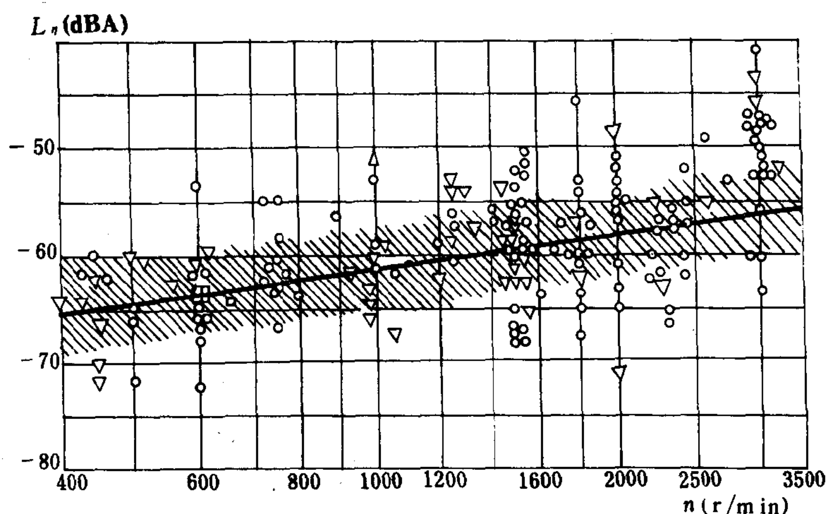


图 6.3.2—9　柴油机声辐射系数$L_{\eta A}$与转速的关系

对于功率大于 75 kW 的柴油机来说，噪声级的实际值与估算值的偏差为±4dBA，高速单缸机和双缸柴油机，最大偏差为±10dBA。从声学品质来看，声辐射的最大值与最小值之差$\Delta L_{\eta A}=L_{\eta max}-L_{\eta Amin}$表明：最噪闹的柴油机实际可能的降噪量约为 8～10dBA。

图 6.3.2—10 为某些低速柴油机的声功率频谱，这些柴油机是 Sulzer 的 RD—76，MAN 的 K9Z70/120，B&W—БМЗ 的 Д 6-6 БМЗ 的 Д 6-10。

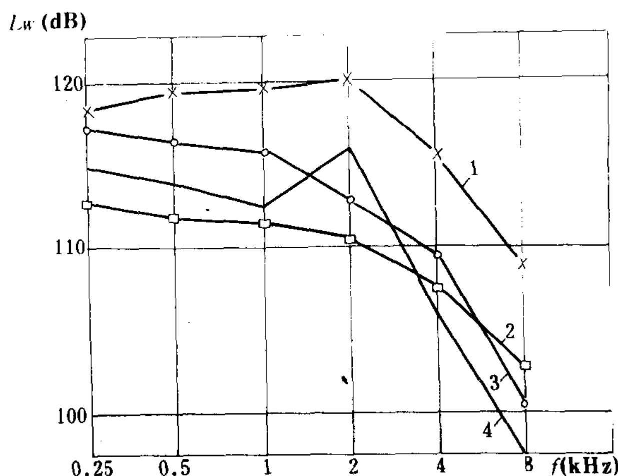


图 6.3.2—10　各种低速柴油机的倍频带声功率级图

1—Д σ—6；2—Д σ—10；3—k—9z；4—RD—76

3.2　柴油机的空气动力性噪声

3.2.1　柴油机的排气噪声

柴油机的排气噪声是由于废气以脉冲形式向大气排出时所产生的一种空气动力性噪声。

排气噪声是一种连续的宽频带噪声，其频率成分可从几十赫到一万赫以上。频谱特性基本上与每秒钟的排气次数，每一次排气的延续时间，排气管系的结构和形状及柴油机的功率有关。

排气噪声可分为：基频噪声、管道气柱共振噪声、废气喷注和冲击噪声、排气阀区域的卡门涡流噪声以及排气管道内壁处的紊流噪声。

基频噪声的频率 f_0 用下式计算：

$$f_0 \frac{nZ}{60i} \quad \text{Hz} \qquad (6.3.2—33)$$

式中：n——柴油机的转速，r/min；

Z——气缸数；

i——冲程系数。i=1 为二冲程机，i=2 为四冲程机。

除基频 f_0 之外，尚有一些为 f_0 整数倍的谐波成分，一般来讲，f_0 的声强最大，随着谐波阶数的增高，其噪声强度迅速降低。

管道气柱共振噪声的频率 f 用下式计算：

$$f=\frac{2n-1}{4}\frac{c}{l} \quad \text{Hz} \qquad (6.3.2—34)$$

式中：c——声速，m/s；

l——排气总管的长度，m。可取消声器入口到各缸排气阀之间距离的平均值；

n——序数，n=1.2.3……。

废气喷注噪声，卡门涡流噪声的峰值频率 f 为：

$$f=S_{tr}\frac{u}{d} \quad \text{Hz} \qquad (6.3.2—35)$$

式中：u——废气速度，m/s；

d——气流受阻时障碍物的特征尺寸，对于圆管即为直径，m；

S_{tr}——斯脱罗哈数(strouhal)，是与雷诺数有关的无量纲量。当气体绕圆柱体时，S_{tr}=

0.2～0.186；以冲角 20°＜α＜90°绕过薄板时，S_{tr}＝0.165～0.180；气体通过缝隙时，S_{tr}＝0.055。

排气噪声的频谱可以用计算方法算出，但最可靠的仍然是现场测定，因有些高频成分用计算方法是难以解决的。

现代船用柴油机的排气噪声的声级约为 105～120dBA，降低排气噪声的办法是安装消声器。

3.2.2 柴油机增压系统的噪声

增压系统的噪声是柴油机的强噪声源之一，它基本上决定了机舱内的总声级的大小。

增压系统的主要噪声源有：涡轮压缩机，增压管路和进气管路。

图 6.3.2—11 是某些船用柴油机增压系统噪声的“贡献”。其中 MAN 厂的 V12V26.5/30 和 V6V23/23TL 型机（n＝1050r/min）是距柴油机 1m 时测得的平均声级，苏联 БМЗ 厂的 7Д KPH50/110-2 机（P_e＝3600kW，n＝170r/min）则是在台架上测得的。

由图看出：在高频段（1～10KHz）增压系统使噪声明显增大，低速柴油机低频段噪声增大的原因是压气机进口处的空气动力脉冲和增压装置转子不平衡振动造成的，图中表明：7Д KPH50/110－2 和 MAN 机的增压系统使噪声分别增大 6dBA 和 2～3dBA。

MAN 公司的 16 种低速柴油机（$\frac{D}{S}$＝60/105～93/170，P_e＝5000～20000kW，n＝165～112r/min）仅改善增压系统就降低噪声 5～9dBA，而 B&W—БМЗ 联合制造的一些柴油机则可达 8—10dBA。

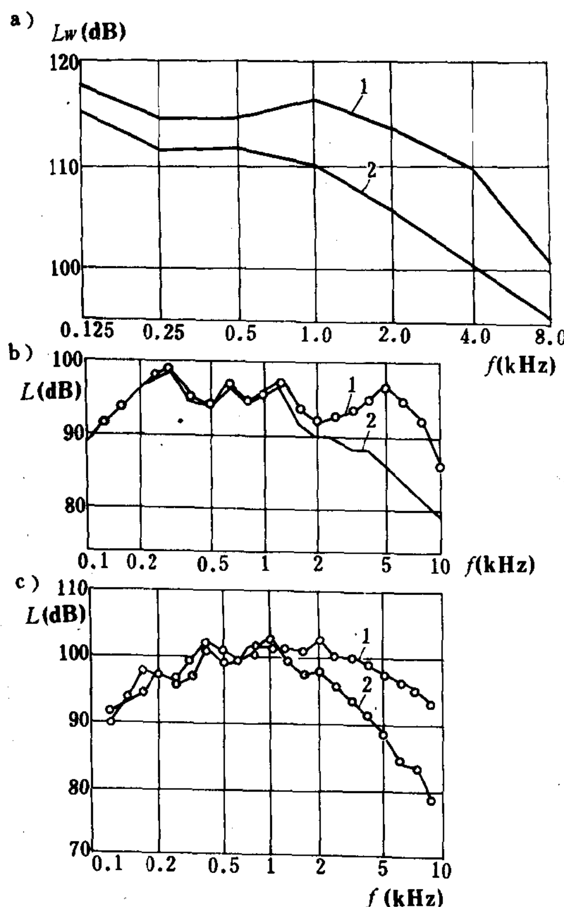


图 6.3.2—11 柴油机的噪声

1—增压；2—非增压。

a)7Д KPH50/110－2；b)V12V26.5/30；c)V6V23/23TL。

柴油机增压系统的声功率 W_T 与柴油机的功率 P_d 的 3.5 次方成正比，即 $W_T \sim P_d^{3.5}$。柴油机的功率相同，增压系统的声功率亦相同，与柴油机的转速无关。中低速柴油机增压系统的噪声大于机械噪声。高速柴油机机械噪声的声功率与柴油机的转速 n 的 3～4 次方成正比。当采用无叶扩压器时，在一定条件下，机械噪声的声级可能大于涡轮增压系统产生的噪声级。

1）涡轮增压机组的声学特性

离心式压气机的噪声频谱由离散型“气笛”声及其谐波和涡流噪声组成，其离散频率按下式计算：

$$f=\frac{knz}{60} \quad \text{Hz} \tag{6.3.2—36}$$

式中：n——压气机的转速，r/min；

z——转子的叶片数；

k——序数，k=1、2、3……。

2）离心式压气机声功率级估算

离心式压气机的声功率级为：

$$L_W=36\lg\pi_k G+107 \quad \text{dBA} \tag{6.3.2—37}$$

式中：π_k——压缩比；

G——压气机的质量流量，kg/s。

离心式压气机 1000、2000、4000、8000Hz 的声功率级曲线可按图 6.3.2—12 上的线图查找。

3）降低增压系统声源噪声的方法

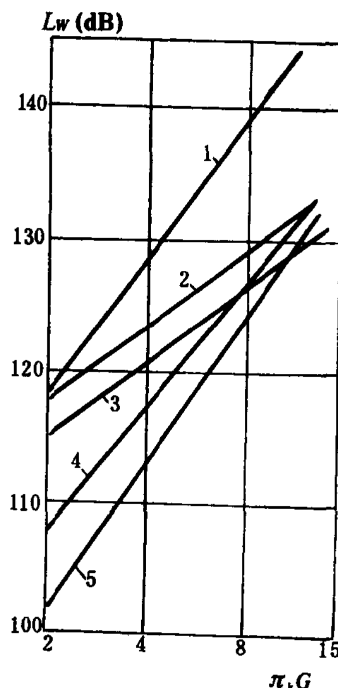


图 6.3.2—12　离心式压气机倍频带声功率级计算图

1—总声功率级；2—2000Hz 声功率级；3—1000Hz 声功率级；

4—4000Hz 声功率级；5—8000Hz 声功率级。

降低增压系统声源噪声的方法很多，但一般都难以实现，原因是在设计压气机时首先考虑的是经济性及其与柴油机的匹配问题。减少压气机“气笛”型噪声的主要措施是：增大定子和转子之间的间隙，采用无叶扩压器、选择最佳的定子和转子叶片数的比值，其中无叶扩压器的效

果最好。

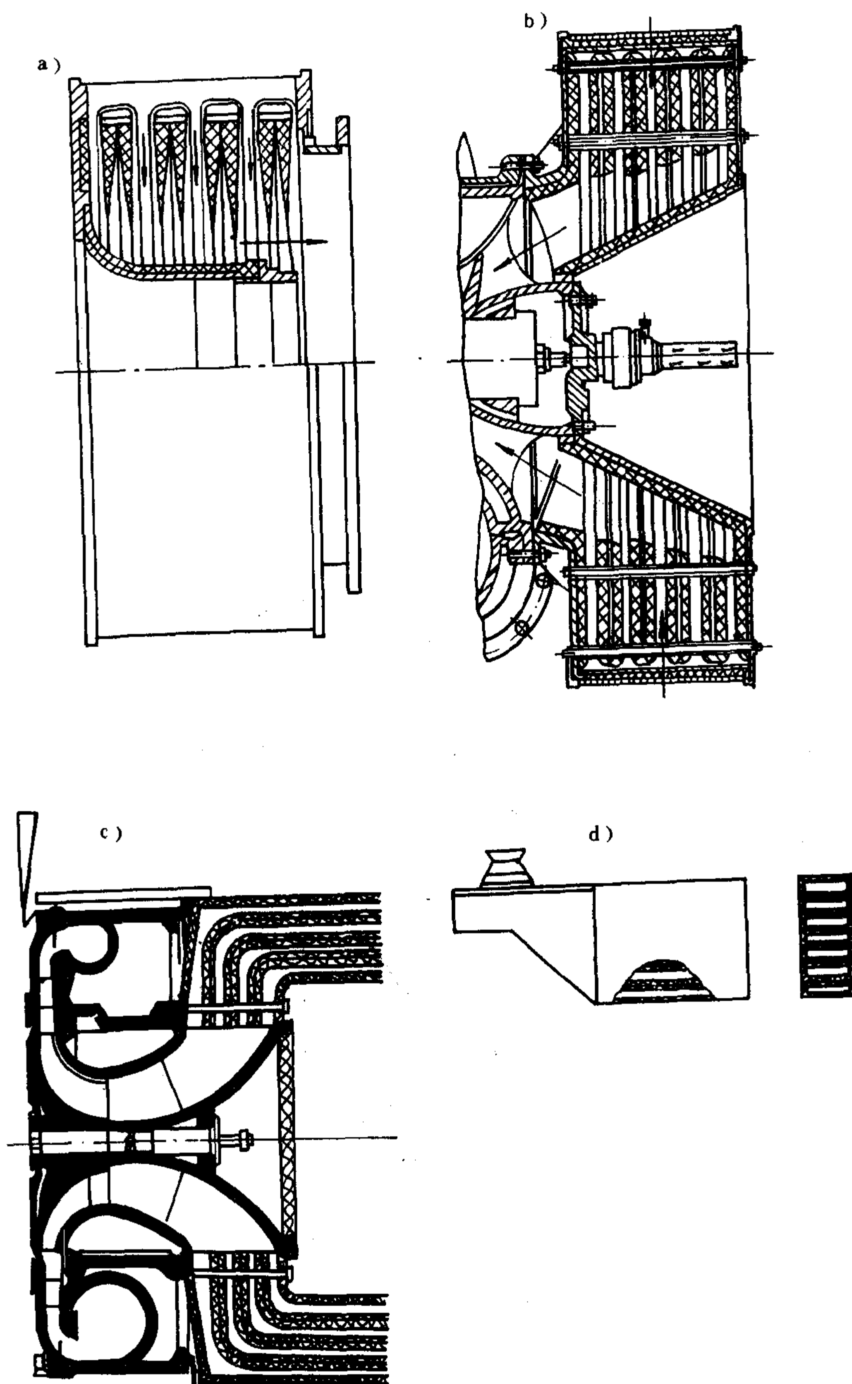


图 6.3.2—13 离心式压气机进气消声器

a)具有尖劈元件的消声器；b)薄片式元伯的消声器；

c)加长型薄片式元件的消声器；d)薄片可输出的消声器

降低压气机进气噪声的最有效的方法是安装消声器。压气机的声功率越大，消声器的效果就越好。图 6.3.2—13 为船用柴油机增压系统所广泛采用的阻性消声器的结构示意图，其中图 a)是中高速柴油机涡轮压气机用的消声器，消声元件为尖劈。消声效果见图 6.3.2—14，消声量为 25～30dB。该种消声器的缺点是消声元件的制造工艺性差，消声元件污染后必须更换，空气阻力大(约为 250mm 水柱)。图 6.3.2—13b)为另一种较为广泛使用的消声器结构型式，消声元件为粘贴厚度 8～10mm 毛毡的金属薄片，薄片长度为 100～250mm，消声元件顺着空气

流动方向安装，元件之间的间隙为 8～15mm，消声效果约为 25～30dB，空气阻力只有 50～80mm 水柱。该消声器的优点是工艺性好，消声元件在运转时不易损坏。图 6.3.2—13c）的结构形式与 b）类似，但消声元件加长了，并作成 90°的弯头，其目的是增大消声效果，这种消声器通常用在大功率低速柴油机的涡轮增压机组上。图 6.3.2—13d）是小间隙薄片式消声器的典型结构，一般应用在船用燃气轮机上，若柴油机进气管噪声很大以及涡轮增压装置的空气管由机舱外引进时，也应用这种消声器。

涡轮增压机组辐射的噪声由两部分组成，即由转子不平衡引起的低频噪声和由“气笛”声引起的高频噪声。“气笛”噪声可采用无叶扩压器来消除。转子不平衡引起的机械噪声的强度与转子的圆周速度的 7 次方成正比，它可用精确的动平衡来降低，工厂生产时，转子的平衡度不应超过 2—5g · cm。大型涡轮增压机组的转子动平衡工作应当在涡轮增压机组安装在柴油机上之前做起，柴油机台架试验后也必须做转子的动平衡工作，在运转过程中，由于碳粒沉积在涡轮的叶片和圆盘上，压气机受到污阻使动平衡遭到破坏。

某些柴油机制造厂将转子的轴承安装在弹性支承上，使转子能自动定心并减少振动的传递，以此来减少噪声

随着船用柴油机的不断强化，涡轮增压机组的尺度和容量急剧增长。瑞士 Broun－Bonere 公司开发生产的最大功率柴油机 VTR－900 的涡轮增压机组的参数是：质量流量 G＝40～45kg/s，压缩比 $\pi_k=2\sim3$，系数 $\pi_{kG}=90\sim120$kg/s，此时的声功率达 170dBA，因此，该公司在压缩机蜗壳的周围设置了隔声区，而 MAN 厂则在蜗壳外面用 1～1.5mm 厚的薄钢板包扎。在压气机组上一般不用隔声罩，因效果不大又使管理复杂。

增压管道的噪声降低值至少要 8～10dBA。图 6.3.2—15 为涡轮压气机的板式消声器的示意图，其中 a）为苏联 БМЗ 厂的产品；b）为 MAN 厂中低柴油机上的消声器，用在 K10Z70/120E 低速机的空气管中，消声效果为 12～15dB。

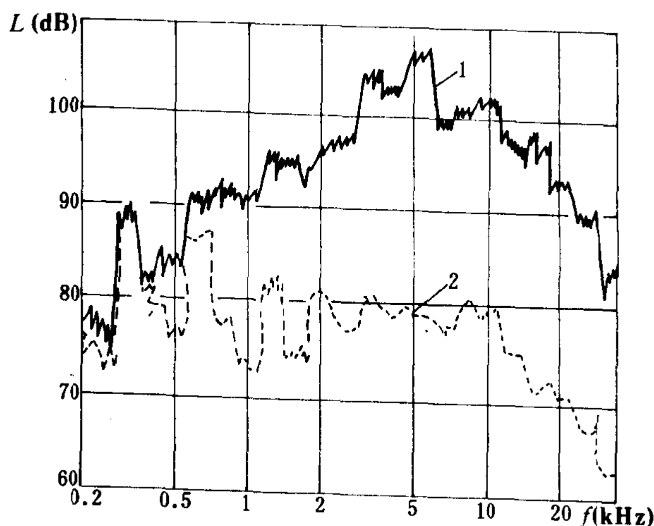


图 6.3.2—14 尖劈元件消声器的消声效果

1—未装消声器；2—加消声器

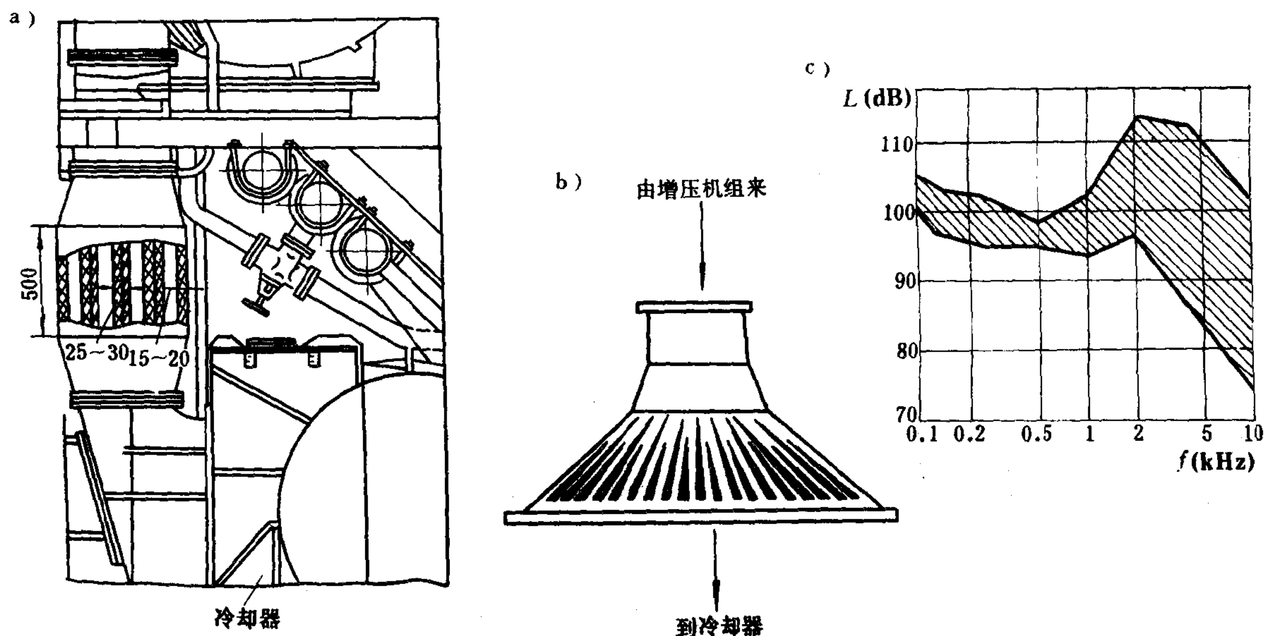


图 6.3.2—15　涡轮压气机增压管用的板式消声器

a)БМЗ厂Д KPH74/160型柴油机；b)MAN厂 K10Z70/120E 柴油机；

c)MAN厂K10Z70/120E 柴油机空气管中板式消声器的消声效果

图 6.3.2—16 为中速机及某些低速机上采用隔声屏的示意图。

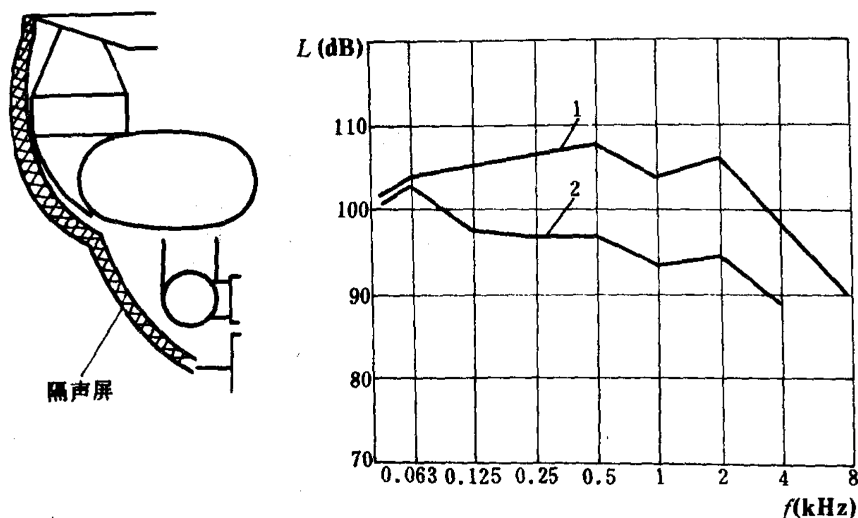


图 6.3.2—16　K12 93/120 柴油机涡轮增压机组增压管降噪示意图

1—柴油机无隔声屏；2—柴油机有隔声屏

3.2.3　柴油机排气消声器

1)消声器的结构型式

按工作原理,消声器分为阻性消声器、抗性消声器和复合式消声器。低速柴油机的排气噪声低频成分占优势,应采用抗性消声器;沿海船舶和内河船舶的柴油机多为中高速柴油机,排

气管较短，排气噪声中的中高频成分占优势，应采用抗性复合式或阻抗复合式消声器。

(1)阻性消声器

图 6.3.2—17 为阻性消声器的结构示意图，它是在管道内壁敷设吸声材料，利用增加声阻的原理来吸收噪声能量的一种消声器。

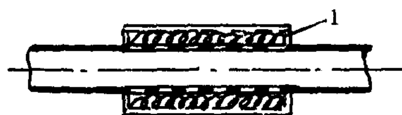


图 6.3.2—17 阻性消声器结构示意图

1—吸声材料

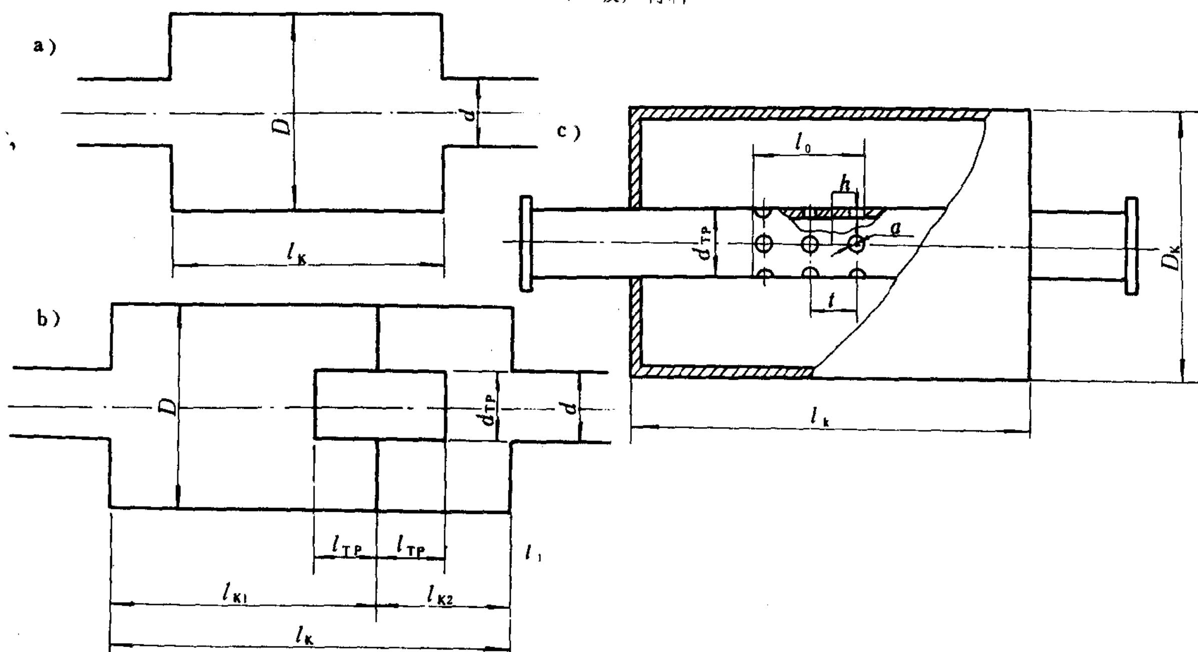


图 6.3.2—18 抗性消声器结构示意图

a)单膨胀室消声器；b)双膨胀室消声器；

c)单共振室消声器。

(2)抗性消声器

抗性消声器分为膨胀室式消声器和共振式消声器两大类(其它类型的消声器应用很少)。图6.3.2—18为抗性消声器的结构示意图。膨胀室式消声器是利用管道截面的突变引起声阻抗变化所产生的声波反射和干涉作用而使沿管道传播的某些频率或频段的噪声得到降低。共振式消声器是在声波通道上并联一个或若干个共振腔室，利用共振来损耗声能的一种抗性消声器。

2)消声器所要求的减噪量

消声器的消声效果用插入损失来衡量。所需的消声量按下式计算：

$$\Delta L = L_1 - L_2 + 5 \quad \text{dB} \tag{6.3.2—38}$$

式中：L_1——无消声器时船舶甲板上计算点处的倍频带声级；

L_2——计算点处按噪声标准所规定的许用声级。

计算式中若都是以 1/3 倍频带级计算的话，则式中的 +5 应取消。

L_1 值的估算式为：

$$L_1 = L_{dm} - 20\lg r \quad dB \tag{6.3.2—39}$$

式中：L_{dm} ——离船舶排气系统排气口出口处1m并同排气管中心线成30°角时测得的声压级；

r ——由船舶排气系统的排气口至船舶甲板上计算点之间的直线距离，m。

L_1亦可用下式估算：

$$L_1 = Lde - \Sigma\Delta L_z - R_b - 20\lg\frac{r}{d} - 12 \tag{6.3.2—40}$$

式中：L_{de} ——非增压柴油机排气系统（在排气总管截面上）进口处或者增压柴油机废气涡轮后面测得的声压级，dB；

$\Sigma\Delta L_Z$ ——由声级L_{de}的测点起沿着排气管传至排气口的声能损失之和，dB；

R_b ——排气口的开口端反射损失，dB；

d ——排气管的直径，m；

r ——含义见式(6.3.2—39)。

$\Sigma\Delta L_Z$的大小与管道的直径和声音的频率有关，直段管道和弯头的声能损失见表6.3.2—24。和6.3.2—25

表6.3.2—24 **角度为135～270°的弯管的噪声衰减值** dB/m

管道直径 mm	频带频率 Hz						
	37.5—75	75—150	150—300	300—600	600—1200	1200—2400	≥2400
100—250	0	0	0	0	1	2	3
250—500	0	0	0	1	2	3	3
500—1000	0	0	1	2	3	3	3
1000—2000	0	1	2	3	3	3	3

表6.3.2—25 **直管段的噪声衰减值** dB/m

管道直径 mm	频带频率 Hz				
	37.5—75	75—150	150—300	300—600	>600
75～200	0.10	0.10	0.15	0.15	0.30
200～400	0.06	0.10	0.10	0.15	0.20
400～800	0.03	0.06	0.06	0.10	0.15
800～1600	0.03	0.03	0.03	0.06	0.06

排气口开口端反射损失R_b的大小与比值$\frac{d}{c}$有关，C为废气中的声速，m/s，$C=20.1\sqrt{T}$，T为废气的绝对温度K，它可用排气总管中的废气温度T_0来估算，$T=T_0-\Delta T$，ΔT为废气在排气管中冷却的修正值，一般取$\Delta T=50-80K$，d为排气口的直径m。P_b值的大小见表6.3.2—26。

表 6.3.2-26　　**内燃机排气系统开口端末端声反射损失 dB**

d/cs	$\frac{1}{3}$倍频带中心频率 Hz																
	25	31	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000
1.10^{-4}	31	30	29	27.5	26	23.5	21	20	18.5	17	16	14.5	12.5	11	9	8	7
2.10^{-4}	27.5	26	23.5	21	20	18.5	17	16	14	12.5	11	9	8	7	6	4.5	3.5
3.10^{-4}	24	22	20	19	17.5	16	14.5	13	11	9.5	8.5	7.5	6	5	4	2.5	1.5
4.10^{-4}	21	20	18.5	17	17.5	14	12.5	11	9	8	7	6	4.5	3.5	2.5	1.5	0.5
5.10^{-4}	20	18.5	17	16	16.5	12.5	11	9	8	7	6	5	3.5	2.5	1.5	0.5	0
6.10^{-4}	19	17.5	16	14.5	13	11	9.5	8.5	7.5	6	5	4	2.5	1.5	1	0.5	0
7.10^{-4}	18	16.5	15	13.5	11.5	10	8.5	7.5	6.5	6	4	3	2	1	0.5	0	0
8.10^{-4}	17	16	14	12.5	10.5	9	8	7	6	4.5	3.5	2.5	1.5	0.5	0.5	0	0
9.10^{-4}	16.5	15	13	11.5	10	8.5	7.5	6.5	6	4	3	1.5	1	0.5	0	0	0
1.10^{-3}	16	14.5	12.5	11	9	8	7	6	4.5	3.5	2.5	1.5	0.5	0	0	0	0
$1.1\cdot10^{-3}$	15	13.5	11.5	10	9	8	6.5	5.5	3	3	2	1	0.5	0	0	0	0
$1.2\cdot10^{-3}$	14.5	12	11	9.5	8.5	7.5	6	5	4	2.5	1.5	1	0.5	0	0	0	0
$1.3\cdot10^{-3}$	14	12	10.5	9	8	7	5.5	4.5	3.5	2	1	0.5	0	0	0	0	0
$1.4\cdot10^{-3}$	13.5	12	10	8.5	7.5	6.5	5.5	4	3	2	1	0.5	0	0	0	0	0
$1.5\cdot10^{-3}$	13	11.5	9.5	8.5	7.5	6	5	4	2.5	1.5	1	0.5	0	0	0	0	0
$1.6\cdot10^{-3}$	12.5	11	9	8	7	6	4.5	3.5	2.5	1.5	0.5	0	0	0	0	0	0
$1.7\cdot10^{-3}$	12	10.5	9	8	7	5.5	4.5	3.5	2	1	0.5	0	0	0	0	0	0
$1.8\cdot10^{-3}$	11.5	10	8.5	7.5	6.5	5.5	4	3	1.5	1	0.5	0	0	0	0	0	0
$1.9\cdot10^{-3}$	11	9.5	8.5	7.5	6	5	4	2.5	1.5	1	0.5	0	0	0	0	0	0
2.10^{-3}	11	9	8	7	6	4	3.5	2.5	1.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0

3)消声器型式的选择

选择消声器的结构和参数时应考虑到噪声的频率特性、柴油机的许用背压及船上安装消声器的位置。消声器每一频段的消声量 ΔL_f 都应大于由式(6.3.2—38)计算出的 ΔL 值,即 ΔL_f 应满足的条件为:

$$\Delta L_f \geqslant \Delta L \qquad (6.3.2\text{—}41)$$

当Δ10～15dB 时,可采用单膨胀室消声器;ΔL>15dB 时,宜采用双膨胀室消声器。膨胀室个数多于 2 个的消声器尽量少采用,因其消声效果增加不明显,阻力反而加大。为增加消声效果可以增加消声器个数。

若排气噪声的频谱中有某一强烈的单调成分的噪声分量时,则可选用共振式消声器来消除该噪声分量。

若噪声的频带较宽,则可选用复合式消声器(膨胀室+共振式)。

废气锅炉的消声效果与单膨胀室消声器的效果相当。

4)消声器消声量计算

阻性消声器的计算见 5.4 一节。

(1)单膨胀室消声器消声量计算

单膨胀室消声器消声量 ΔL_f 按下式计算:

$$\Delta L_f = 10\lg\left[1+\frac{1}{4}\left(m-\frac{1}{m}\right)^2\sin^2 kl\right] \quad \text{dB} \qquad (6.3.2\text{—}42)$$

式中：m ——膨胀比，$m=\frac{S_2}{S_1}$，S_2 为膨胀室的截面面积，S_1 为废气流通的管路截面积；

l ——膨胀室的长度，m；

k ——波数，$k=\frac{2\pi}{\lambda}$，λ 为波长。

上式没有考虑大振幅声波的非线性效应，因此声压级仅限于 120dB；流速在 35m/s 以下的气流对消声特性的影响可以不考虑。消声器的截面不一定是圆的，但其横向尺寸必须小于 0.8λ。

最大消声量的频率为：

$$f_n=\frac{2n-1}{4}\cdot\frac{C}{l} \quad \text{Hz} \qquad (6.3.2\text{—}43)$$

式中：n＝1、2、3…。即膨胀室长度 l 等于 $\frac{1}{4}\lambda$ 的奇数倍时，消声器对该频率的消声量最大。

消声量等于零的频率(称通过频率)为：

$$f_n=\frac{n}{2}\cdot\frac{C}{l} \quad \text{Hz} \qquad (6.3.2\text{—}44)$$

即膨胀室长度等于 $\frac{1}{2}\lambda$ 的偶数倍时，消声器对该频率的消声量等于零。为消除通过频率，工程上常采用内插管的办法，即在膨胀室的一端插入长度等于膨胀室长度 $\frac{1}{2}$ 的短管，另一端则插入长度为膨胀室长度的 1/4 的短管，就可改善消声效果。

膨胀室直径 D 按下式确定：

$$D=d\sqrt{m} \qquad (6.3.2\text{—}45)$$

式中：d——排气管直径。

膨胀比 m 应满足 $m\leqslant\left(\frac{C}{2fd}\right)^2$ 的条件。

图 6.3.2—19 为单膨胀室消声器的消声量与膨胀比 m 的关系。

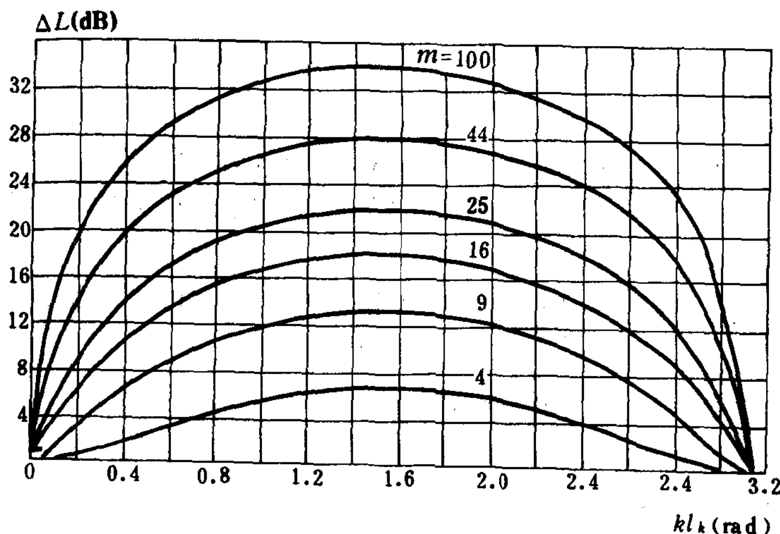


图 6.3.2—19　单膨胀室消声器消声量与膨胀比 m 的关系

(2)双膨胀室消声器消声量计算

如图 6.3.2—18 中所示的双膨胀室消声器消声量按下式计算：

$$\Delta L_f = 10\lg[A^2 + B^2] \qquad dB \qquad (6.3.2\text{—}46)$$

式中：$A = \cos kl - (m-1)\sin kl.\ \mathrm{tg}kl_r$；

$B = 0.5[(m+\frac{1}{m})\sin kl + 2m(m-1)\mathrm{tg}kl_r \times (\frac{1}{m^2}\cos kl_1.\cos kl_2 - \sin kl_1.\sin kl_2)]$；

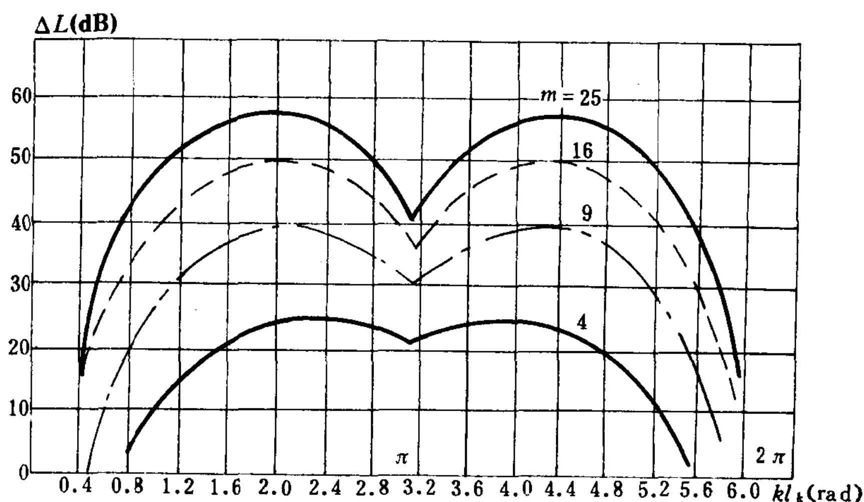
l_r —— 连接管的长度，m；

$l_1.l_2$ —— 每个膨胀室的长度，m；

$l = l_1 + l_2$ —— 消声器的长度，m；

k —— 波数，$k=\frac{2\pi}{\lambda}$，λ 为波长，m；

图 6.3.2—20 为双膨胀室消声器的计算图。



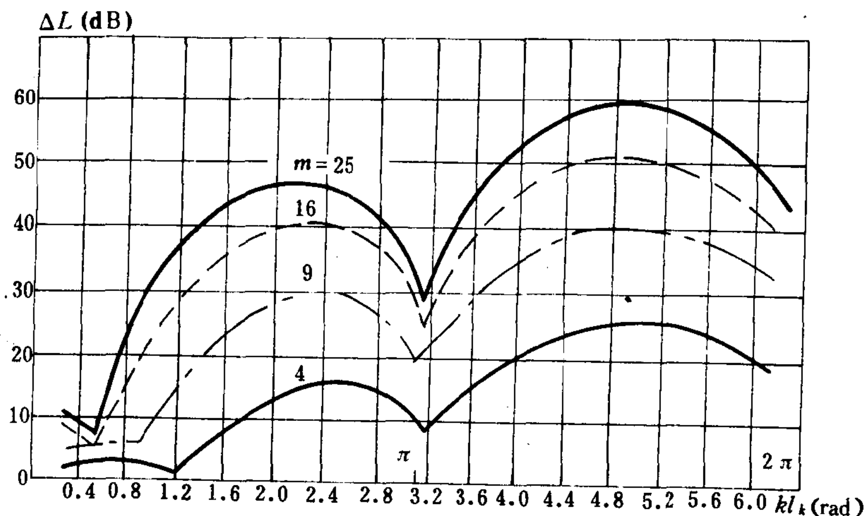
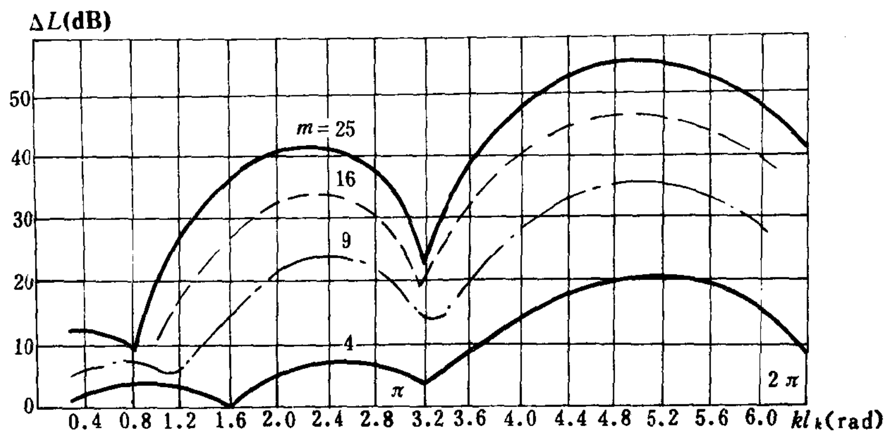


图 6.3.2—20

c)



d)

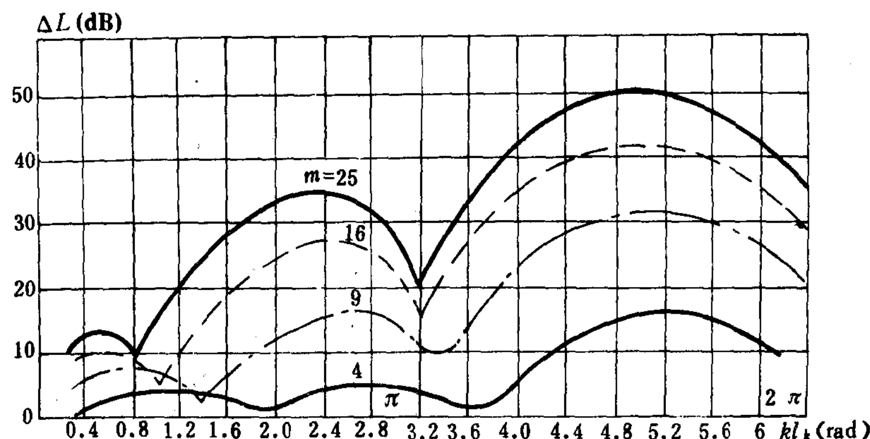


图 6.3.2—20 双膨胀室消声器特性图

a) $l_2=l_1=2l_r$; b) $l_2=\frac{1}{2}l_1, l_r=\frac{1}{2}l_2$; c) $l_2=\frac{1}{3}l_1, l_r=\frac{1}{2}l_2$; d) $l_2=\frac{1}{4}l_1, l_r=\frac{1}{2}l_2$

消声器尺度 l_1，l_2，l_r 和 m 值可按图 6.3.2—20 选取，当 $kl_1=1.9\sim2.4$ 弧度和 $kl_1=4.1\sim4.7$ 弧度时，消声量达最大值。膨胀室直径按式(4.3.2—45)计算。当两个膨胀室用几个小的内连接管连接时，消声量的计算与用一个总的内连接管(其截面积等于几个小的内连接管面积之和)的计算相同。加长内连接管的长度可提高低频段的消声效果。

(3)共振式消声器消声量的计算

如图 6.3.2—18 中所示的单共振室式消声器的消声量与共振室的长度 l 有关。当 $l\leqslant0.4\lambda_r$ 时：

$$\Delta l_f=10\lg\left[1+\left(\frac{\sqrt{GV}/2s_1}{f/f_r-f_r/f}\right)^2\right] \quad \text{dB} \qquad (6.3.2\text{—}47)$$

当 $l>0.4\lambda_r$ 时：

$$\Delta L_f=10\lg\left[1+\left(\frac{m}{\frac{kS_1}{G}-\text{ctg}\,\frac{kl}{2}}\right)^2\right] \quad \text{dB} \qquad (6.3.2\text{—}48)$$

式中：V ——共振室容积，m^3；

S_1 ——气体流通管道的截面积，m^2；

S ——共振室截面积，m^2；

l ——共振室长度，m；

f_r ——共振频率，HZ，$f_r=\frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{G}{V}}$；

G ——传导率，$G=\frac{0.785d^2n}{\delta+0.785d/j}$；

d ——小孔直径，m；

δ ——管路 d_1 的壁厚，m；

n ——小孔数；

j ——福克函数，与小孔中心距 t 有关，其值见图 6.3.2—21 所示。

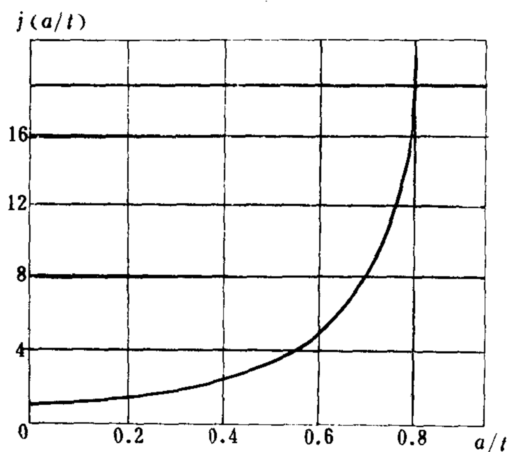


图 6.3.2—21 福克函数

共振室消声器的消声量曲线见图 6.3.2—22 所示。

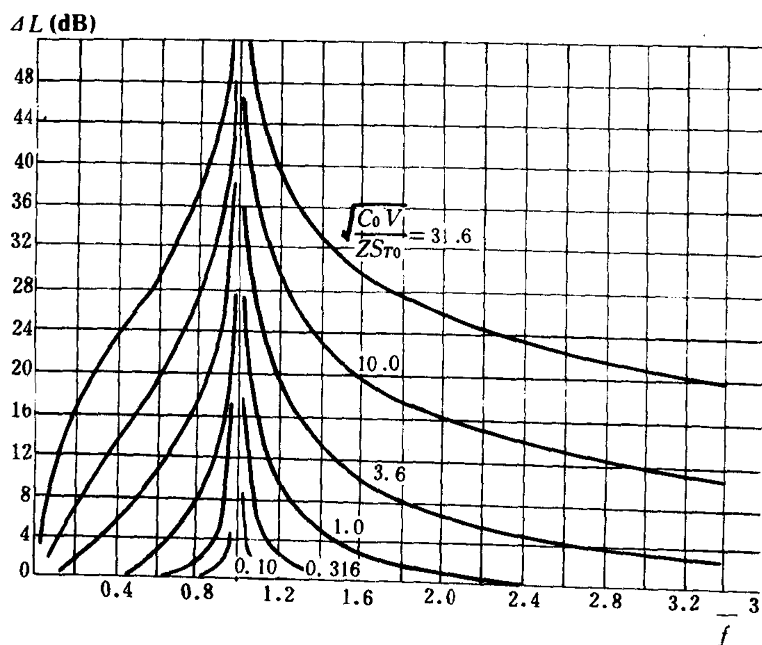


图 6.3.2—22 共振式消声器的消声量曲线

上面两计算式是共振消声器单频消声量计算式，柴油机排气噪声实际上是连续的宽频带的噪声，需要计算频带消声量时可按下式进行。

倍频带的消声量为：

$$\Delta L_f = 10\lg[1+2(\frac{\sqrt{GV}}{2S_1})^2] \quad dB \qquad (6.3.2—49)$$

与它相邻的两个倍频带的消声量为：

$$\Delta L_{f1} = 10\lg[1+\frac{8}{49}(\frac{\sqrt{GV}}{2s_1})^2] \quad dB \qquad (6.3.2—50)$$

1/3 倍频带的消声量为：

$$\Delta L_f = 10\lg[1+19(\frac{\sqrt{GV}}{2s_1})^2] \quad dB \qquad (6.3.2—51)$$

其相邻的四个 1/3 倍频带的消声量为：

$$\Delta L_{f1} = 10\lg[1+2(\frac{\sqrt{GV}}{2S_1})^2] \quad dB \qquad (6.3.2—52)$$

$$\Delta L_{f2} = 10\lg[1+0.67(\frac{\sqrt{GV}}{2S_1})^2] \quad dB \qquad (6.3.2—53)$$

$$\Delta L_{f3} = 10\lg[1+0.31(\frac{\sqrt{GV}}{2S_1})^2] \quad dB \qquad (6.3.2—54)$$

$$\Delta L_{f4} = 10\lg[1+\frac{8}{49}(\frac{\sqrt{GV}}{2S_1})^2] \quad dB \qquad (6.3.2—55)$$

不同频带的消声量与$\frac{\sqrt{GV}}{2S_1}$的关系可查表 6.3.2—27

表 6.3.2—27　　**共振消声器不同频带的消声量计算表**

频带类型 \ ΔL dB \ $\sqrt{GV}/2S_L$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2	3	4	5	6	8	10	15	20
倍频带和相邻第一个 1/3 倍频带 $10\lg[1+2(\frac{\sqrt{GV}}{2S_1})^2]$	0.33	1.2	2.4	3.6	4.8	7.5	9.5	12.8	15	17	18.6	20	23	27	29
1/3 倍频带 $10\lg[1+19(\frac{\sqrt{GV}}{2S_1})^2]$	2.5	6.0	9.0	11.2	12.9	16.4	19	22.6	25.1	27	28.5	31	33	36.5	38.8
相邻第一个倍频带和相邻第四个 1/3 倍频带 $10\lg[1+\frac{8}{49}(\frac{\sqrt{GV}}{2S_1})^2]$	0	0	0.2	0.4	0.8	1.5	2.2	3.9	5.5	7.0	8.4	10.5	12.5	16.6	18.2
相邻第二个 1/3 倍频带 $10\lg[1+0.67(\frac{\sqrt{GV}}{2S_1})^2]$	0	0.5	1.0	1.6	2.2	4.0	6.5	8.5	10.8	12.5	14	16.5	18.4	21.8	24.3
相邻第三个 1/3 倍频带 $10\lg[1+0.31(\frac{\sqrt{GV}}{2S_1})^2]$	0	0.2	0.5	0.9	1.2	2.2	3.5	5.8	8.8	9.5	10.8	13	15	18.5	21

5)抗性消声器的设计步骤及设计要点

(1)膨胀室消声器的设计步骤和要点

设计步骤：

①根据所需要的消声量的大小按式(6.3.2—42)确定膨胀比 m，并使 $m \leqslant (\frac{C}{2fd})^2$，d 为排气管直径；

②根据需要的消声特性，合理分布具有最大消声量的频率，即合理地设计各膨胀室及其内插管的长度；

③画出各膨胀室的消声频谱，叠加而得到总的消声频谱，如果设计的结果与所要求的消声量出入比较大，则应进行调整结构参数。

设计要点：

①合理选择膨胀比 m 值，一般宜控制在 4～15 之间。校大的管道可选 4～6，中等管道选 6～8，较少管道选 8～15，最大不宜大于 20。

②当截面积过大时，为改善消声频宽，应采取分割膨胀室的措施，使之成为多个截面较小的膨胀室并联的形式。

③抗性消声器的内插管不连续段用穿孔率高于 25%(孔径可取 Φ4～10)的开孔管连接起来，可减少截面突变处的局部阻力，消声性不受影响。

例：某发动机排气噪声 500Hz 有一峰值，试设计一个膨胀室消声器，要求消声器在 500Hz 上有 15dB 的消声量。排气管直径为 110mm，排气温度为 450℃。

解：由 $\Delta L_{max}=15=10\lg[1+\frac{1}{4}(m-\frac{1}{m})^2]$，求出 m=11.3。 由 $m \leqslant (\frac{C}{2fd})^2$ 验证得：$m<(\frac{332+0.6\times450}{2\times500\times0.11})^2=29.9$。取 m=12 符合条件，消声器的最大消声频率为 $f=\frac{C}{4l}=500$，求出 l $\frac{332+0.6\times450}{4\times500}=0.301\text{m}$；

两端的内插管长度分别为 $\frac{1}{2}l=0.15\text{m}$ 和 $\frac{1}{4}l=0.075\text{m}$，

膨胀室直径 $D=d\sqrt{m}=0.11\sqrt{12}=0.381\text{m}$，所设计的消声器如图 6.3.2—23 所示。

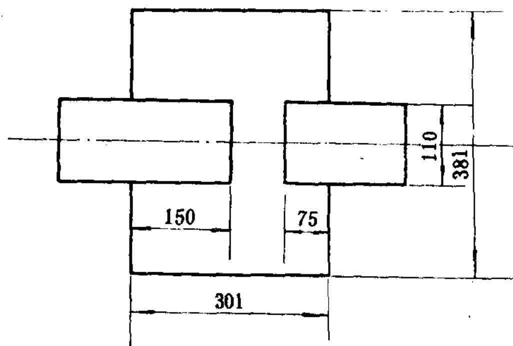


图 6.3.2—23 膨胀室消声器计算例图

(2)共振式消声器的设计步骤和要点

设计步骤：

①根据排气噪声频谱确定共振频率 f_r，使该频率有最大的消声量；

②由式(6.3.2—49)或式(6.3.2—51)按需要的消声量来确定 $\sqrt{GV}$ 值；

③由共振频率 $f_r=\frac{C}{2\pi}\sqrt{\frac{G}{V}}$确定$\sqrt{\frac{G}{V}}$值；

④由求得的 $\sqrt{GV}$和$\sqrt{\frac{G}{V}}$值确定传导率 G 和共振腔的容积 V；

⑤从结构上考虑，由 V 值确定共振腔室的直径和长度；

⑥由 $G=\frac{0.785nd^2}{\delta+0.785d/j}$选取 n. d. δ 值。

设计要点：

①共振消声器适用于带有明显低频噪声峰值的声源的消声处理及对气流阻力要求较严的场合；

②穿孔管的厚度宜为 1～5mm，孔径∅3～10mm；穿孔率宜为 0.5%～5%，管上有孔部分长度应小于$\frac{1}{12}\lambda_r$（共振波长），同时应集中在共振腔的中部，孔心距宜大于孔径的 5 倍，此时可不考虑福克函数的影响：

③若要求的消声量较大，所需的共振腔容积较大、穿孔数较多时，可将一个大的空腔分成几个较小的空腔，这时总的消声量近似地等于各个共振器的消声量之和。

例：在管径为 150mm 的排气管上设计一个共振消声器，使其在中心频率为 250Hz 的倍频带上有 15dB 的消声量。排气温度 为 460℃。

解：由已知条件排气温度为 460℃，此时的声速则为：$C=C_0+0.607t=331.4+0.607\times460=610.6m/s$；

取共振频率 $f_r=250Hz$，由 $f_r=\frac{C}{2\pi}\sqrt{\frac{G}{V}}$得 $\frac{G}{V}=\frac{4\pi^2.f_r^2}{C^2}=6.62$；

由 $\Delta L=10\lg\left[1+2\left(\frac{\sqrt{GV}}{2S_1}\right)^2\right]$或表 4・3・2—27 求得 $\Delta L=15$ 时的$\frac{\sqrt{GV}}{2S_1}=4$，得 $GV=16\times4S_1^2=16\times4\cdot\frac{1}{4}\pi(0.15)^2=1.131$；

由 GV 和$\frac{G}{V}$值得 $V=0.413m^3$；

取共振腔长度 $l=0.4\lambda_r=0.4\cdot\frac{C}{f}=0.4\ \frac{6106}{250}=0.977m$，共振腔直径 $D=\sqrt{\frac{4V}{\pi l}d_1^2}=\sqrt{\frac{4\times0.413}{0.977\times\pi}}=0.718m$；

由$\frac{G}{V}=6.62$ 得 $G=6.62\times0.413=2.734$；穿孔管的管壁厚选为 δ=3mm，孔径 d=8mm，孔中心距大于 5d，则开孔数 n 为：

$$n=\frac{G(\delta+0.785d)}{0.785d^2}=\frac{2.734(0.003+0.785\times0.008)}{0.785\times(0.008)^2}=505\text{个}$$

设计结果为：长度为 0.977m，腔的外径为 0.718m，内径为0.156m，穿孔管的管壁厚度为 3mm，打孔 505 个，孔径为 8mm，孔中心距为 40mm，在共振腔中部均匀地以正方形排列，如图 6.3.2—24 所示。

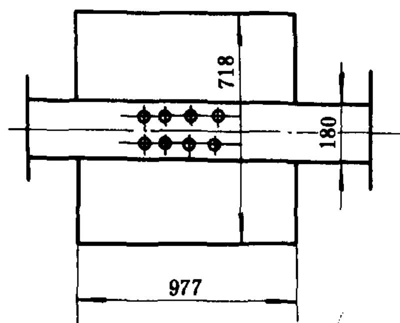


图 6.3.2—24

共振消声器计算例图

6)复合式消声器

船舶上广泛采用的复合式消声器为膨胀室式和共振式的组合体，优点是消声量大、消声频率范围宽。图 6.3.2—25 为其一种的结构示意图。

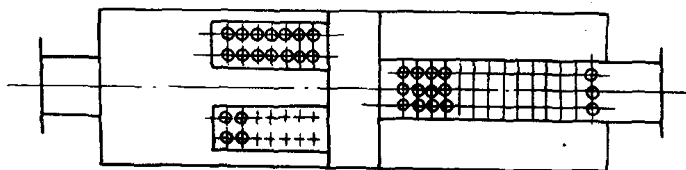


图 6.3.2—25 复合式消声器(膨胀室+共振腔)

装有废气锅炉时，一般可不再装消声器。

7)消声器的布置位置

消声器在排气管路上的布置位置对它的消声效果有很大的影响。安装在管路中间，效果最差；安装在管距的末端，效果亦不好；最合理的方法是按排气系统的激振基频波长来决定。装一个消声器时，布置位置如图 6.3.2—26a)所示，此时尾管长度 $L_0=\frac{1}{4}\lambda$、$\frac{3}{4}\lambda$ 或 $\frac{5}{4}\lambda$；装两个消声器时，布置位置如图 6.3.2—26b)所示，尾管长度 $L_0<\frac{1}{3}\lambda, L_2<\frac{1}{3}\lambda, L_1<\frac{1}{6}\lambda$。激振基频波长 λ 按下式计算：

$$\lambda=\frac{C}{f}=\frac{C\times 60\times z\times a}{n\cdot i} \quad \text{m} \tag{6.3.2—56}$$

式中：C ——声速，m/s；

n ——柴油机转速，r/min；

i ——气缸数；

z ——冲程系数，四冲程机 z=2，二冲程机 z=1；

a ——一个循环内同时向排气管排气的缸数。

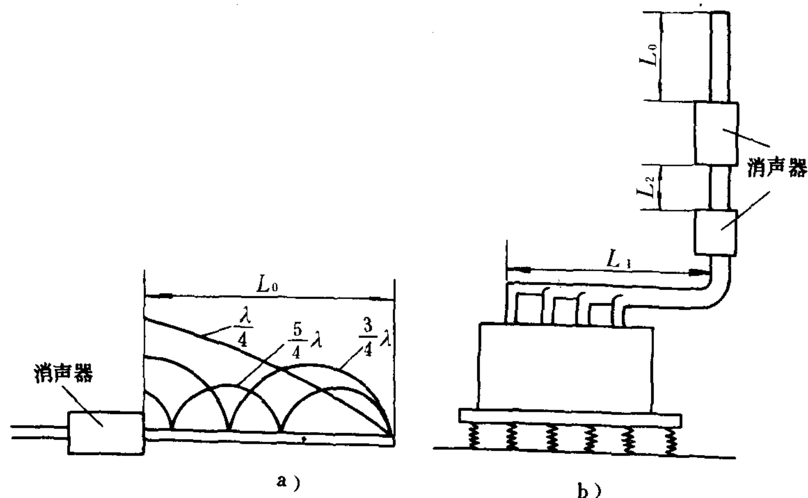


图 6.3.2—26 排气尾管计算示意图

a)一个消声器； b)两个消声器

3.3 柴油机的机械噪声

柴油机的机械噪声是指由气体压力和机件的惯性力作用下所产生的机械撞击声和振动

声。机械噪声主要包括燃烧噪声、活塞的敲击噪声、配气机构的噪声、喷油设备噪声和机身振动激发的噪声。

柴油机辐射的噪声大小取决于三个基本因素：激励力的大小、机身振动强度和振动表面的声辐射系数。减少柴油机噪声应从这三个方面去考虑。一般来讲，柴油机机械噪声的强度与燃烧过程、动力参数和设计参数、结构特点、工艺因素及部件的磨损程度有关，这些因素在不同的结构中作用是不一样的，仅降低一个声源是达不到降低总体噪声的目的，只有从柴油机设计阶段开始到最后制造的各个阶段对上述各个声源都作了有效的降噪工作，那才有可能使柴油机的总体噪声降低 10～12dBA。

3.3.1 燃烧噪声

燃烧噪声是由于气缸内气体压力通过活塞经曲柄连杆机构传至机体以及通过气缸盖等引起发动机结构表面振动而辐射出来的噪声。

柴油机的燃烧过程分为四个阶段：滞燃期、急燃期、缓燃期和后燃期。

燃烧噪声的强度主要与急燃期内气体压力增长率$\frac{dp}{d\varphi}$有关（φ 为曲柄转角），与缓燃期内达到的最高压力关系不大。

气缸内气体压力通过三条途径传递到柴油机外表面，使表面产生振动而辐射噪声，这三条途径是：

1)通过活塞、连杆、曲轴、主轴承传至机体外表面；

2)经过气缸盖传到机体外表面；

3)经缸套侧壁传向机体外表面。

实验证明：燃烧产生的振动能量大部分是通过第 1 条途径的传递来辐射噪声的。

气缸压力曲线和机体表面振动之间的定量传递关系可以预测柴油机表面辐射噪声，但至目前为止，由于测量上和技术上的一系列问题，这种预测方法尚未得到完善的解决。

控制燃烧噪声的方法有：采用新型的燃烧系统，使$(dp/d\varphi)_{max}$不大于 39.2×10^4Pa。常采用的燃烧系统是 M 型燃烧系统和英国 Perkins 公司创造的“SquishLip”燃烧系统。

3.3.2 活塞撞击引起的噪声

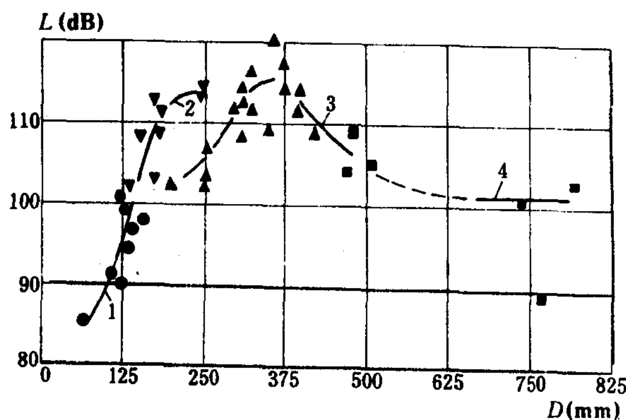


图 6.3.2—27 不同结构柴油机噪声级与缸径关系

1、2—高速柴油机；3—中速柴油机；4—低速柴油机

活塞的撞击强度与很多因素有关，其中主要因素是活塞缸套间的间隙 s 的大小，s 随柴油

机的磨损而增大。间隙 s 的大小与汽缸的尺度有关，新柴油机的 $s=(0.001\sim0.0040)D$，其中 D 为汽缸直径。铸铁活塞的间隙小一些，铝活塞的间隙大一些。图 6.3.2—27 为各种不同结构柴油机(均为增压柴油机)的噪声级与缸径的关系(离机身表面 1m 处的声级，柴油机带进排气消声器)。

由图中看出：中速柴油机 D=350mm 时，噪声最大，缸径再进一步加大，噪声不再增大，这是由于其它因素影响的结果。

降低活塞撞击引起噪声的途径是尽可能地减小热间隙，常用的办法是活塞和缸套都采用线膨胀系数相同的材料、采用优良的制造工艺和装配工艺、减少 $\lambda=r/l$ 值、提高缸壁的刚度、加长能使活塞与缸套之间建立油膜的活塞裙部等等。图 6.3.2—28 为英国设计的保证建立油膜的一种结构示意图。

3.3.3 配气机构的噪声

配气机构是一个很复杂的噪声源，其主要声源有：气阀落座和升起时的冲击、传动机构中的冲击，气流流经阀间隙时引起的空气动力性噪声。

气阀落座时产生的冲缶强度取决于阀杆和摇臂之间的热间隙 S_k 及阀落座时的速度 V_k。

S_k 值为：冷却状态时，$S_k=(0.03\sim0.05)h$；额定工况时，$S_k<0.01h$；其中 h 为阀的升程。

V_k 值与凸轮的外形、配气轴的角速度及热间隙 s_k 有关，V_k(m/s)的许用值由阀座的材料来决定，例如：铸铁的 $V_k=0.3\sim0.4$；钢的 $V_k=0.5\sim0.6$；钴铬钨铁合金(司太立合金)的 $V_k=0.7\sim0.8$。

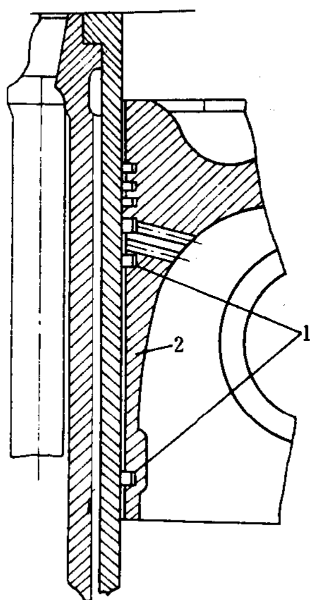


图 6.3.2—28 具有滑油减振的活塞结构

1—保存滑油的油环；2—滑油区

降低配气机构噪声的主要途径有：

1)选用性能优良的凸轮线型，目的是使加速度曲线平滑和惯性力增大的储备较大。满足这要求的有高次简谐型凸轮和滞后动力凸轮。

2)提高配气机构的刚度，其中包括各元件的刚度、摇臂轴及其支承座的刚度，目的是提高固有频率，减少气阀运动的畸变，从而减少振动并降低噪声。弹簧的刚度及弹簧预紧力不能提高，否则会引起传动链载荷增加，磨损加剧并使气阀落座情况恶化。

3)减轻驱动元件的质量。目的是提高固有频率，减少惯性力。配气机构中，气阀质量对系统的固有频率影响最大，其次是挺杆和摇臂等。

4)减少气阀间隙。目的是降低气阀落座速度，减少撞击能量从而减少噪声。

3.3.4 机身振动激发的噪声

柴油机机身振动的固有频率一般为 150～5000Hz，低速柴油机和中速强载柴油机的机身振动频率在 10～1000Hz 之间。机身的固有频率及振型可按一个周边简支的等价矩形板来计算，矩形板的尺度等于机身的长度和高度，厚度等于机身宽度方向的惯性矩的平均值。固有频率用下式计算：

$$f_{m,n}=\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{D}{m_0}\left[\frac{(m+0.5)^4}{l_0^4}+\frac{(n+0.5)^4}{b^4}+\frac{2A}{l_0^2b^2}\right]} \quad (6.3.2—57)$$

式中：m、n ——等价矩形板长度和高度方向上的半波数；

$m_0=\dfrac{M_0}{l_0 b}$——单位面积的质量，M_0 为机身的质量；

l、b ——机身的长度和高度；

A ——与 mn 有关的板的特征函数；$A=(m+0.5)(n+0.5)[(m-0.64)(n-0.64)\cdot\sigma+(m+1.191)(n+1.91)(1-\sigma)]$

其中：σ 为泊松系数。

$D=EIb$——等价板的简形刚度。

其中：E ——为机身材料的弹性模量；

I ——为相对于与纵向平面垂直的轴线的柴油机截面的平均惯矩。

I 和 A 值可用图 6.3.2—29 来估算。图中的 δ_{cT}值为：

$$\sigma_{cT}=\frac{S_{pr}}{2(l_0+ZH_0)} \tag{6.3.2—58}$$

式中：$S_{pr}=\dfrac{M_0}{p_0 b}$——垂直于汽缸中心线的等价板的纵向截面的总面积；

Z——汽缸数；

l_0——机身长度；

H_0——机身的平均宽度。

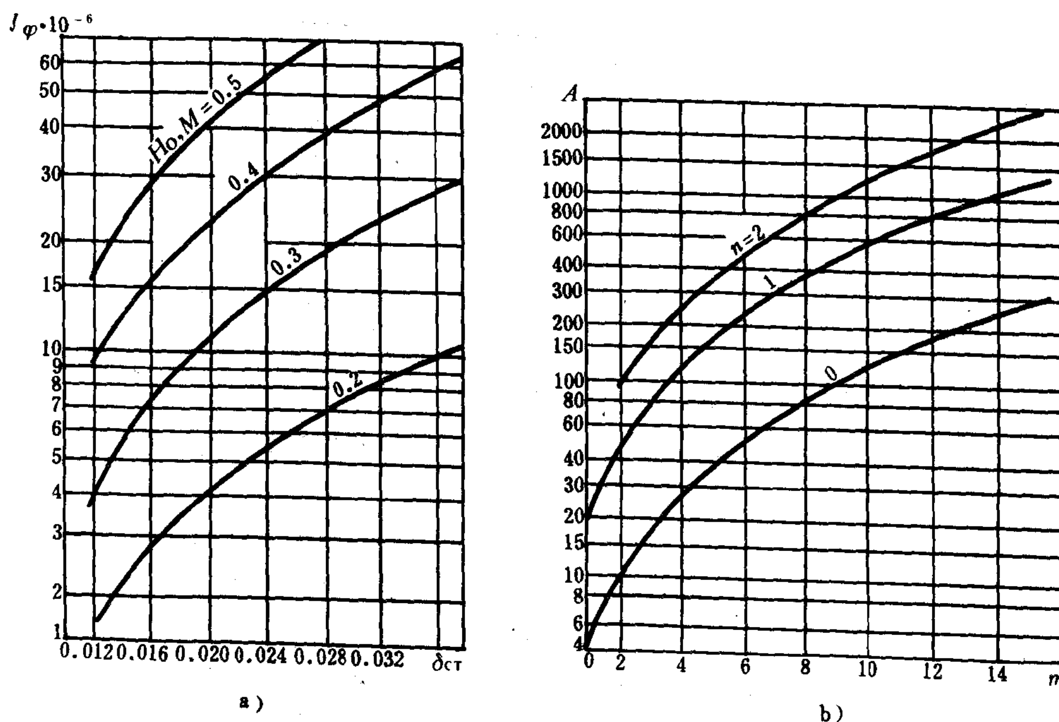


图 6.3.2—29 I、A 值求算图

降低机身振动激发噪声的途径有：

1)增加机身结构材料的阻尼

工作着的柴油机机身的损耗系数 $\eta=0.05\sim0.07$，它与涂有阻尼涂层的合金材料的损耗系数相当，因而在机身材料上应用阻尼涂层或内损耗系数更大的材料的降噪效果不明显。三明治板(夹心板)的损耗系数较大，$\eta\sim0.5$，但目前还不能用在柴油机的承压结构上。

2)增加机身刚度

增加机身刚度，将使固有频率在更高的频段内重新分配、从而降低噪声。机身用钢或铸铁

制成的柴油机，其噪声性能相当；用铝合金制成的柴油机，其噪声级比钢质或铸铁机身的柴油机要高 4～5dB。

3)减少机身的噪声辐射面积

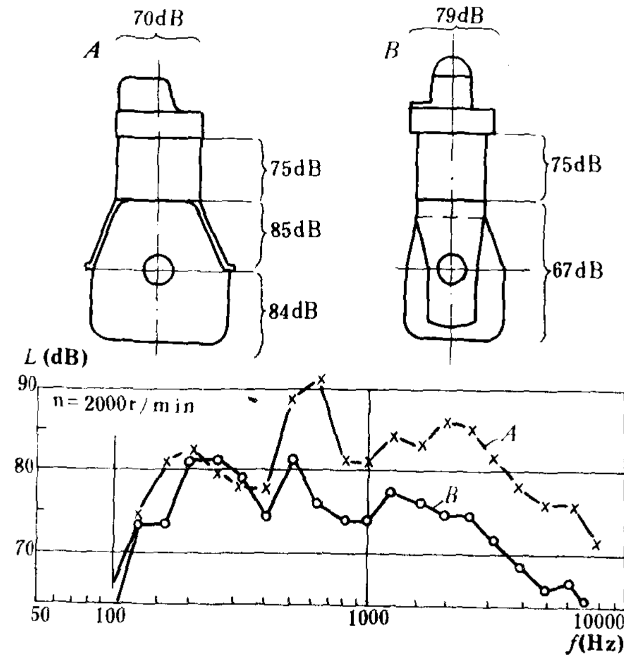


图 6.3.2—30 标准柴油机 A 与曲柄箱为框架结构的柴油机 B 的噪声比较

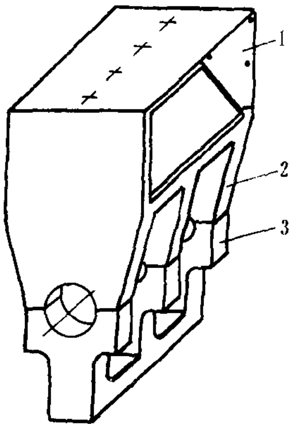
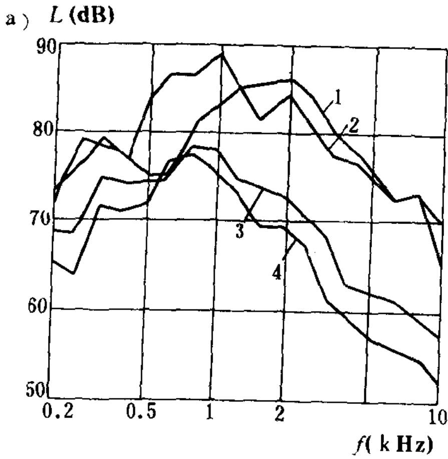
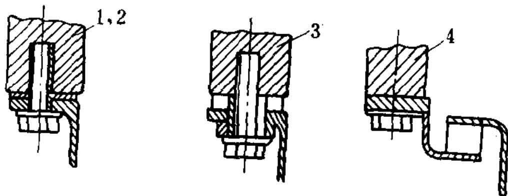
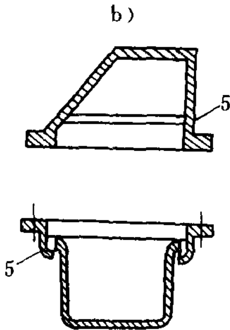


图 6.3.2—31 低噪声机身结构示意图

1—凸台；2—机身；3—框架







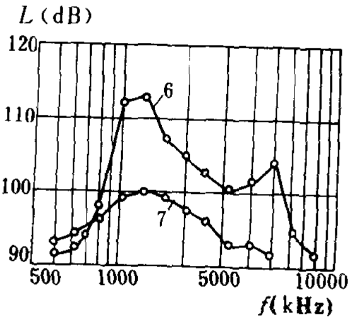


图 6.3.2—32 柴油机气缸盖和油底壳的固接实例

a)油底壳和气缸盖隔振；b)油底壳和气缸盖隔振的标准法示意图

筒式柴油机噪声的主要辐射面是曲柄箱，用刚性的框架结构（例如低速柴油机）来代替箱形结构将能大大减少噪声辐射面积。图 6.3.2—30 为标准柴油机 A 与曲柄箱为框架结构的柴油机 B 的噪声比较；柴油机 B 的油底壳同气缸体下部直接连接，油底壳的材质为三明治板，噪声比柴油机 A 约低 10～12dB。

图 6.3.2—31 为低噪声筒式柴油机机身结构示意图，图中气缸体与由轴承支承的刚性垂向支柱铸成一个整体 2，下部同刚性框架 3 固接，油底壳（同时是曲柄箱）用三明治板冲压成型并同整个机身的下部连接，汽缸体表面有固定吸声板的凸台 1。这种结构要求原则上适用于 V 型发动机。

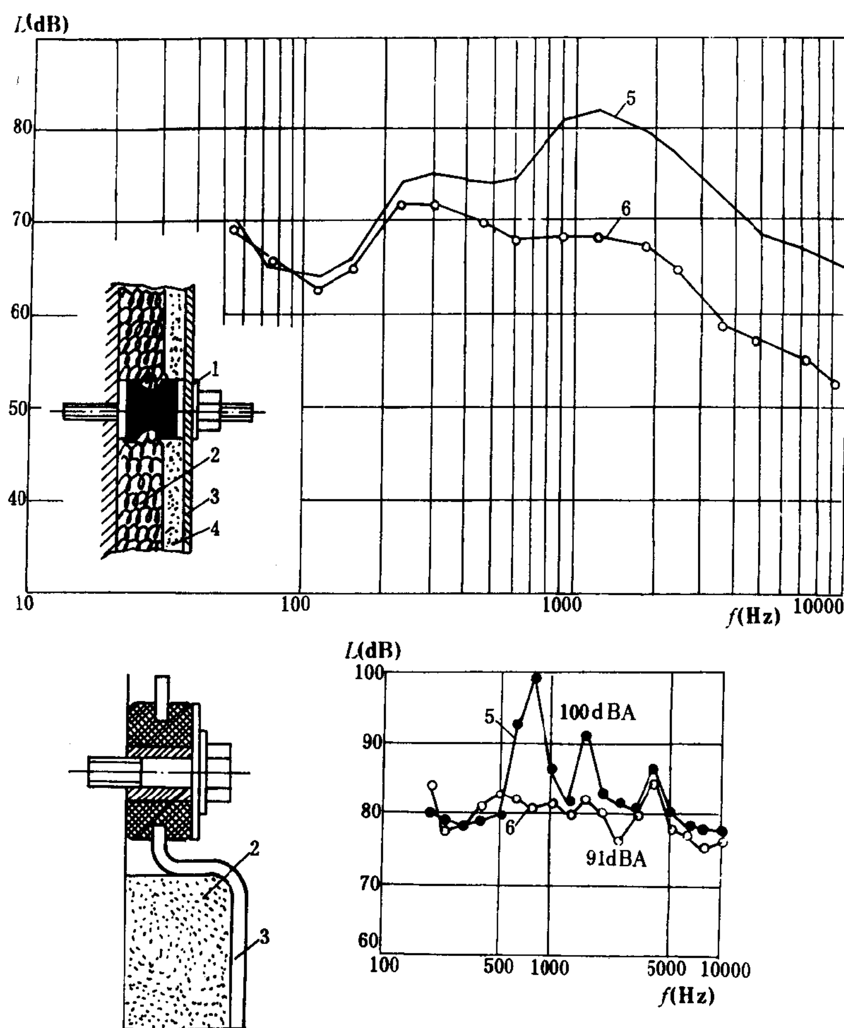


图 6.3.2—33　柴油机辐射表面的隔声结构

4）机身上不承受力的部件采用隔振结构

机身上约有 5%的表面积被各种不承受力的部件覆盖（如盖子、护面板等），这些零部件同机身刚性连接，辐射的声功率可比其它表面辐射出来的声功率高出若干倍，降低这些部件的噪声的方法是采用夹心材料，例如：盖子用两层 1.0～1.5mm 的铝合金，中间用 1mm 厚的橡胶层硫化固定。图 6.3.2—32 为柴油机气缸头上的盖子和油底壳的弹性固接示意图，油底壳是用

8mm 厚的铸铁或 3mm 厚的钢板制成，图中的 1 和 2 为一般的标准连接法——中间垫纸垫圈，其噪声频谱如图 a)中的曲线 1 和 2 所示；图中的 3 为钢质油底壳用橡皮垫圈连接，噪声谱如图 a)中的曲线 3 所示，噪声降低约 12～14dB；图中示意图 4 的连接方式是将油底壳沿着周边切开，然后用橡胶带与其切开的部分硫化连接起来，这种办法的降噪效果最好。图 b)为气缸头盖和油底壳用硫化橡胶带的标准隔振法，此法用在 V 型柴油机的缸头盖上，降噪效果有 8～12dB(图中曲线 6 为无橡胶带，曲线 7 为有橡胶带)。

5)机身表面采用隔声结构

图 6.3.2—33 为柴油机机身表面的隔声结构，其隔声效果如图中的频谱所示。机身上的辐射表面用吸声材料 2 覆盖(例如用容重为 0.6～0.8kg/m^3、厚度为 10～15mm 厚的压制的玻璃纤维板)，然后用隔振销 1 把 1.0～1.5mm 厚的铝合金板固定在柴油机表面上，铝合金板与吸声材料之间的周边封口中应该加 2～3mm 厚的阻尼涂料，最好是采用 0.5～1.0mm 的铅皮。

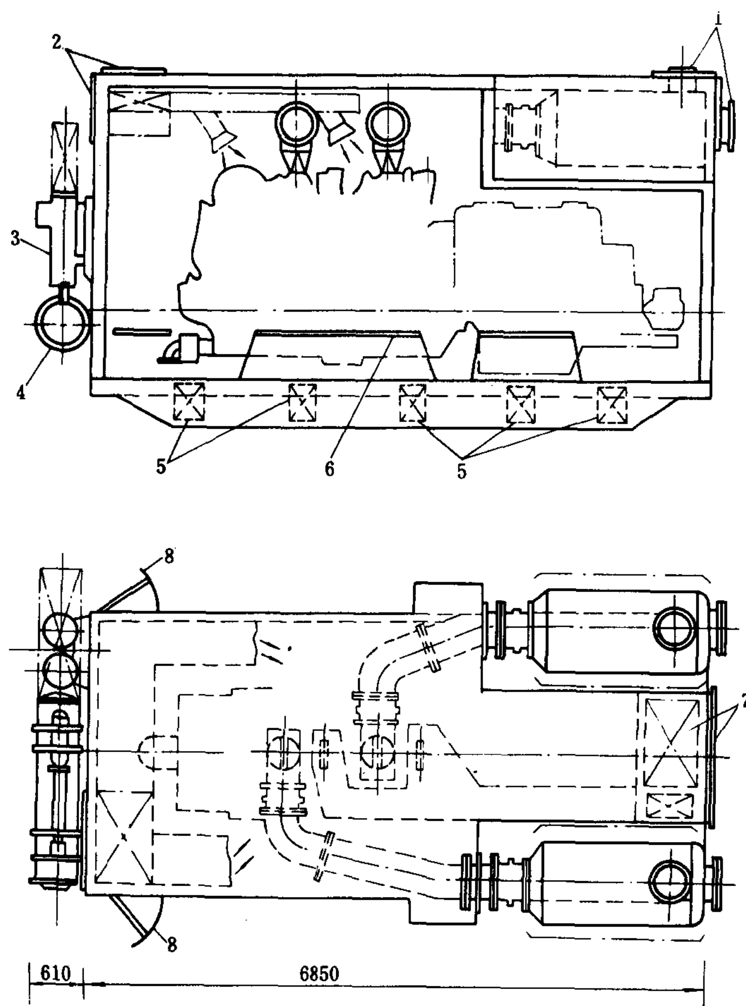


图 6.3.2—34 1500kW. V 型柴油机发电机组的隔声罩

1—排气管连接法兰；2—进风口法兰；3—油过滤器；4—热交换器；
5—底座脚；6—橡胶隔振器；7—排风口；8—门

6)隔声罩

船用柴油机使用隔声罩的情况较少，其原因是使柴油机的使用条件恶化，增加了维修管理的麻烦。图 6.3.2—34 为 1500kW 的 V 型柴油机发电机组的隔声罩示意图。

4 蒸汽轮机和燃气轮机装置的噪声控制

4.1 主要声源

1)蒸汽轮机装置的声源有

(1)主透平齿轮箱机组,其中减速齿轮箱是主要的声源;

(2)蒸汽锅炉,主要是锅炉用的附属机械设备(透平压缩机或者锅炉通风机);

(3)带有操纵阀的蒸汽管路;

(4)辅助透平发电机组。

蒸汽锅炉通常不是噪声源,但在锅炉的后面布置各种管状的热交换器时,锅炉本身就可能因气体动力作用而产生自激振荡,从而产生噪声;锅炉的通风系统亦是一个噪声源。若使用正压锅炉或蒸汽发生器,那么其压缩空气用的燃气透平压缩机也是一个强声源。

辅助透平发电机组中,主要的声源也是减速齿轮,其声级的大小与制造质量有关,齿轮的尺度愈小,制造质量愈高,声级就愈小。一个制造质量很好的透平发电机组的声级不超过85~95dBA。表6.3.2—28为某些船用汽轮发电机组齿轮的噪声级。

原子能动力装置的噪声与蒸汽轮机装置的情况类似。

表6.3.2—28 **船用汽轮发电机组齿轮噪声级** dBA

名 称	功率kW	转速r/min	齿 形	速 比	声压级	声功率级	测量条件	国 别
QF6	400	8500	渐开线	5.7	>9.5	—		中国
QF12	1200	6500	渐开线	4.7	96	—		中国
N1.2—50	1200	8500	渐开线	5.7	92	99	机舱	中国
TД600	600	8500	渐开线	5.7	95	—	机舱	原苏联
RENKTA32	1500	9000	渐开线	6		99	试验台	德国

2)燃气轮机装置的声源有

(1)燃气轮机发动机,它是最大的噪声源,距机身表面1m处达110~120dBA之多;

(2)主燃气轮机装置的减速齿轮;

(3)带各种调节装置的空气管道;

(4)排气系统。在排气系统中布置各种热交换器后,噪声将明显降低。当排气管中的气体流速不超过25~35m/s时,排气噪声较小,可以不装消声器;小型船舶上的排气管较短,声级高达100~110dBA,必须安装消声器。

4.2 燃气轮机的噪声控制

透平压气机是燃气轮机发动机的主要声源,压气机进气口辐射的声功率级达135~150dBA。其噪声频谱呈强烈的离散性,它的高频噪声是由叶片的空气动力性扰动所产生的,即由转子和定子间的相互作用引起的;低频噪声是由于制造不良和装配不精确所造成的转子不

平衡、轴不同心等机械因素所产生的。

当转子的动平衡良好(不平衡度不大于 2～6g·cm)且安装精度较高时,低频离散噪声分量明显降低。

在压气机进气管和增压管中,高频离散的噪声成分基本上是沿着空气流传播的,其空气动力性扰动力经定子的振动叶片传给燃气轮机发动机的壳体,这扰动力亦同时传给压气机的增压管和进气管的管壁,使壳体和管壁都辐射出强烈的高频噪声。

1)燃气轮机发动机的噪声计算

轴流式压气机进气声功率级按下式计算:

$$L_w = 10\lg \frac{0.5}{w_0}\left(\frac{1-\eta_a}{\eta_a}\right)^2 \frac{G_t^2 H_a^2}{\rho C^3 D_2^2} \qquad (6.3.2—59)$$

式中:W_0 ——基准声功率值,$W_0 = 10^{-12}$W;

η_a ——压气机第一级的绝热效率;

G_t ——流经压气机的质量流量,kg/s;

H_a ——绝热压头级,J/kg;

D_2 ——压气机第一级叶轮直径,m。

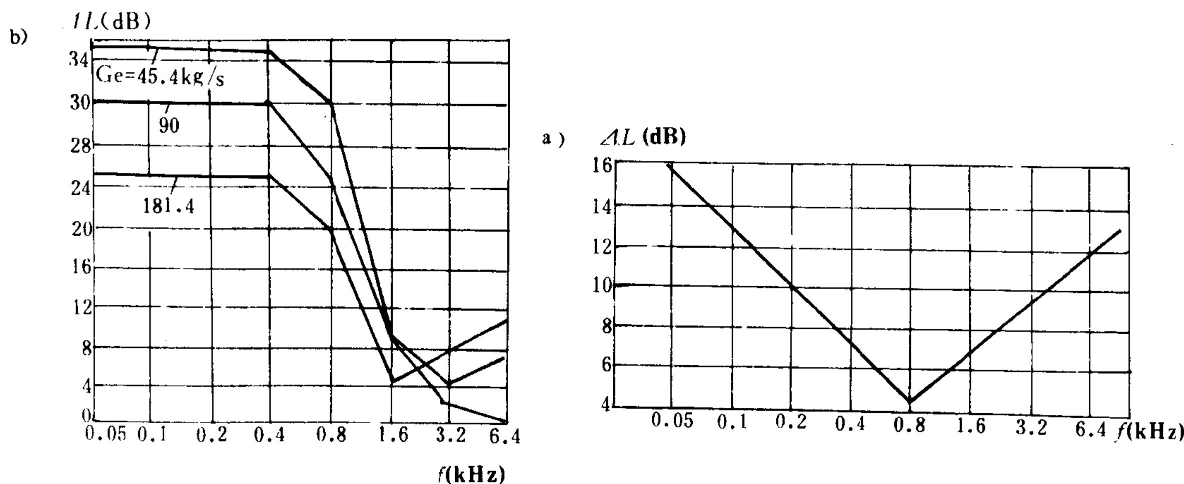


图 6.3.2—35 计算频带声功率级的修正曲线

a)排气;b)进气

美国机械工程师协会(ASME)给出的燃气轮机的进排气声功率级计算式为式(6.3.2—24)和(6.3.2—25),即:

$$\text{进气噪声}\ L_w = 127 + 10\lg(G_t + 3.5)$$

$$\text{排气噪声}\ L_w = 119 + 10\lg(G_t + 3.5)$$

当比流量 $G_t/P_e = 7.5\times10^{-3}$kg/s·kW 时,这两个经验公式十分精确,$P_e$ 为燃气轮机发动机的功率,kW;G_t 为空气流量,kg/s。

进排气的频带声功率级可借助图 6.3.2—35 来计算。计算方法是将式(6.3.2—24)和(6.3.2—25)计算出的声功率级与由图 6.3.2—35 上对应频率的 ΔL 值之差即为频带声功率级。

燃气轮机装置机匣辐射的声功率级（没有考虑进排气噪声）可按美国典型标准谱进行计算，频谱值与流经流通部分的燃气流量 G_t 有关，G_t＝15－18okg/s。计算图谱见图 6.3.2—36，它适用于标准大气压下，空气温度 27℃ 时的功率为 2、6、12 和 24 MkW 的燃气轮机发动机。

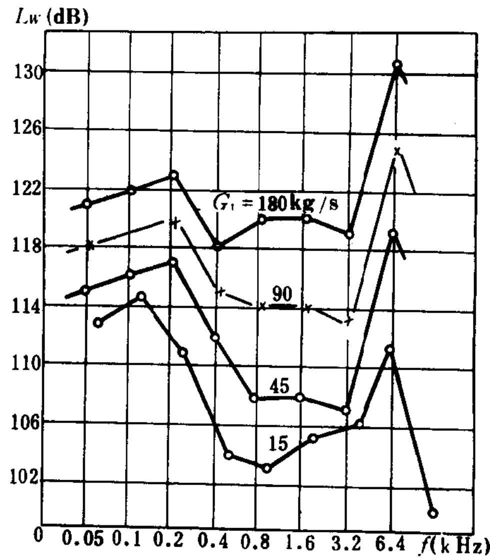


图 6.3.2—36 燃气轮机装置机匣辐射声功率级计算用的典型频谱

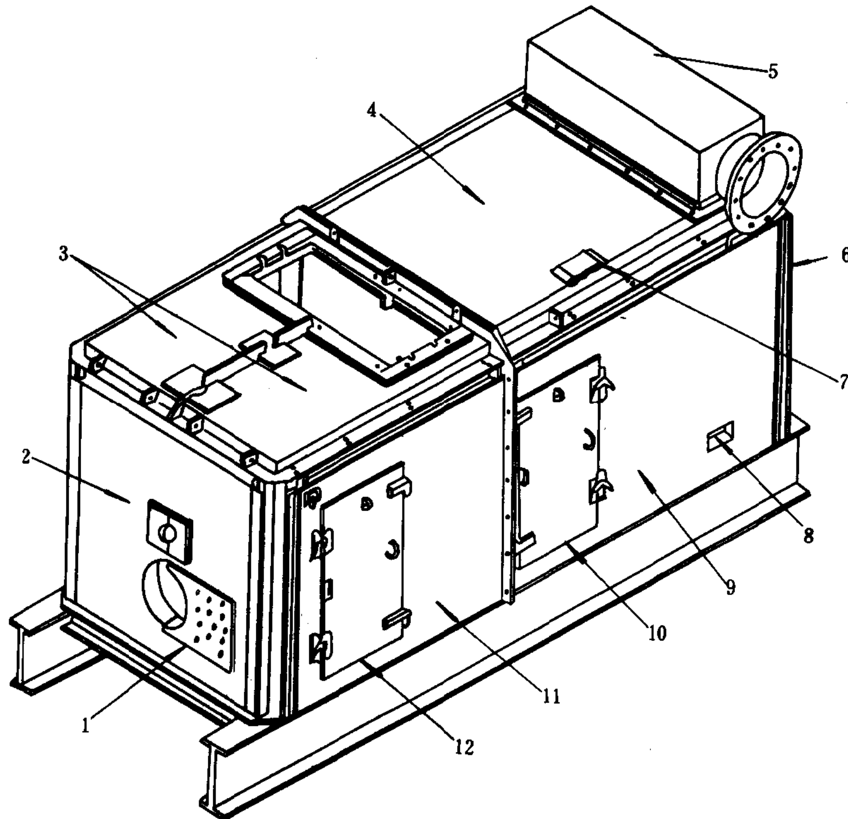


图 6.3.2—37 燃气轮机装置的隔声罩

1—主联轴节拆卸门；2—齿轮箱端壁；

3—齿轮箱顶板；4—滑轮部分顶板；5—消声器；6—涡轮端壁；7—超压安全门；

8—风门；9—涡轮部分侧壁；10—检修门；11—齿轮箱侧壁；12—检修门

2)减少燃气轮机装置噪声的方法

减少燃气轮机装置噪声的方法通常为加装隔声罩和进排气消声器。图 6.3.2—37 为美国 DD963 驱逐舰上主辅燃气轮机的隔声罩示意图。

图 6.3.2—38 为燃气轮机装置的排气管道及消声器图。

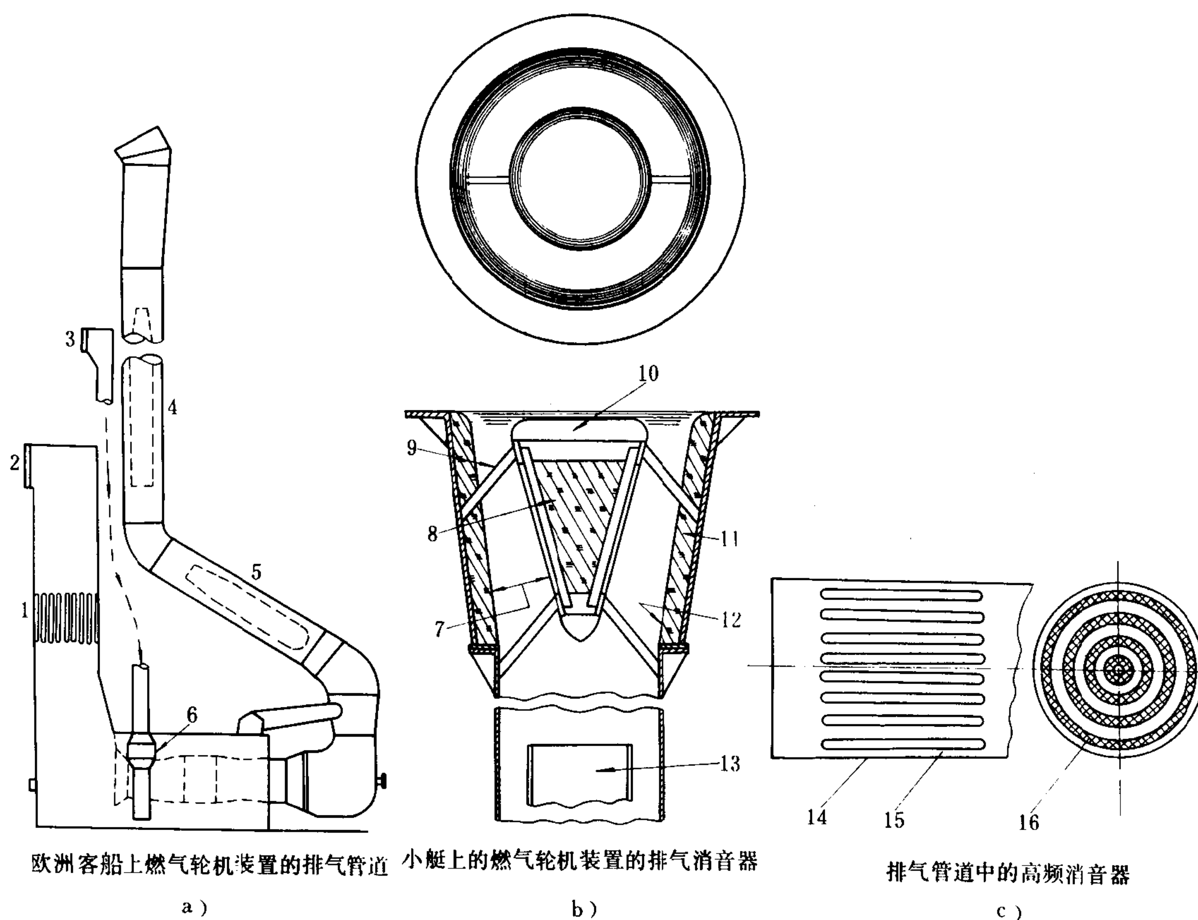


图 6.3.2—38 排气管道和排气消声器

a)欧洲客船上燃气轮机装置的排气管道;b)小艇上燃气轮机装置的排气消声器;

c)排气管道中的高频消声器

1—消声器;2—一次空气;3—二次空气;4—消声器;5—消声器;6—通风机;7—防止背压增加的扩散区域;8—耐高温腐蚀的纤维材料;9—机翼;10—$\frac{1}{4}$英寸厚的重型钢帽;11—耐高温腐蚀的纤维材料;12—50%穿孔率的不锈钢板;13—引射器烟囱;14—排气管;15—悬挂高频消声器;16—玻璃棉

图 6.3.2—39 为美国 DD963 斯普恩斯级驱逐舰主推进燃气透的消声系统。图 6.3.2—40 为加拿大 DDH280 直升飞机反潜驱逐舰“土星”T10205 燃气轮机的消声系统。图 6.3.2—41 为折叠式结构的新型排气消声器。

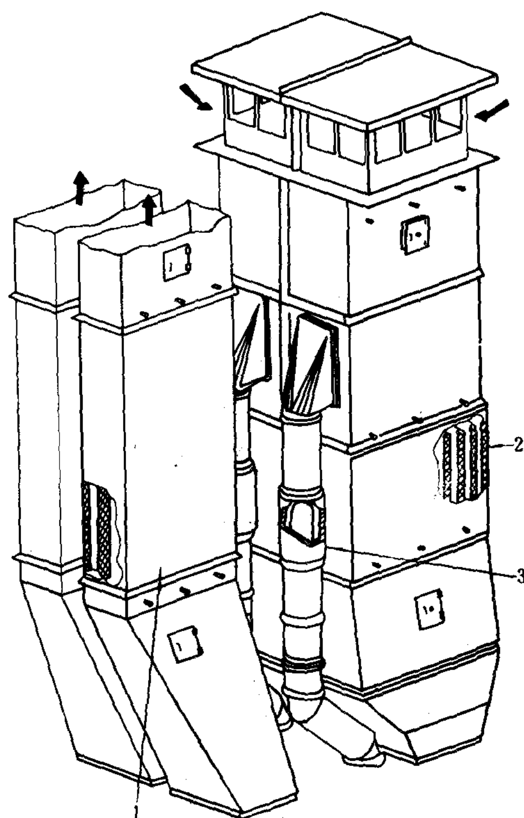


图 6.3.2--39 DD963 主推进燃气轮机的消声系统

1—排气消声器； 2—进气消声器； 3—通风管消声器

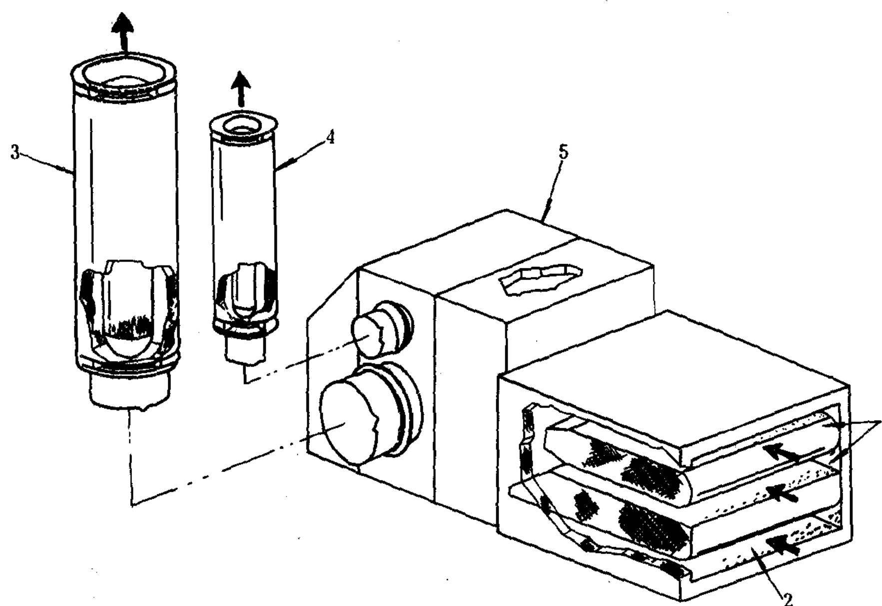


图 6.3.2--40 DDH280 主推进燃气轮机的消声系统

1—进气消声器；2—通风管进气消声器；3—排气消声器；4—通风管排气消声器；5—隔声罩

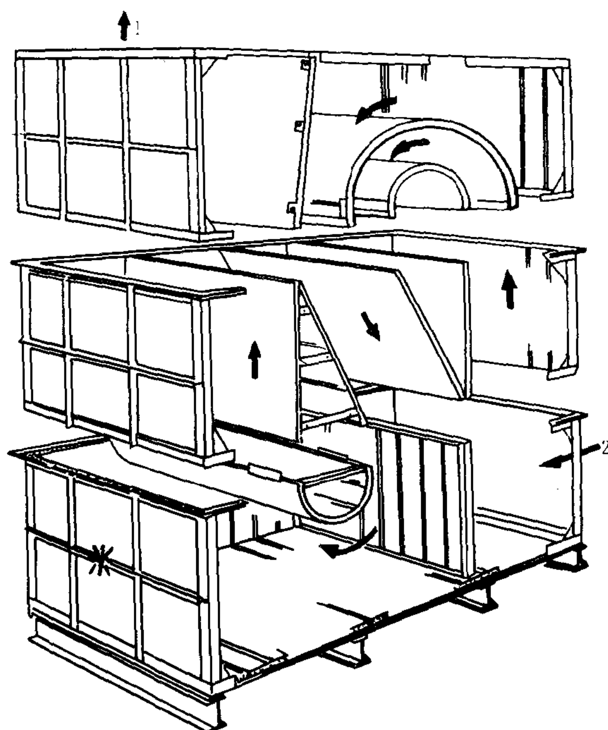


图 6.3.2—41　折叠式排气消声器

1—消声器出口；2—消声器进口

4.3　排气管道中气流激发的振动

燃气轮机装置的排气管和蒸汽锅炉的尾部一般都设置管式热交换器，当气流流经热交换器的管束时，其卡门旋涡将产生湍流噪声，它的峰值频率用式(6.3.2—35)计算，即 $f=S_{tr}\frac{u}{d}$，式中的斯脱罗哈数见表 6.3.2—29。

表 6.3.2—29　**斯脱罗哈数的经验数值**

气流激发振动的特征条件	斯脱罗哈数
对顺列管束	(0.18/T+0.36/L)d
对错列管束	(0.34/T+0.67/L)d

在一定条件下，卡门旋涡会激起排气管两壁之间的某阶驻波，如图 6.3.2—42 所示。这种驻波在管束段的平行壁板之间来回反射，不往外传播能量，而卡门旋涡能量不断地输入，当驻波频率和卡门旋涡频率耦合时，排气管内会产生强烈的共振和噪声，热交换器受到破坏，机舱噪声加剧。

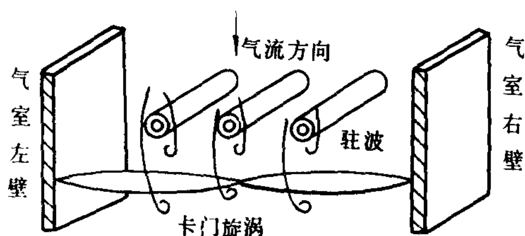


图 6.3.2—42　卡门旋涡产生驻波示意图

产生共振的条件为：

$$1\leqslant\frac{10\sqrt{Ti}}{\mu V}\leqslant2 \qquad (6.3.2—60)$$

式中：T——绝对温度；K；

V——气流速度，m/s；

μ ——尺度参数，$\mu=\frac{B}{d}$，B 为排气管道的宽度，d 为热交换器管速的直径。

i ——阶数，i=1、2、3……等等。

参数 T·V 值取热力计算值或测量值。若计算值处于 1～2 之间，则表明有可能产生振动，此时，为消除振动，可改变 μ 值，μ 值的大小应满足下式：

$$\mu_{min}\leqslant\mu\leqslant\mu_{max} \tag{6.3.2—61}$$

式中：$\mu_{min}=\frac{50\sqrt{T}}{V}$；

$\mu_{max}=\frac{100\sqrt{T}}{V}$。

在管束的后面安装平行隔板也可消除气流激发的振动，隔板的平面平行于管束，隔板用 1～3mm 厚的钢板制成，其数量按条件 $n=\frac{B}{B_{min}}-1$ 来选取，$B_{min}=\frac{50\sqrt{T}d}{V}$，若计算值为小数时，应圆整为大的整数。

4.4 燃气轮机的进排气消声器

燃气轮机装置中大多数采用平板式阻性消声器。图 6.3.2—43 即为一典型结构，消声器由长度为 800mm 的波纹板束组成，板上敷设 16mm 厚的聚氨脂纤维层，板的间距为 50mm。当流量为 34.6kg/s 和通道中气流速度为 24m/s 时，阻力为 330Pa，消声效果在压气机叶频时达 29dB。

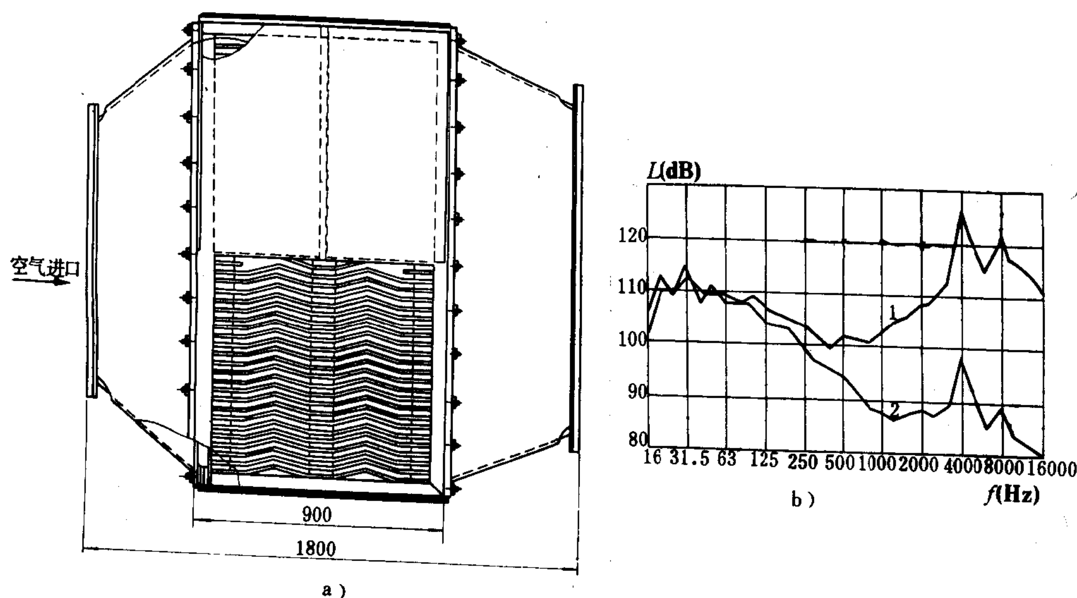


图 6.3.2—43 燃气轮机的进气消声器

a)进气消声器；b)消声效果

1—无消声器；2—有消声器

进气消声器中，板的间距不大于 20～60mm，板的厚度与间距相等。排气消声器中，板的厚度为 100～200mm，间距为 100～250mm，目的是消除低频噪声和防止通道堵塞。

排气消声器所用的吸声材料的熔化温度不低于 600℃，为避免气流吹跑吸声材料，在吸声材料上应覆盖护面层，当流速达 50m/s 时，护面层用镀锌的钢丝网或穿孔板构成；进气消声器

中气流速度为 15～25m/s 时，吸声材料可用羊毛毡或聚氨脂纤维（泡沫塑料）。

安装消声器时，应力求减少空气动力性阻力，当管道内阻力为 500～600Pa 时，燃气透平装置的功率损失达 0.5%～1.0%，进排气管道的阻力不应大于以下的数值（单位为 Pa）：

装有消声器的进气管	1000
装有消声器的排气管（无热交换器）	1000
消声器进气口	500
消声器排气口	500
进气过滤器	130
废气锅炉	1500～3000
回热器	1000～6000

消声器的阻力 ΔH 可用下式估算

$$\Delta H = 4.9\frac{\xi l \rho V^2}{dg} \quad \text{Pa} \tag{6.3.2—62}$$

式中：ξ——阻力系数，对于平板式消声器，考虑到扩张管和渐缩管损失，可取 ξ=0.04－0.06；

l——消声器的通道长度，m；

d——平板之间的净间距 mm；

ρ——空气密度，kg/m³；

V——按通道截面计算的平均速度，m/s。

消声器气流流通截面积 S_1 为：

$$S_1 = \frac{G}{\rho V} \tag{6.3.2—63}$$

式中：G—— 质量流量。

气流通道数 n 为：

$$n = \frac{s_1}{db} \tag{6.3.2—64}$$

式中：d——平板间的净间距；

b——板的宽度。

考虑平板的厚度和吸声材料的厚度，消声器的截面积为：

$$S = n(d_1 + 2d_2 + d)b \tag{6.3.2—65}$$

式中：d_1——平板的厚度；

d_2——吸声材料的厚度；

d——平板间的净间距。

平板式消声器的消声量与气流通道数 n 无关，其消声量为：

$$\Delta L = 1.1\alpha\frac{U}{F}\cdot L \quad \text{dB} \tag{6.3.2—66}$$

式中：α——吸声材料的吸声系数；

L——敷设吸声材料的长度；

U——一个气流通道截面的周长；

F——一个气流通道的截面积。

4.5 减速齿轮噪声及其控制

图 6.3.2—44 为燃气轮机船“巴黎公社”号机舱中全工况时的噪声级，燃气轮机发动机的

声级约为 98～101dBA，减速齿轮附近达 112～113dBA。

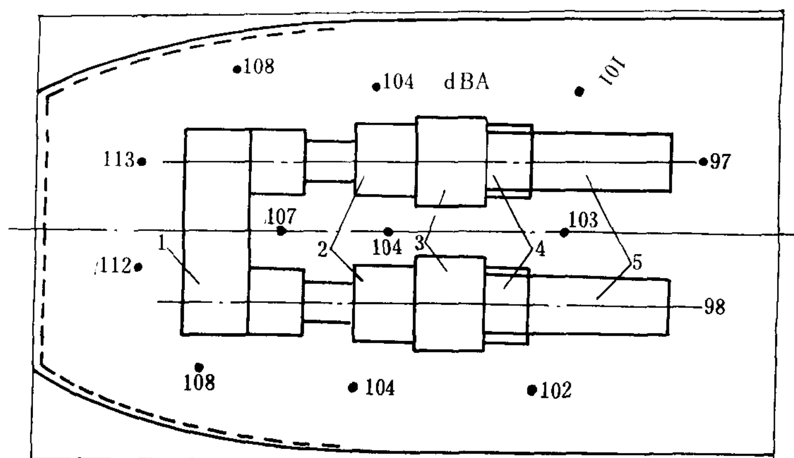


图 6.3.2—44 机舱中的声级图

1 减速齿轮；2 低压压气机；3 低压涡轮；4 高压涡轮；5 高压压气机

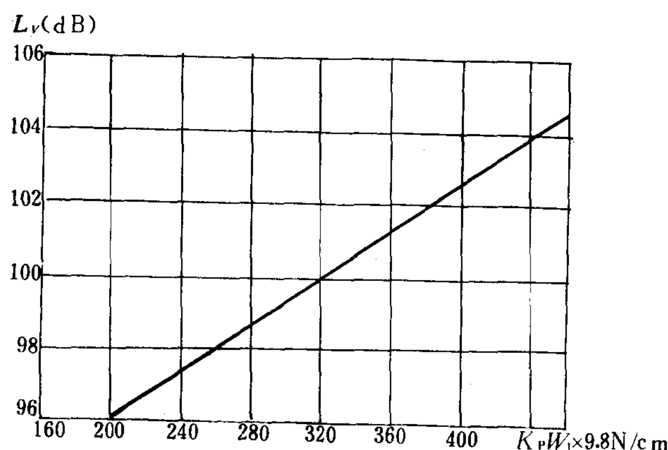


图 6.3.2—45 减速器壳体振级与齿集中载荷关系

齿轮传动产生噪声的主要原因有：齿圈的制造误差和负载作用下齿的变形，当齿的周期性变形的频率与齿圈和减速箱壳体的固有频率重合时，将产生强烈的噪声和振动。图 6.3.2—45 为减速箱壳体的振级与齿上的集中载荷的关系，横坐标为沿齿宽方向上的不均匀分布载荷系数 K_p 与额定比载荷 W_c 的乘积。引起载荷不均匀分布的因素有：滚齿时的加工误差、运转时齿的弹性变形和热变形、减速箱壳体变形所产生的轴向不平行度等。图 6.3.2—46 为船上主推进齿轮机组产生变形的原因。

主推进齿轮机组的减速齿轮噪声与齿轮的圆周速度有关：

$$L_w = L_0 + 10\lg V^n \quad \text{dB} \tag{6.3.2—67}$$

式中：L_0 ——与齿轮结构和制造质量有关的基准声级；

n ——系数，对大多数船用减速齿轮而言，n＝2～3，共振时达到 5。

L_0 值的大小可用来评价减速齿轮的质量，$L_0 < 50$dB，质量良好；$L_0 = 50$～55dB，质量较差。若离减速齿轮 1m 处全工况时的声级不大于 95dBA，减速齿轮质量很好；95～100dBA，质量满意；大于 105dBA，质量不好。

行星齿轮的噪声比上述数值小。

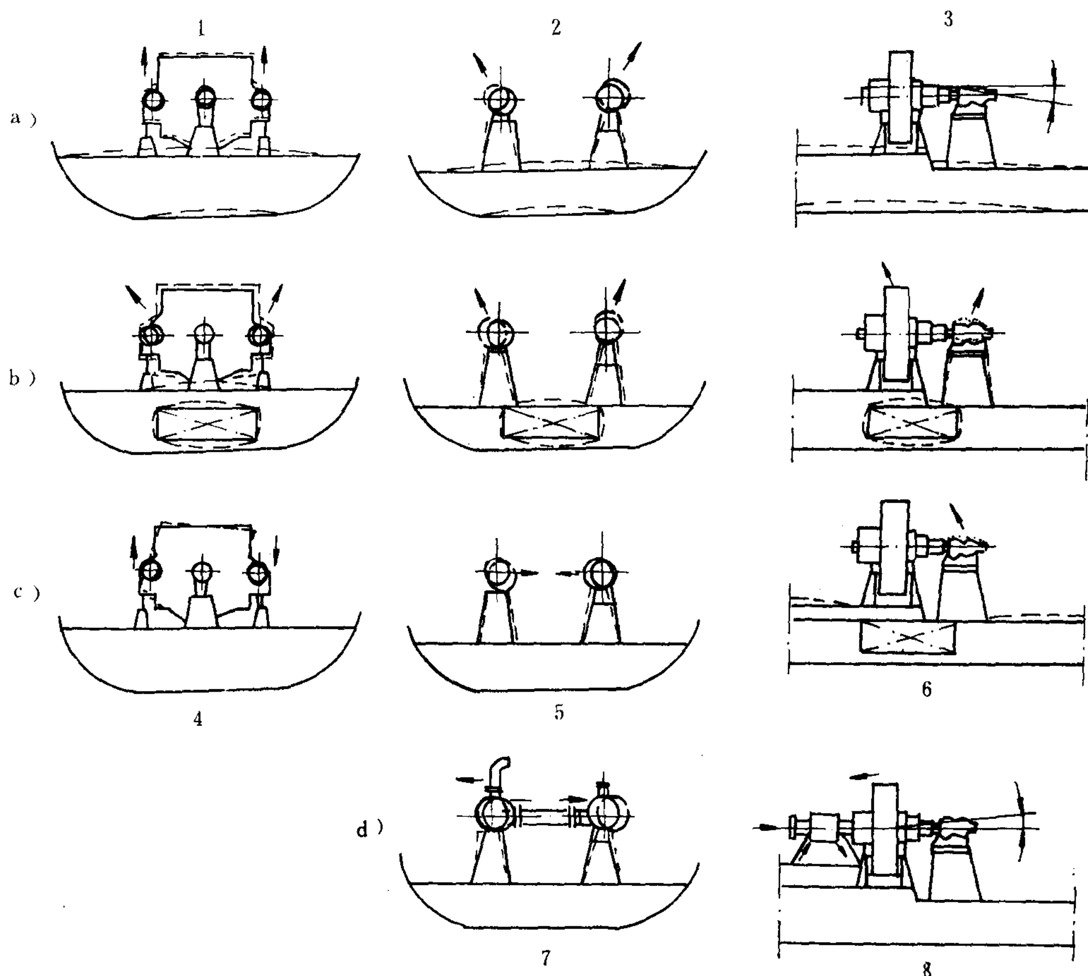


图 6.3.2—46 主推进齿轮机组变形的原因

a)吃水的影响；b)油温的影响；c)作用力的影响；d)其它因素的影响。

1—减速齿轮；2—涡轮；3—振动的机器；4—扭转力；5—扭转力；6—舷外水温度影响；

7—贮存器的热膨胀影响；8—螺旋桨推力的影响

降低齿轮噪声的措施有：

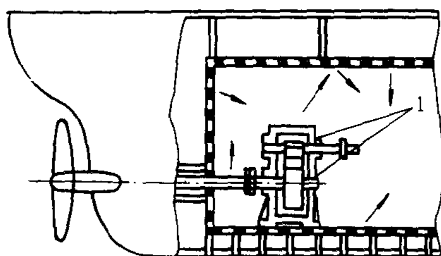


图 6.3.2—47 齿轮箱隔声罩示意图

1)提高加工精度。加工精度很高的齿轮，其噪声级不超过 95dBA，英国 Ferfil 公司制造的传递功率 22000kN 的减速齿轮，噪声为 94～95dBA，最重要的零件的加工误差仅为 2.10^{-6}mm，齿圈在常温车间内装配，车间温度的变化仅为±0.3℃，齿表面的误差小于 1.10^{-6}mm，齿轮箱体上占孔的找中误差在 8.10^{-6}mm 之内；

2)加工齿圈时，应使加工室内及机床本身都保持恒温；

3)避免齿圈产生共振，可采用改变齿圈的刚度或在齿圈内贴高阻尼材料的办法来改变齿圈的固有频率；

4)隔绝振动传递。齿轮振动经轴承传给箱体，在轴承与箱体之间嵌入塑料圈或橡胶金属环

可使高频振动明显下降；

5)减速齿轮箱壳体采用合成树脂或玻璃纤维和塑料可减少箱体振动；

6)采用隔声罩，图 6.3.2—47 为减速齿轮箱的隔声罩示意图。

4.6 阀门管道系统噪声及其控制

1)噪声的成因

机械振动噪声。低频噪声主要由流体通过阀门时的脉动而产生的，中高频噪声是由流体运动时的湍流产生的。若流体湍流噪声的频率与阀门构件的固有频率一致，阀门构件的共振将产生强烈的机械噪声；

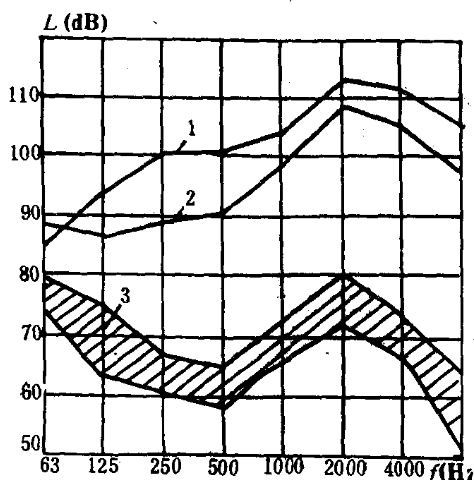


图 6.3.2—48 船舶蒸汽轮机装置调节系统中节流阀引起的声压级

耗汽量 70t/h；p_1=30kgf/cm²；p_2=2kgf/cm²；阀径 d=158mm

汽穴噪声。由于阀门内压力低于流体的汽化压力，流体会急骤地汽化，形成汽穴(空穴)，汽穴的形成与破裂将产生极高的噪声；

空气动力性噪声。当流体通过阀门的节流闸并在与阀门连接的管道内形成湍流时，有一部分动能将变成热能从而产生噪声。

2)阀门噪声的计算

阀门噪声值用阀门下游 1m 且距管道管壁 1m 处的声级来表示。

图 6.3.2—48 为汽轮机船机舱中的噪声谱，曲线 2 为主汽轮机调节系统中蒸汽节流阀的噪声频谱，曲线 1 为该阀下游管路刚性固接在船体结构上时的噪声频谱，图中的细线区 3 为布置在高噪声阀门区域中甲板上的生活舱室的噪声频谱。

阀门噪声按下式估算：

$$L_p = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 - L_5 \quad \text{dBA} \qquad (6.3.2\text{—}68)$$

式中：L_1、L_2、L_3 由图 6.3.2—49 确定，L_4 和 L_5 分别查表 6.3.2—29 和 6.3.2—30 确定。

图 6.3.2—49 中的流量系数 c_v 值用下式计算($p_1/p_2 \geq 2$ 时)：

对蒸汽：

$$c_v = \frac{0.84Gk}{p_1} \qquad (6.3.2\text{—}69)$$

对燃气：

$$c_v = \frac{G}{0.0182} \cdot \frac{1}{p_1\sqrt{p_1}} \qquad (6.3.2\text{—}70)$$

式中：G ——质量流量，t/h；

p_1 ——工作参数时的阀进口处的密度，t/m³；

k ——过热蒸汽温度超过饱和温度时的修正系数，对于饱和蒸汽，k=1；对于过热蒸汽，k=1.023+0.0007Δt，Δt 为蒸汽过热度，℃。

临界流量系数 $c_f = \dfrac{\Delta p}{p_1 - p_v}$，$\Delta p = p_1 - p_2$ 为临界流动时的压力降，p_v 为阀临界截面处的压力。

如果阀布置在总管的收缩部分，那么在按图 6.3.2—49 计算 L_3 时，用 c_f 与阀附近喇叭口的直径 d 和出口直径 D 比值的乘积来代替 c_f 值。

3)降低阀门与管道空气动力噪声的方法。

(1)正确设计阀的几何形状，使其有一个平稳的流体流动特性。设计正确时，可使噪声减少 10～12dBA；

(2)调节液体的流速。当阀中的流速 V＝0.5～1.0M 时(M 为马赫数)，噪声与速度的 8 次方成正比，流速＜0.5M 时，噪声与速度的 6 次方成正比，实际工程中的流速应不超过 0.3M，流速减少一半，噪声减少 20dBA 以上。为使无绝热层的蒸汽管道外 1m 处的声级有超过 90、80 和 60dBA，管内蒸汽速度应小于 55、40 和 30m/s。图6.3.2—50 为阀下游管的声级与管径 d 和介质速度马赫数 M 的关系。

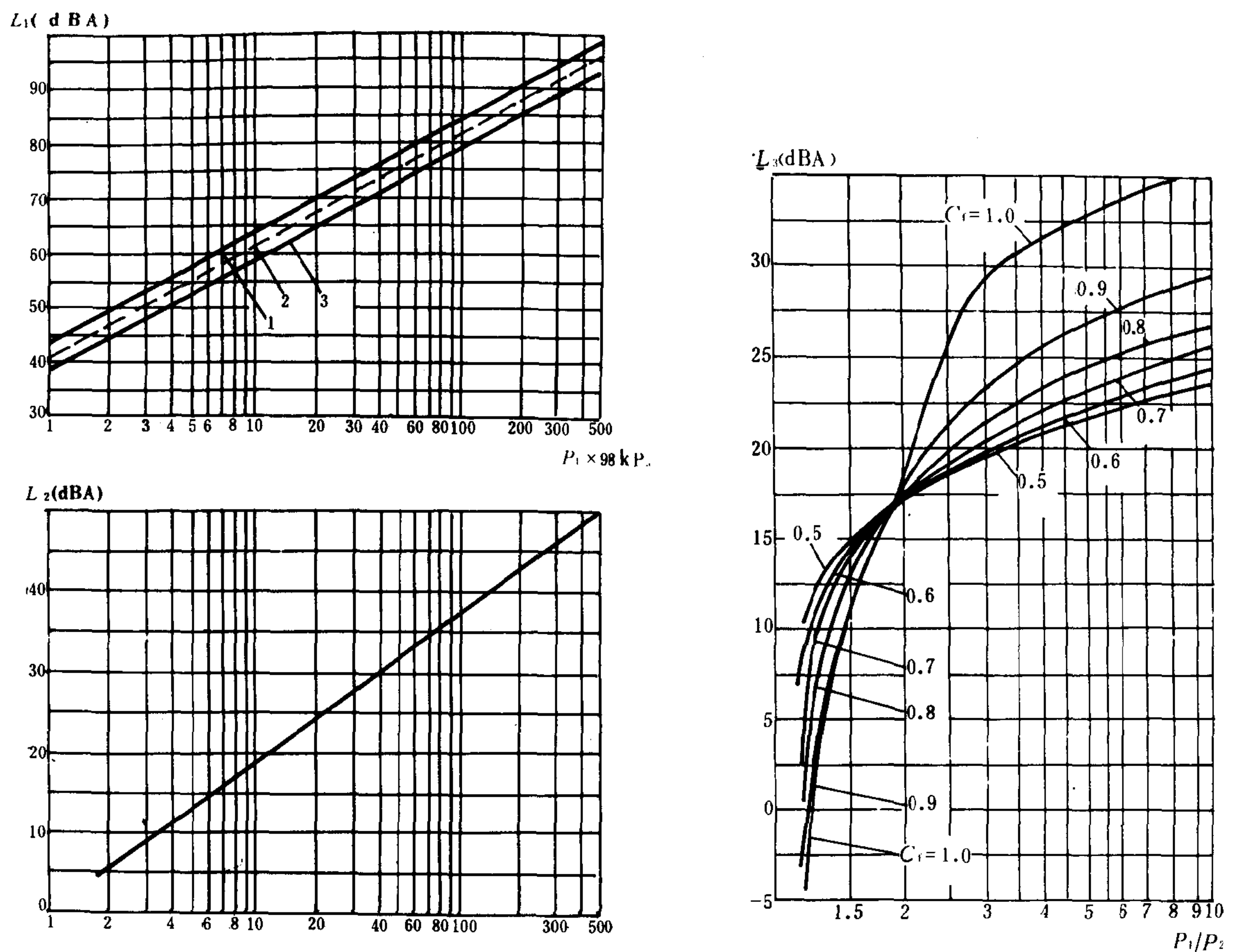


图 6.3.2—49 阀门噪声级计算图

表 6.3.2—29 **各种介质的 L_4 值**

介质	L_4 dBA
饱和蒸汽	−2
过热蒸汽	−3
空气	0
二氧化碳	+1
氧	+5
氖	10

表 6.3.2—30 **L_5 值**

直径 mm	管壁厚 mm	L_5 dBA
50	5	15.5
100	6	18.5
200	8	21.0
250	9.5	22.0
300	10.5	22.5
450	14.5	25.0

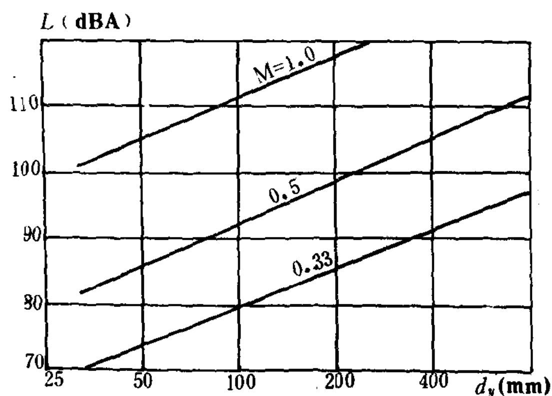


图 6.3.2—50 阀下游管的声级与管径 d 和介质速度 M 的关系

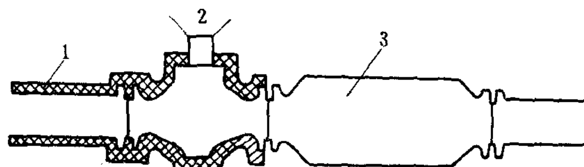


图 6.3.2—51 管道隔声结构和安装消声器示意图

1—隔声结构；2—阀；3—消声器

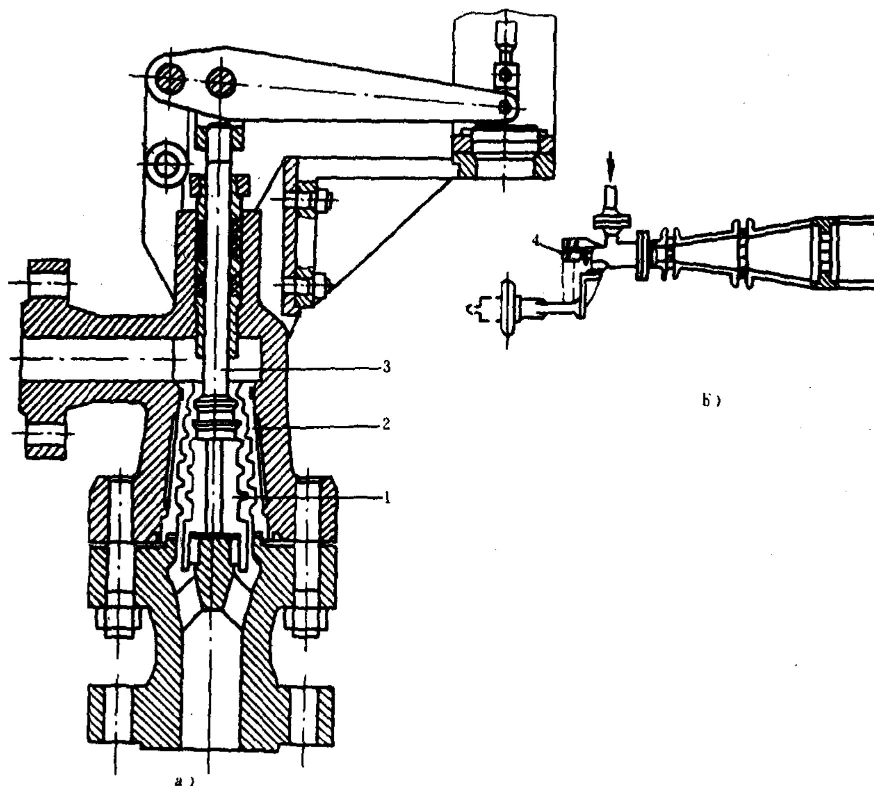


图 6.3.2—52 低噪声多级节流阀示意图

a)带有节流栅的结构；b)输出管

1—阶梯导杆；2—支承座；3—挺杆；4—伺服机构；5—大气压力

(3)管道作隔声处理。管道外壁用矿棉、玻璃棉包扎并用薄金属板覆盖，用这种方法作成的隔热隔声层的隔声量是每 1cm 厚为 2～5dBA。另一办法是增加管壁厚度，厚度增加一倍，噪声

减少 4～5dBA。

(4)安装消声器。消声器为圆管式,管内加吸声材料(如岩棉、超细玻璃棉等)。吸声材料表面用穿孔板护面。图 6.3.2—51 为管道的隔声结构和消声器安装示意图。

(5)采用低噪声阀件。图 6.3.2—52 为法国生产的低噪声多级节流阀。图 6.3.2—53 为分流阀的结构示意图

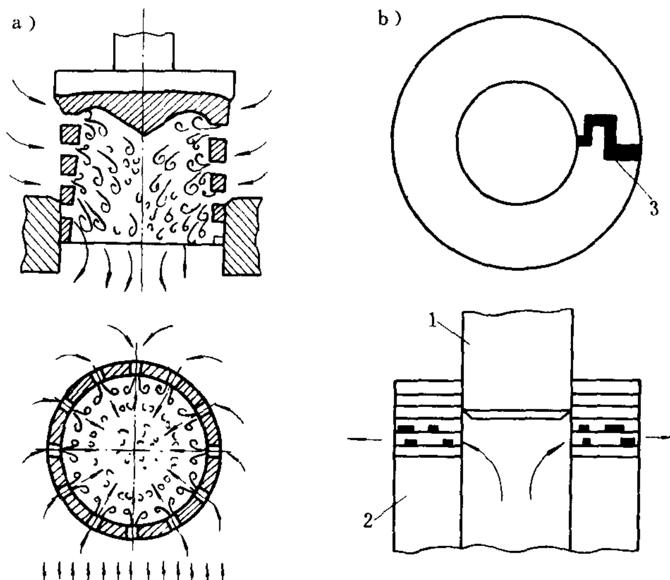


图 6.3.2—53 分流阀结构示意图

a)带多孔阻塞的阀；b)带节流盘的阀

1—阻塞；2—圆盘；3—圆盘中节流通道截面

(6)采取隔振措施。管道与船体结构之间用弹簧或橡胶金属隔振器连接,减少振动的传递。

5 通风空调系统的噪声控制

5.1 通风空调系统的噪声源

通风空调系统是船舶舱室噪声的主要声源之一。

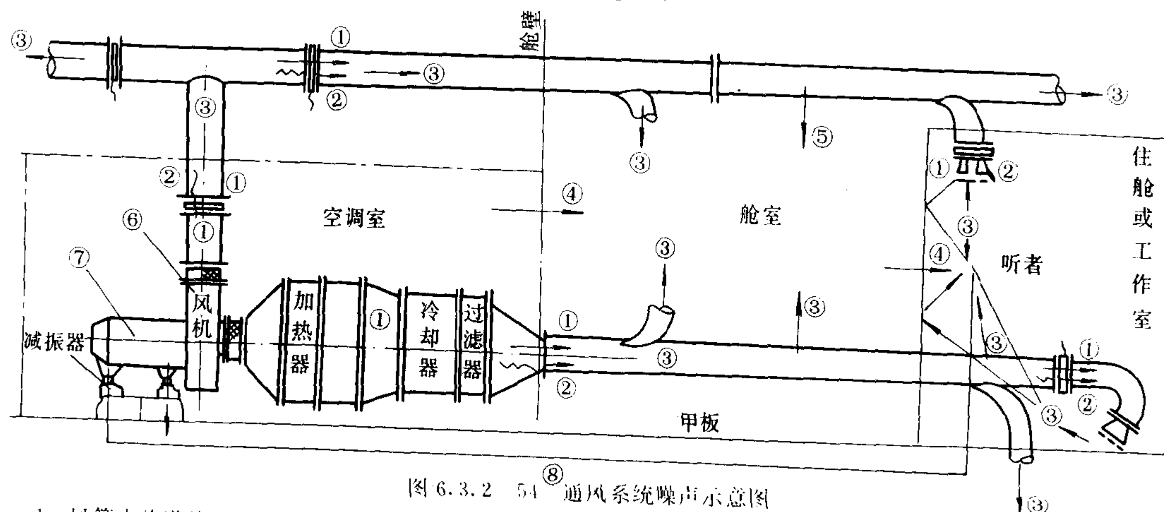


图 6.3.2—54 通风系统噪声示意图

1—风管内传递的风机噪声；2—局部地区产生的再生噪声；3—1 和 2 合成后总管内的噪声；4—透过围壁的噪声；5—透过管壁的噪声；6—风机向周围介质辐射的噪声；7—电机向周围介质辐射的噪声；8—设备传递的噪声

高速空调系统（主管风速 30～40m/s、支管风速 10～20m/s、通风机静压 5～6kPa）的重量和尺度较小，但声学特性比低速空调系统（主管风速 10～15m/s、支管风速 5～7m/s、通风机静压 1.2～1.8kPa）大为恶劣，给通风空调系统设计者在考虑减少系统的噪声问题时带来很大的困难。

通风空调系统中的噪声源有：通风机、操纵空气分配器的设施、加热器、冷却器、过滤器、布风器和风管等，其中通风机是最主要的噪声源。

通风系统中主要考虑的是空气噪声。若风机下面无隔振器，那么由风机振动产生的固体声也应考虑。图 6.3.2—54 为通风系统噪声示意图。

表 6.3.2—31 为 CQ 系列船用通风机的噪声值。

图 6.3.2—55 为 CQ 系列船用通风机的噪声特性。

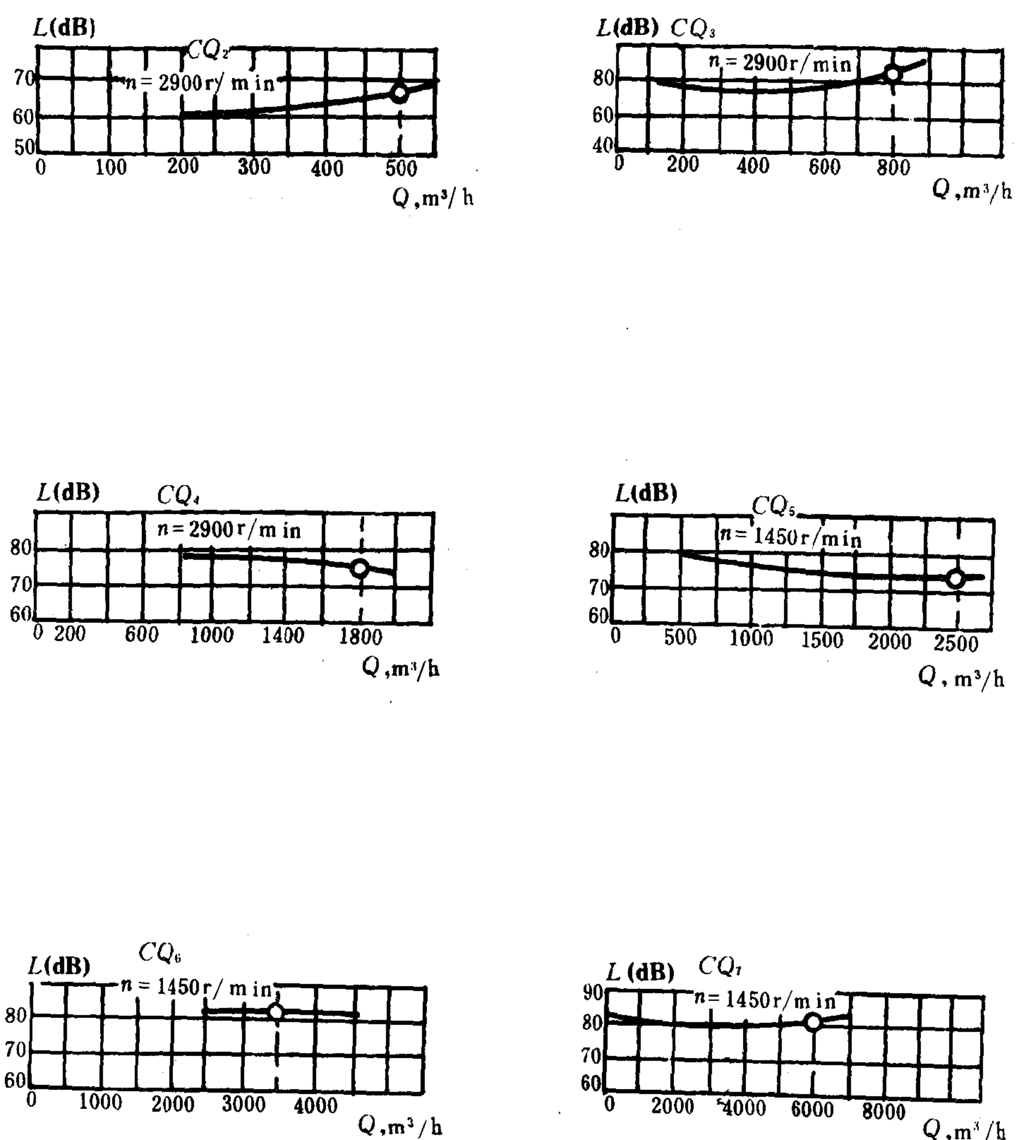
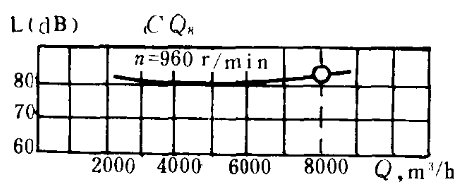
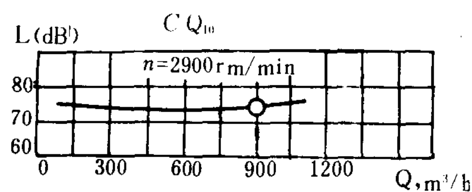
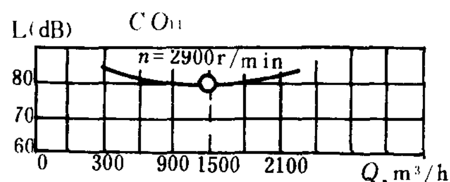
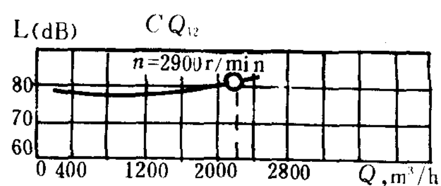


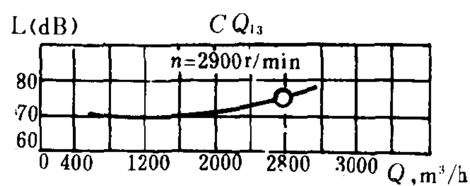
图 6.3.2—55

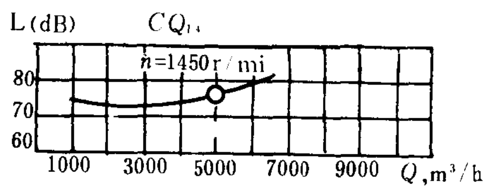


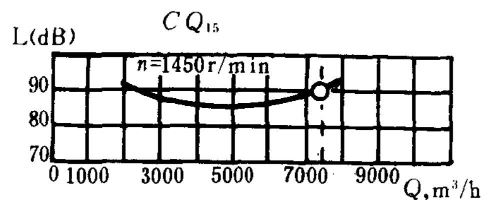


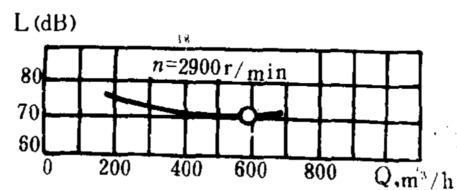


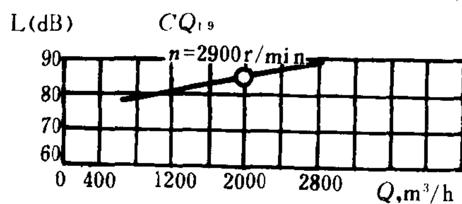


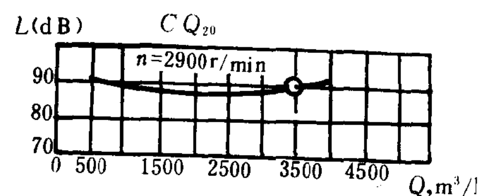












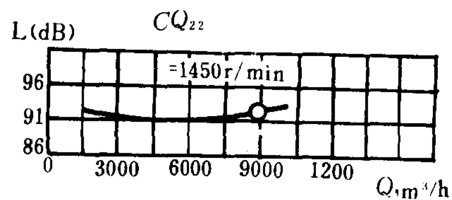


图 6.3.2-55 CQ 系列船用离心通风机噪声特性

表 6.3.2—31　　**CQ系列船用离心通风机噪声值**

型　　号	流量 m^3/n	全风压 mmH_2o	转速 r/min	噪声级 dB	备　　注
CQ1	400	30	2900	70	1. 交流离心式风机的噪声与直流离心式风机的噪声相同 2. 噪声级系指距风机进风口一米处的噪声级
CQ2	500	60	2900	70	
CQ3	800	60	2900	72	
CQ4	1800	60	2900	75	
CQ5	2500	60	1450	75	
CQ6	3500	60	1450	80	
CQ7	6000	60	1450	80	
CQ8	8000	60	960	84	
CQ9	10000	60	960	84	
CQ10	900	120	2900	76	
CQ11	1500	120	2900	80	
CQ12	2200	120	2900	80	
CQ13	2800	120	2900	85	
CQ14	5000	120	1450	85	
CQ15	7500	120	1450	90	
CQ16	9000	120	1450	90	
CQ17	12000	120	1450	90	
CQ18	600	200	2900	74	
CQ19	2000	200	2900	85	
CQ20	3500	200	2900	90	
CQ21	5000	200	2900	90	
CQ22	9000	200	1450	90	
CQ23	800	450	2900	84	
CQ24	1000	200	2900	75	

5.2　通风空调系统的声学计算

通风空调系统声学计算的目的是确定对噪声级有限制的舱室的声压级大小，例如：居住舱、公用舱、无线电室、海图室和船上某些科学研究用的实验室。

通风空调系统的声学计算顺序是先查明噪声源并确定基强度，然后确定声源至所要计算的舱室的噪声传播途径并确定传播途径上的声能损失，最后估算该舱室表面的吸声性能对室内给定点声级的影响。系统的声学计算是根据风机和空调器的噪声特性并考虑系统中的构件、附件和设备的声能损失和增加来确定空调系统所服务的所有舱室的噪声级，这时，系统中每一声源可能产生的噪声级都按下列顺序进行：

1)确定声源的频带声功率级和离声源一定距离 的频带声压级；

2)算出噪声沿系统传播时的声功率级损失值，在噪声直接辐射到舱室的情况下该损失取为零；

3)确定所研究舱室中计算点的位置，在面积不大的舱室内，计算点指离甲板铺板 1.5m 高的室内中央的指定点，在大舱室内可指定若干个点，这些点一般选在工作人员操作处，高度取工作人员的耳部；

4)确定舱室声学特性并估算对计算点声级的影响；

5)在获得上述数据的基础上计算所研究舱室内计算点的频带声压级；

按上述顺序对系统中每一声源—风机、管路附件、空气分配器等进行计算，然后再按下面的顺序计算；

6)确定所有声源在指定点所产生的总声级；

7)根据船舶噪声标准确定该舱室的许用噪声级；

8)搞清系统必须降低的噪声级和产生噪声的主要声源；

9)拟定舱室噪声降低到许用声级的措施；

10)进行降噪设施的声学计算，确定降噪设施的结构参数；

11)根据所拟定的降噪设施的消声结果对通风空调系统进行声学验算。

5.2.1 风机室的声级计算

通风空调系统的通风机，集中和分组空调器布置在专门舱室—风机室内时，风机室的声级为：

$$L_{pr}=L_w+10\lg(\frac{1}{4\pi r^2}+\frac{4}{R}) \quad dB \qquad (6.3.2—71)$$

式中：L_{pr} ——离声源距离为 r 处的声级 ,dB；

L_w ——声源的频带声功率级，dB；

r ——计算点至声源的距离，m；

R ——房间常数：$R=\frac{xs}{1-x}$

其中：x——舱室内表面的每一中心频率的平均吸声系数，其值见本章 8.2 节；

s——为舱室内表面总面积，m^2。

没有加装吸声层的舱室内表面的平均吸声系数见表 6.3.2—32。

若已知离声源表面 1m 的声压级 $L_{p_{1m}}$时，离声源距离为 r 处的声压级 L_{p_r}为：

$$L_{pr}=L_{p1m}+10\lg(\frac{1}{4\pi r^2}+\frac{4}{R})+11 \quad dB \qquad (6.3.2—72)$$

式中的符号含义同式(6.3.2—71)。

表 6.3.2—32 为无吸声层舱室内表面的平均吸声系数。

表 6.3.2—32　**无吸声层时舱室内表面的平均吸声系数**

船型	舱室	倍频带中心频率 Hz							
		63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
运输船舶和渔船	起居室、甲板室、会议室、甲板各部位的舱室	0.12	0.19	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
	冷藏室、风机室、辅机室	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.13	0.16	0.18
	锅炉舱、机舱	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.20	0.24	0.28
水翼船	舱室、甲板室	0.12	0.19	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
	休息室	0.18	0.26	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
	机舱	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18

风杨室内的噪声应按风机机组的不同安装方案分别计算

1)风机的进出风管伸南风机室外。此时的机组周围的噪声级即是声源噪声引起的。

风机室内布置一个机组时，计算点的声级按式(6.3.2—71)或式(6.3.2—72)计算：

风机室内安装数台机组时，先按式(6.3.2—71)或式(6.3.2—72)计算每一台机组在计算点处产生的频带声级 L_i，然后用下式计算总的频带声级：

$$L_p=10\lg\Sigma10^{0.1L_i} \quad dB \qquad (6.3.2—73)$$

这里的计算点通常指离风机室与相邻舱室之间的隔舱壁 0.5m 的地方。

2)风机的进风管直接放在风机房内，出风管伸出风机室。这时应把通风机组看成两个彼比无关的声级为 L_{p_b} 和 L_{a_p} 的声源。

(1)风机室内有一个带敞开的进风口的机组工作时：

$$L_{p_r}=10\lg[10^{0.1(L_{p_b}+\delta L_1)}+10^{0.1(L_{a_p}+\Delta L_2)}] \quad dB \qquad (6.3.2-74)$$

式中：L_{p_b}——风机进风管开口端附近的声级，dB；

L_{a_p}——风机进出风管伸出风机室时的风机的声压级，dB；

$$\Delta L_1=10\lg(\frac{1}{4\pi r_1{}^2}+\frac{4}{R})+K; \quad dB$$

$$\Delta L_2=10\lg(\frac{1}{4\pi r_2^2}+\frac{4}{r})+K。 \quad dB$$

r_1 ——进风口平面至计算点的距离，m；

r_2 ——机组表面至计算点的距离，m；

K ——常数，取决于工厂中风机声学试验时的测试条件，若测点离机组为 0.5m 时，K=5dB，若为 1m，K=11dB，L_{pr} 及 L_{ap} 都是在工厂台架试验时测行的。

(2) 风机室内布置几个机组时，计算出 L_{pr1}、L_{pr2}……L_{prn}之后按声级求和法确定总声级。

3)通风机组的进出风管伸出风机室，但在到舱壁的各自管段上都装有空气分配附件，这时除机组噪声外又增加了由进出风管在舱室内产生的噪声，计算点的声级为：

$$L_{p_r}=10\lg[10^{0.1(L^1+\delta L_1)}+10^{0.1(L_{ap}+\sigma L_2)}] \quad dB \qquad (6.3.2-75)$$

式中：L_1 ——附件产生的声级，dB；

$$\Delta L_1=10\lg(\frac{1}{4\pi r_1{}^2}+\frac{4}{R})+K$$

r_1 ——附件至计算点的距离，m；

$$\Delta L_2=10\lg(\frac{1}{4\pi r_2{}^2}+\frac{4}{R})+K$$

r_2 ——机组表面至给计算点的距离，m；

K ——常数，含义同式(6.3.2—74)。

5.2.2 与风机室相邻的舱室的声级计算

与风机室相邻的舱室的声级为：

$$L_2=L_{pr}-TL+10\lg\frac{S_1}{A} \quad dB \qquad (6.3.2-76)$$

式中：L_{pr} ——风机室给定点的声级，dB，给定点一般指离隔舱壁 0.5m 的地方；

TL ——隔舱壁的透射损失，dB。见 9.2；

S_1 ——风机室与所计算的相邻舱室的隔舱壁的面积，m^2

A ——相邻舱室内的吸声量，m^2

$$A=\alpha S$$

其中：α——相邻室内表面的吸声系数；

S 为相邻室内表面的总面积。

5.2.3 通风家调室的声级计算

装有通风空调设施的舱室中的噪声源通常为：通风机组，系统管路附件，空气分配器及其

附件。舱室内的噪声级为：

$$L=10\lg(10^{0.1L_a}+10^{0.1L_b}+10^{0.1L_c})\quad dB \qquad (6.3.2—77)$$

式中：L_a——与通风机组工作有关的频带声压级，dB；

L_b——系统管路附件产生的频带声压级，dB

L_c——空气分配器等末端产生的频带声压级，dB。

1）L_a 的计算

$$L_a=L_{WB}-\sigma\Delta+\Delta L \qquad (6.3.2—78)$$

式中：L_{WB}——通风机组在系统管路中辐射的声功率级，即通风机出风管中的声功率级，对离心风机而言，$L_{WB}=L_{WC}+4$ dB，对轴流风机而言，$L_{WB}\approx L_{WC}$，L_{WC} 为通风机进风口的声功级，按 2.1 中式(6.3.2—28)计算；

Σ_Δ——系统中声功率级损失之和，它由系统的直线管段、弯管、分支、附件、热工设备的损失以及系统出口开口端损失所组成，dB；

$\Delta L=10\lg(\frac{1}{4\pi r^2}+\frac{4}{R})$，r 为开口端至计算点的距离，m，R 为该室内的舱室常数。

$\Sigma\Delta$ 可按以下项目分别计算：

(1)直线管段的声功率级损失。

系统中风管的直线段的声功率级损失见表 6.3.2—33 所示。

表 6.3.2—33 **直线管段声功率级损失 dB/m**

截面形状	风管直径或宽度 mm	倍频带中心频率 Hz				
		63	125	250	500	≥10000
园　形	75～200	0.10	0.10	0.15	0.15	0.03
	200～400	0.06	0.10	0.10	0.15	0.20
	400～800	0.03	0.06	0.06	0.10	0.15
	800～1600	0.03	0.03	0.03	0.06	0.06
矩　形	75～200	0.60	0.60	0.45	0.30	0.30
	200～400	0.60	0.60	0.45	0.30	0.30
	400～800	0.60	0.60	0.30	0.15	0.15
	800～1600	0.45	0.30	0.15	0.10	0.06

(2)弯头的声功率级损失。

船用通风空调系统中 45～90°角的弯管的声功率级损失见表 6.3.2—34 所示，角度小于45°的不计。

表 6.3.2—34 **单个弯头的声功率级损失 dB**

倍频带中心频率 Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
声功率级损失 dB	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40

(3)管路附件和热工设备的声功率级损失。

管路附件和热工设备的声功率级损失见表 6.3.2—35 所示。

表 6.3.2—35　**附件、过滤器和热交换器的声功率级损失,dB**

设　　备	倍频带中心频率 Hz							
	65	125	250	500	1K	2K	4K	8K
通风台阀	0	0	0	0	2	2	3	2
隔舱台阀	0	0	0	0	2	3	4	3
普通闸阀	0	0	1	2	4	4	5	5
折角阀	0	1	3	4	4	6	6	5
板式挡水器	0	0	1	1	1	0	0	0
折角分离器	0	1	3	4	4	6	6	5
热交换器	0	0	1	1	1	1	1	2
网式防尘过滤器	0	0	0	1	1	1	2	3
多层防尘过滤器	0	8	10	12	20	24	28	25
旋转式空气分配器	0	0	0	2	3	6	6	6
半球形缝隙空气分配器	0	0	0	0	0	2	4	5
旋转式球形空气分配器	0	0	0	1	1	3	5	5
空气分配器一旋转百叶器	0	1	1	2	1	0	0	0
气密可闭通风头	0	1	1	2	4	8	12	11
密封菌形通风头	0	1	1	2	4	8	12	11

注:1. 所指的附件通道完全打开。

2. 末端的通风栅喇叭口等的损失等于零(在所有频段上)。

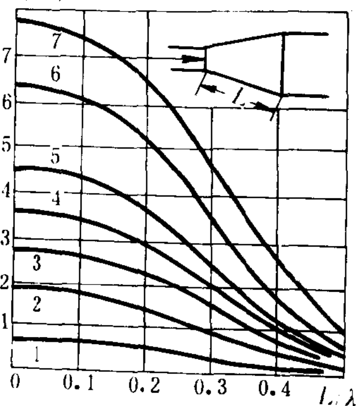


图 6.3.2—56　扩散器的声功率级损失

(4)系统分支时产生的声功率级损失。

系统分支处产生的声功率级损失为:

$$\Delta=10\lg\frac{\Sigma S_i}{S_i}+10\lg\left[\frac{(S/\Sigma S_i\cdot+1)^2}{4S/\Sigma S_i}\right]\quad \text{dB} \qquad (6.3.2\text{—}79)$$

式中:δ ——与主管相比,支管中的声功率级降低值,dB;

Si ——第 i 个支管的流通截面积,m^2;

ΣSi—— 系统分支处所有支线风管的流通截面积之和,m;

S ——系统分支前的主线风管的流通截面积,m^2。

(5)风管截面积突变时声功率级的降低值。

风管截面积突变时(增加或减少),声功率级的降低值 Δ 为:

$$\Delta=10\lg\frac{(S_1/S_2+1)^2}{4S_1/S_2}\quad \text{dB} \qquad (6.3.2\text{—}80)$$

式中;S_1——风管截面变化前的流通面积,m^2;

S_2——风管截面变化后的流通面积;m^2。

(6)扩散器垢声功率级损失

扩散器的声功率级损失按图 6.3.2—56 所示的曲线族来确定。图中的横坐标为扩散器母线长度与声波波长之比值 l/λ。当截面比小于 5 而长度 l 小于 0.5m 时,扩散器的声功率级损失可不考虑。

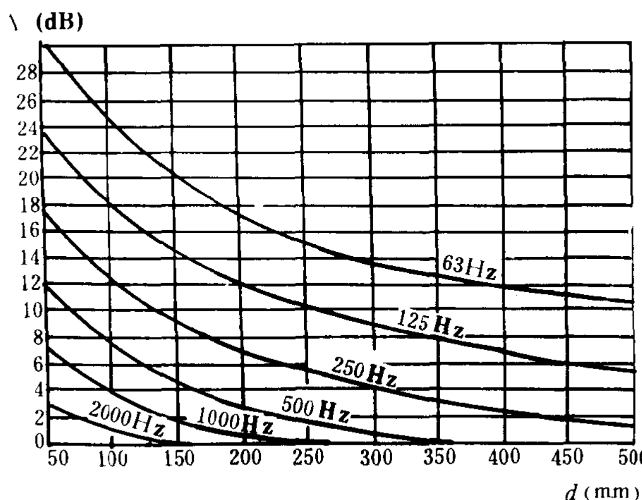


图 6.3.2 57 管道末端开口端的反射损失

(7)风管末端开口端的反射损失

风管末端开口端的反射损失按图 6.3.2—57 计算。

2)L_b 的计算

通风空调系统中某一管路附件在舱室内某一计算点所产生的频带声压级为：

$$L_p = L_{0.0} + m_c \lg V + 20\lg d + q_c \lg \frac{S}{S_0} - \Sigma\Delta + \Delta L - 72 \quad dB \qquad (6.3.2—81)$$

式中：$L_{0.0}$——比声功率级，即空气以 1m/s 的速度通过法兰连接处的附件时，附件流通截面 1m² 所产生的倍频带声功率级，dB，其值见表 6.3.2—36；

V ——空气速度，m/s；

m_c、q_c——频率特征系数，见表 6.3.2—37；

d ——附件或系统其它元件连接法兰平面上流通截面的当量直径，mm；

S_0 ——附件或系统其它元件的法兰连接处的流通截面面积，m²；

S ——附件或系统其它元件打开的流通截面面积，m²；

ΔΣ ——布置在附件之后的管路上的声功率损失，dB 其含义见式(6.3.2—78)

$\Delta L = 10\lg(\frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{R})$，dBr 为风管末端至计算点的距离，m。

若有数个附件，则计算点的噪声级用对数求和法确定总的声级。

风管附件前的空气速度 V≤15m/s 时，噪声可不予考虑。

表 6.3.2—36 **船用通风家调系统设备，附件和管道元件的 $L_{0.0}$ 值，dB**

设备、元件		倍频带中心频率 Hz							
		63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
管道元件	直管段	77	56	37	24	11	3	−5	−11
	带 30°弯头的风管	77	59	38	26	13	5	−3	−11
	带 60°弯头的风管	81	66	45	31	16	6	−2	−9
	带 90°弯头的风管	83	68	51	36	20	7	−1	−9
	三通下游支管	88	72	53	41	26	9	−3	−11
	三通下游主管	81	69	51	36	21	6	−4	−11
管路附件	焊接直角分离器	92	73	64	46	34	22	11	−1
	水密折角阀	82	74	67	48	40	23	15	−7
	普通闸阀	85	62	50	46	32	19	7	−7
	节气门	72	56	38	26	18	10	4	−9
	除水器	77	63	57	47	41	36	30	21
	水密通风台阀	77	60	54	40	20	7	−3	−11
布风器	菌形通风头	63	52	49	43	36	26	16	−6
	端部有网的喇叭口	57	41	30	22	15	14	7	−4
	旋转式百叶窗布风器	57	46	38	32	24	15	8	−2
	半球形缝隙式布风器	64	52	42	40	35	29	18	6
	可变的布风器	62	49	38	33	23	15	5	−2
	末端格栅	60	47	40	37	30	25	15	−4

表 6.3.2－37 **频率特征系数 $m_c \cdot g_c$**

系　数	倍频带中心频率 Hz							
	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
m_c	25	30	35	40	45	50	55	60
g_c	－15	－20	－25	－30	－35	－40	－45	－50

3)L_c 的计算

管道末端装有空气分配器的通风空调系统在舱室内产生的噪声为：

$$L_c = L_{0.0} + m_c \lg V + 20\lg d + q_c \lg \frac{S}{S_0} + \Delta L - 72 \qquad (6.3.2—82)$$

式中的 $L_{0.0}$、m_c、V、g_c、S、S_0 及 ΔL 的含义同式(6.3.2—81)

当室内布置若干个空气分配器(布风器)时，应抚按式(6.3.2—82)求出每一个布风器产生的声级，然后再对数求和求出总的声级。

比较 L_a、L_b、L_c 之间的大小，即可确定所需降噪的声源。

5.2.4 有风管通过的舱室的噪声级计算

通过过舱风管的管壁透射到舱室的噪声级计算包含两部分内容，其一是确定风管内部的声功率级，其二是确定该风管管壁的隔声效果。其计算式为：

$$L_{pr} = L_{Tw} - R_T + \Delta_L' \quad dB \qquad (6.3.2—83)$$

式中：L_{pr}——舱室中计算点的声压级，dB

R_T——风管管壁的隔声量 dB

$\Delta_L' = 10\lg(1 + 4x^2 \frac{1-\alpha}{\alpha}) \quad dB$；

$x = \frac{h}{r}$ 为管壁到计算点的无因次距离；

其中： h ——计算点到过舱管的最短距离，m；

r ——当量球半径，球面积等于舱室表面积之和；

α ——舱室表面的平均吸声系数；

L_{Tw} ——风管内的声功率级，dB。

1)L_{Tw} 的计算

$$L_{Tw} = 10\lg(10^{0.1L_w} + 10^{0.1L'_w}) \quad dB \qquad (6.3.2—84)$$

式中：L_w——通风机组工作时有过舱风管中产生的声功率级 dB

L'_w——过舱风管前后段所布置的系统管路附件产生的声功率级 dB

(1)L_w 的计算

$$L_w = L_{wB} - \Sigma\Delta - 10\lg S \quad dB \qquad (6.3.2—85)$$

式中：L_{wB} ——风机出风口处的声功率级，dB；

ΣΔ ——由风机机组至过舱风管中部这段的声功率级损失之和，dB 按式(6.3.2—78)中的方法计算；

S ——风管流通截面的面积，m^2。

(2)L'_w 的计算

$$L'_w = 10\lg(10^{0.1L'_{w1}} + 10^{0.1L'_{w2}}) \quad dB \qquad (6.3.2—86)$$

式中：L'_{w1}——布置在该舱过舱风管之前的系统管路构件所产生的声功率级，dB；

L'_{W2}——布置在该舱过舱风管之后的系统管路结构件所产生的声功率级，dB。

L'_{w1} 和 L'_{w2} 按下式计算：

$$L'_{w1.2}=L_{0.0}+m_c\lg V+q_c\lg\frac{S}{S_0} \quad (6.3.2—87)$$

式中：$L_{0.0}$ ——比声功率级，dB，按表 6.3.2—36 查取；

m_c、q_c——频率特征系数，按表 6.3.2—37 查取。

S、S_0 的含义同式(6.3.2—81)，当附件的通道全部打开时，$q_c\lg\frac{S}{S_0}$等于零。

2)R_T 的计算

对于圆形管：

$$R_T=10\lg E+20\lg\delta-10\lg h-20\lg f-20\lg d+10\lg\theta+55 \quad dB \quad (6.3.2—88)$$

对于矩形管：

$$R_T=20\lg\delta+20\lg\rho+10\lg h-20\lg d_1+10\lg\theta+17 \quad dB \quad (6.3.2—89)$$

式中：E——管壁材料的弹性换数，Pa；

δ——管壁的厚度，mm；

f——倍频带中心频率，Hz；

d——圆管的直径，mm；

ρ——管壁材料的密度 kg/m^3；

d_1——矩形管的当量直径 mm；

θ=arctgl/h，由计算点出发至风管末端的射线之间的角度°；

l——舱室内风管的长度，m；

h——计算点到过舱风管的最短距离，m；

在条件相同时，圆形风管的低频隔声效果比矩形风管好，其隔声效果约为 20～30dB。选择过舱风管的截面形状时应注意这一点。

5.3 通风空调系统的降噪措施

降低通风空调系统噪声的措施有：

1)选用低噪声的风机，使风机在最高效率点附近工作。通常选用转速较低。叶片后弯的风机作为船用风机。

2)减小空气流动速度。在保证舱室换气量和总风量的条件下，增大管道的截面积，减少管内空气流动速度，从而减少再生噪声的产生。

3)降低风管内的气体流动阻力。风管弯头，三通管接头，变截面过渡段，调节风门及风闸等的通道应做成流线型或设置导流叶片，以减少阻力并避免引起涡流噪声。

4)改进风管的连接结构。风机进出口应设置软接头并使空气进出风机时尽可能均匀一致，不要有方向或速度的突然变化。在进出风口及空气分配器与风管之间应设置适当长度的喇叭管，空气分配器的出口尽可能增加出风格栅面积和敷设薄层吸声材料以减少噪声。

5)当空气分配器是舱室的主要声源时，想安装消声器来改善舱室居住条件是不可能的，比时必须改用低噪声的空气分配器或者降低空气分配器之前的流速，或者在保持换气次数的要求下，增加舱室内的空气分配器的数量。增加空气分配器数量后的消声效果 ΔL_k 可按下式计算：

$$\Delta L_k=m_c\lg\frac{V_1}{V_2}-10\lg\frac{n_2}{n_1} \quad dB \quad (6.3.2—90)$$

式中：V_1V_2——空气分配器增加前后的分配器前面管路中的流速 m/s；

n_1n_2——空气分配器增加前后的分配器的数量：

m_c——系数，见表 6.3.2—37。

6）设置消声器。通风空调系统所用的消声器一般需要宽频带的衰减量，型式以阻抗复合式为最常用。

消声器设置位置应尽量设在气流平稳段。为使噪声能在靠近声源处降低，防止通风噪声激发管道振动辐射噪声的干扰，当主风管流速不大于 8m/s 时，消声器应尽可能设置在靠近通风机的管段上，离风机进出口的距离至少为管道直径的 3～4 倍以上。若主风管的流速很大，消声器可分别设置在流速较低的支管上。对消声要求高的系统，消声器不宜集中在一起，可在总管、各层分支管、风口前分别设置。

消声器所南要的消声量 δL 按下面的条件选取：

当 $L_c > L_s$ 时

$$\Delta L = 10\lg(10^{0.1L_a} + 10^{0.1L_b}) - L_c + 10 \quad \text{dB} \qquad (6.3.2—91)$$

当 $L_c < L_s$ 时

$$\Delta L = 10\lg(10^{0.1L_a} + 10^{0.1L_b}) - L_s \quad \text{dB} \qquad (6.3.2—92)$$

式中：L_a、L_b、L_c 分别按式(6.3.2—78)、(6.3.2—81)和(6.3.2—82)计算；

L_s——该舱室内的许用声级，dB。

7）通风机等设备弹性安装。通风机，电动机等安装在弹性基础上，并注意调节机组的动静平衡，以免损坏隔振效果和出其它问题。管道则用弹性吊架，以隔绝固体声的传递，有关隔振及弹性吊架的内容见本卷船舶机械与设备的振动控制部分。

5.4 通风空调系统的消声器

5.4.1 抗性消声器

抗性消声器的内容见 3.2.3“柴油机的排气消声器”的论述

5.4.2 阻性消声器

1）阻性消声器的结构形式

图 6.3.2—58、59、60、61、为几种典型的结构示意图。

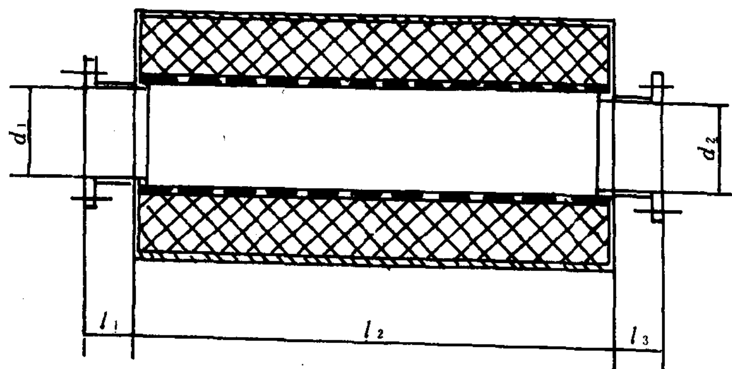


图 6.3.2—58 单通道阻性消声器

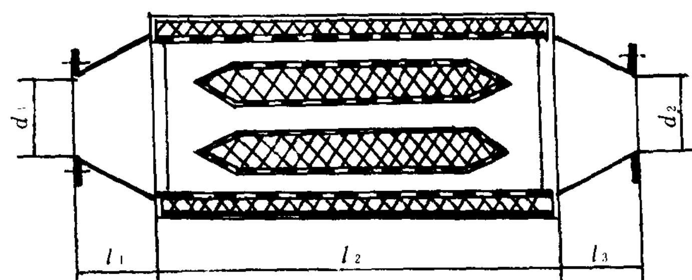


图 6.3.2—59 双通道阻性消声器

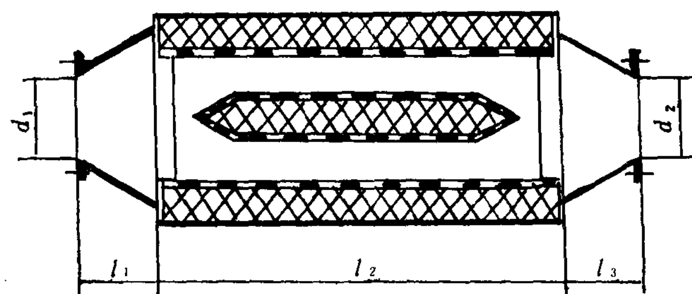


图 6.3.2—60 三通道阻性消声器

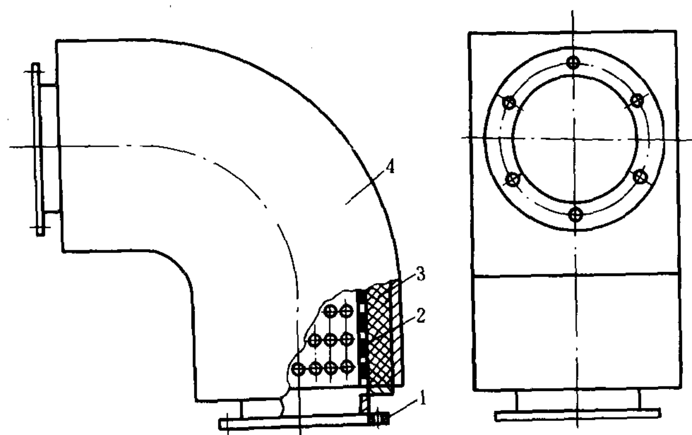


图 6.3.2—61 吸声弯头

1—法兰；2—多孔管；3—吸声材料；4—外壳

2)消声量计算

阻性消声器的基本形式是直管式消声器(图 6.3.2—58)，这种消声器的计算方法较多，其中最常用的计算公式为：

$$\Delta L=1.1\varphi(\alpha_0)\frac{U}{S}l \quad \text{dB} \tag{6.3.2—93}$$

式中：ΔL ——消声量 dB；

α_0 ——吸声材料的垂直入射吸声系数；

$\varphi(\alpha_0)$——与 α_0 有关的消声系数，可查表 6.3.2—38；

U ——消声器通道截面的周长，m；

S ——消声器通道截面积，m^2；

l ——消声器敷设吸声材料的长度，m。

表 6.3.2—38 $\varphi(\alpha_0)$ 值

α_0	0.11	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6～1.0
$\varphi(\alpha_0)$	0.11	0.24	0.39	0.55	0.75	1.0～1.5

对于多个截面为狭矩形管式消声器并联成的片式消声器，若片间距为 b，片的长度为 l，则

消声量为：

$$\Delta L = 2.2\varphi(\alpha_0)\frac{l}{b} \quad dB \qquad (6.3.2\text{—}94)$$

片式消声器适用于大风量条件，构造简单，阻力较小。

3)上限失效频率

当消声器的通道截面较大时，高跨声波将呈束状直接通过消声器，而很少或完全不与吸声材料接触，致使消声性能显著下降，这种现象称为“高频失效”。消声量开始明显下降的频率称为“上限失效频率”，其经验计算公式为：

$$f_{ob} = 1.85\frac{C}{D} \quad Hz \qquad (6.3.2\text{—}95)$$

式中：C——声速，m/s；

D——通道截面积的直径，m；当通道为矩形时(边长为a.b)，则 $D \approx 1.13\sqrt{a.b}$。

为提高 f_{ob} 值，应减小流通截面积，即将一个大通道改为面积较小的几个小通道，如图6.3.2—59，60所示的双通道或三通道阻性消声器。

4)阻性消声器的设计要点

(1)阻性消声器主要适用于降低中高频噪声为主的空气动力性噪声。选用的吸声材料除应满足消声性能要求外，还应注意防潮，耐湿、防腐、耐气流冲刷等工艺特点。

(2)吸声层的设计厚度宜为5～15cm，如用超细玻璃棉，密度宜取25～30lg/m^3。直管式消声器的通道直径不宜大于30cm；片式消声器片距宜为10～20cm；

(3)吸声材料的穿孔护面层厚度宜为1～2mm；孔径常取5～8mm，开孔率≥20%

(4)阻性消声器的长度一般可控制在1～2m，消声要求高时可取2—4m，并尽可能分段设置。

(5)为提高低频消声效果，增加有效消声频带宽度，可以采用较厚的吸声层及较大密度的吸声材料、或者变厚度、变密度、通道采用弯折和阻抗复合等设计技术。

(6)必须合理控制通过阻性消声器的气流速度，以提高消声效果，降低压力损失。流速一般取5～10m/s为宜，消声要求高时取4～6m/s。

6 船舶液压系统，压缩机和电机的噪声控制

6.1 液压系统噪声控制

液压系统的噪声可分为液体动力噪声，机械振动噪声，管道共振噪声以及由幅振动和噪声引起的油箱等的共鸣噪声。

6.1.1 液体动力噪声

液体动力噪声是由于液体中压力变化而使液压系统装置振动所产生的。按其成因分为液压冲击噪声，压力脉动引起的液压噪声，气穴噪声和流速噪声。

1)液压冲击噪声

在液压系统的管道中，当管道一端的流速或压力骤变时，管内液体中将产生急剧压力升降的阻尼波动过程，这种液压冲击所产生的压力升高或降低，都会导致液压系统产生强烈的振动和噪声。

管路中有无液压冲击，取决于压力的变化率 dp/dt（P 为压力，t 为时间），减少 dp/dt 值即可降低液压冲击噪声，常用的措施有：

（1）尽量使阀门动作平稳；

（2）在阀门、油缸、变量马达等液压冲击源之前设置蓄能器，以增加管道中声传播的声能损耗；

（3）在液压冲击源之前设置安全阀卸荷；

（4）限制管道中的流速，以控制最大压力长高值；

（5）减小溢流阀卸荷时的冲击，采用自高压到中压、中压到卸荷的两段卸荷方法，或采用防冲击型溢流阀，其原理图见 6.3.2—62。

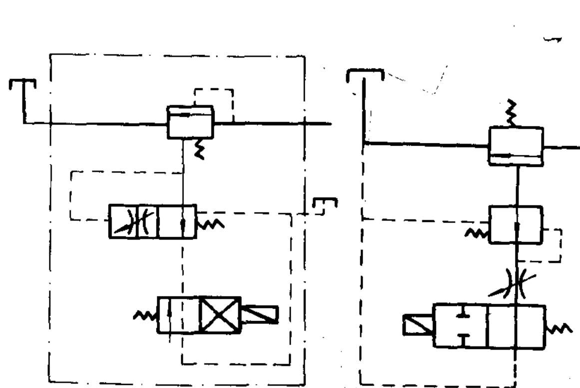


图 6.3.2—62 防冲击型溢流阀原理图

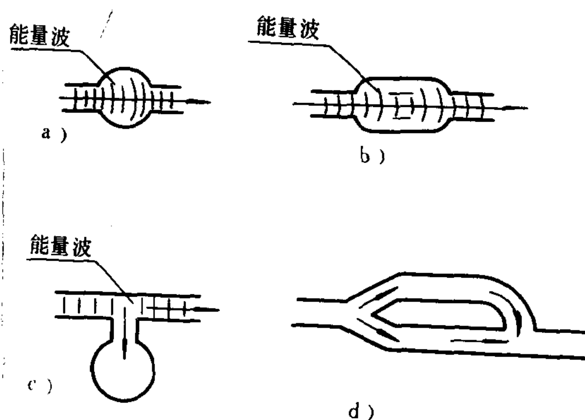


图 6.3.2—63 降低脉动噪声措施的示意图

1—能量波

2）压力脉动引起的液压噪声

液压系统中，液压泵的压力脉动所产生的噪声是主要声源之一。

油泵（如柱塞泵、叶片泵等）工作时，每一个工作油腔的体积会发生周期性的变化。在吸油区，体积从小变大；在压油区，体积由大变小，这样就使油泵或油马达的排油率发生周期性变化，这种流量脉动引起油压周期性脉动并产生振动噪声。

压力脉动的基频等于泵的转速和齿轮齿数或叶片数，柱塞数的乘积。若压力脉动频率与压力阀或导阀固有频率相同而发生共振，噪声将增大。压力脉动越大，噪声级越大。

降低油泵压力脉动噪声的措施是在回路中加设液体容积，图 6.3.2—63 是几种降低脉动噪声措施的示意图。其中图 a）为直通容积，通过它可储存和释放液体以减弱流量脉动，图 b）为共振器，能减弱等于共振器共振频率的脉动频率的声波能量，图 c）为干涉装置，由于两股液流流经的距离不等，汇合时产生不同的波动相位，以消除基频及其谐波，旁通管的长度 l_1 比主管长度 l 大一个数值，这个值应等于波消除声波波长的一半（或半波长的奇数倍），即

$$l_1 = l + \frac{\lambda}{2}(2n+1) \quad n = 1、2、3\cdots\cdots \tag{6.3.2—96}$$

3）气穴噪声

在液压系统中，由于压力降低或其它原因，油液中将产生空气气泡和蒸气气泡，气泡体积在低压区较大，流到高压区时受压缩，体积突然变小或消失。反之，在高压区时体积较小，流到低压区时体积突然增大，气泡体积急剧改变即产生“破裂”现象并发出强烈的噪声。

液压系统中，气穴可能发生在节流部位处或突然开闭的阀门上，也可能发生在吸油不畅或

安装过高的油泵吸油口处，或发生在突然停止或换向的带大惯性负载的油缸，油马达上。计算产生气穴的条件，目前尚无通用标准，这里仅介绍节流部位的气穴问题。

船用液压系统的调节附件基本是节流型的描述气穴发生程度和性质的最常用的系数是节流气穴数 σ_k，其定义为：

$$\sigma_k=\frac{p_2-p_g}{\frac{\rho V_2^2}{2}} \tag{6.3.2—97}$$

式中：p_2 ——节流下游的压力：

p_g ——该温度下油液的气化压力

V_2——节流下游的速度；

ρ ——油液的密度。

船用液压件的振动级 $L_{\ddot{x}}$ 和空气声级与气穴数 σ 的关系见图 6.3.2—64 和图6.3.2—65。

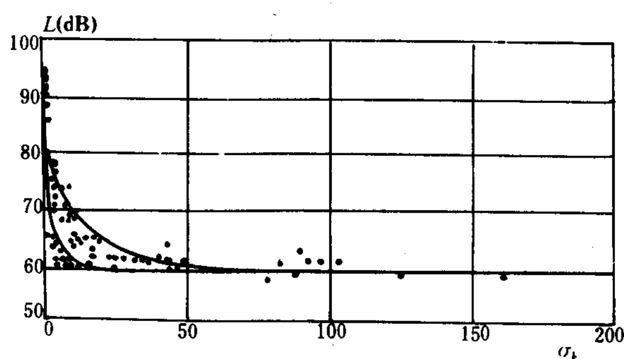


图 6.3.2—64 液压件的空气声级与气穴数 σ 的关系

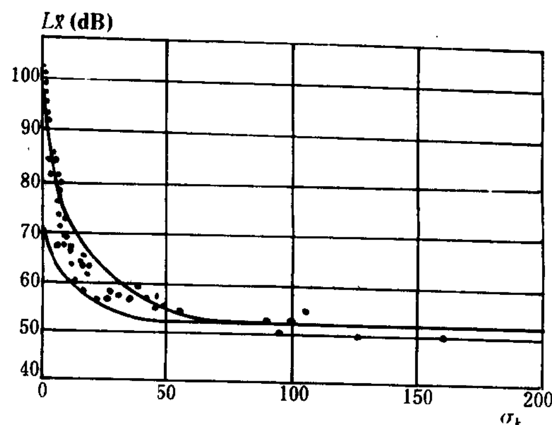


图 6.3.2—65 液压件的振动级与气穴数 σ 的关系

图中当 $\sigma_k>60$ 时，液压件的空气声级 $L\leqslant60$dB，振动级 $L_{\ddot{x}}\leqslant52$dB；当 σ_k 从 60 向最小值变化时，L 和 $L\ddot{x}$ 值都急剧增加，图中的两条曲线的空气声级和振动级的最大值和最小值，下面的曲线表示液压件的局部阻力系数较小($\xi=0.25\sim0.4$)，上面的曲线表示局部阻力系数较大($\xi\approx0.5$)。

图 6.3.2—66 和 67 为不同的 σ_k 值时船用液压件的空气声级和振动级与流体阻力系数的关系。

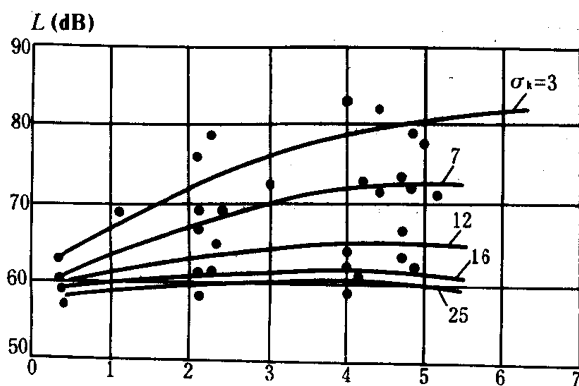


图 6.3.2—66 液压件的空气声级与流体阻力系数的关系

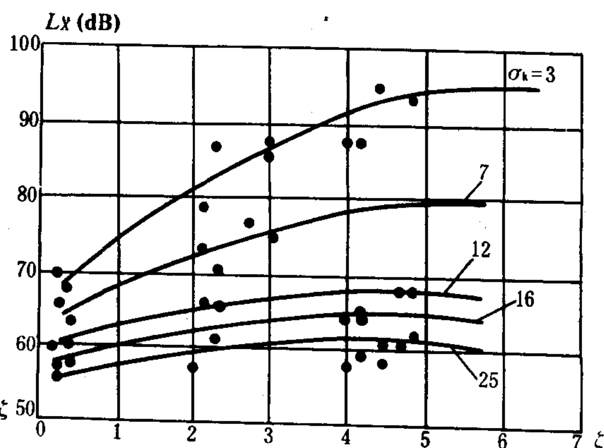


图 6.3.2—67 液压件的振动级与流体阻力系数的关系

船用液压件的空气噪声和振动的经验公式为：

$$L_{max}=35e^{-0.12\sigma_k}+60 \quad \text{dB} \tag{6.3.2—98}$$

$$L_{\ddot{x}\,max}=52e^{-0.09\sigma_k}+60 \quad dB \qquad (6.3.2—99)$$

在日常管理中判别气穴现象的方法有：

(1)在泵的进口侧装一真空压力表，若表的压力远远高于泵的规定压力，则有气穴；

(2)听泵的运转声，发生高频的响声或尖叫声时，则泵有气穴；

(3)泵的吸油不足，输出量减少，使液压缸或液压马达动作减慢，则可能有气穴；

(4)控制阀波气穴损坏，阀内有效通道变大，使动作加快和时间不准；

(5)空气混入使系统可能呈"海绵式"动作。

控制气穴噪声的方法有：

(1)保证泵进口处的油压。确保泵进口处有足够的油压后，泵零件(柱塞、叶片、齿轮)退离吸油口时油液能灌满空间，从而防止泵中产生气穴。造成泵中油压下降的因素有：泵的加工精度不良，油箱或吸油管中的滤油器堵塞，管路中的弯头，接头或法兰的突变，软管的扭结或硬管的凹坑，以及吸油管内壁的局部突起等。吸油管本身也会产生压降，条件允许时，尽可奶使用粗、短、直的油管。

(2)保证一定的背压。为降低气穴噪声，应提高背压的临界压力 p_c，p_c 值按下式计算：

$$p_c=98+0.35(p_1-98)m \quad kPa \qquad (6.3.2—100)$$

式中：p_1 ——入口端压力 kpa；

m ——阀的开口面积之比，即阀实际开口与全部圆孔面积之比，$m\leqslant1$。

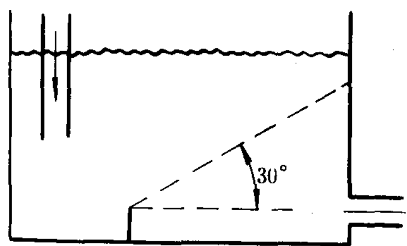


图 6.3.2—68　预防空气混入的油箱结构

对溢流阀而言，阀前后的压力比值 $\frac{p_1}{p_2}=3\sim6$ 时，可防止气穴噪声。

(3)合理设计油箱结构。油箱的容积应足够大，使油液在油箱中有足够的停留时间，油箱的容积通常不应小于在系统最大流量下使用两分钟所需要的容积，在油箱中采用60 目倾斜角度为 30°的筛网结构可除掉约混入的空气约 90%。图 6.3.2—68 即为此结构的示意图。

(4)注意油管的安装部位。油箱回油管应尽量远离泵的时口出口至油泵进口的流动路径应尽可能长，泵的进口管不应靠近液面，以免造成涡流而吸入空气。为防止油箱的油液混入空气回油箱的回油管端应低于最低液面，并采用扩散器(扩散器可减少表面的扰动和涡流)把回油分成几十股的低速液流。

4)流速噪声

液压系统中，油液流动速度变化会在局部区域产生压力降而形成负压空间，产生气穴噪声、或者液流处于射流状态时，液流速度极不均匀、产生涡流现象和液流剪切现象而产生噪声。

影响流速噪声的因素有阀体的结构、阀的设定压力、背压、流量和流速以及油的粘度。

控制流速噪声的措施有：改进阀体结构，防止涡流和液流剪切现象的发生；减少流量，减低液流的流速；降低油的粘度。一般来讲，在直管道中，流速增加一倍，噪声增加约 7～10dB，在弯管道中，流速增加一倍，噪声增加 15dB，在分支管道中，流速增加一倍，噪声增加 15～20dB。

6.1.2　液压系统中的机械振动噪声

液压系统产生机械振动的激振力有：液压冲击，气穴现象及流体的速度能量；另一是机械结构运动副的冲击及弹性变形。

1)液压泵的机械振动噪声

液压泵工作腔内的周期性波动和压油区内工作腔数(如柱塞泵的柱塞数)的周期性变化是液压泵振动的原因之一。另一原因是纯机械冲击,如齿轮泵中齿轮齿合不良,叶片泵中定子过渡曲线不良而使叶片冲击定子,旋转体偏心及轴承和其它零件精度不高与安装不良等因素造成的机械振动等。

2)液压阀的机械振动噪声

液压阀自身的机械振动是产生噪声的主要原因,自身振动的原因一是由于油泵油压及流量的脉动或其它振源引起的强迫振动,另一是由于阀单独或与管路相配合而造成的高频自激振动。

液压装置的振动所产生的振动噪声,是由各种不同的振动波所产生的噪声之和。其频率范围很宽。油泵或油马达噪声的主要频率成分为n·z或其倍数,它们是噪声峰值频率(这里n这转速,z为油缸数或齿数,叶片数)。

3)降低机械振动噪声的措施

(1)减少噪声源的激振力。上述的防止液体动力噪声的各种措施,对降低机械噪声都是有效的;

(2)提高运动的零、部件的运动精度及其平稳性;合理设计液压阀阀腔形状,合理规定衬套和导杆等的间隙;保证机械加工精度;正确选用材料,提高活动零件的刚度和装配精度;

(3)采用隔振措施。

6.1.3 管道的共振噪声

液压系统中某一元件工作状态变更(如阀的开启度变化,泵的脉动、泵的启动和关闭等)或受到外界干扰(如负载的变化)引起油液不稳定流,这种不稳定流使管路内的泫体产生持续波动的压力(或流量)脉动,其频率若和管路的固有频率一致,则产生管道共振噪声。

降低管道共振噪声的方法:

1)尽可能减少系统中压力(或流量)脉动的幅值,方法前面已叙述。

2)避开产生共振的条件:

(1)改变管系的固有频率,使与压力(或流量)脉动频不重合。管系的固有频率 f_0 按下式计算:

①两端开口的管路:

$$f_0=\frac{C}{2l_e}(2n-1)\quad \text{Hz} \tag{6.3.2—101}$$

式中:C ——油液中的声速,m/s

l_e ——管路的当量长度,$l_e=l+2\Delta l$,$\Delta l=\frac{\pi r}{4}$,r 为管道的半径,m;l 为管路长度 m;

n ——正整数。

②一端开口的管路:

$$f_0=\frac{C}{4l_e}(2n-1)\quad \text{Hz} \tag{6.3.2—102}$$

式中:$l_e=l+\Delta l$。其符合含义同上。

③管端具有容器(油箱)的管道;

$$f_0=\frac{C}{2\pi}\sqrt{\frac{S}{Vl}}\quad \text{Hz} \tag{6.3.2—103}$$

式中:S——管道的截面积,m^2;

V——容器的容积，m^3

变更管道长度 l，半径 r 和容器的容积即可避开共振条件，减少噪声。

复杂管路的固有频率计算参见文献。

（2）采用干涉滤波器：

①管式滤波器（Herschel－Quincke）如图 6.3.2—69 所示，它的结构参数为：

$$S_1 = S_4 = S_2 + S_3 \quad (6.3.2\text{—}104)$$

$$l_2 - l_3 = \frac{\lambda}{2}(2n+1) \quad (6.3.2\text{—}105)$$

式中：S——各管段的截面积；

l——各管段的长度。

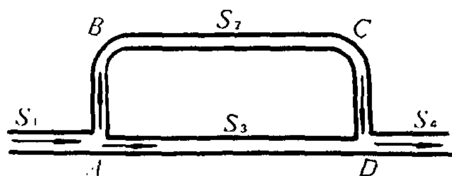


图 6.3.2 69 管式滤波器

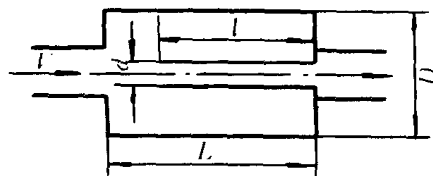


图 6.3.2 70 筒式消声器

②筒式消声器。图 6.3.2—70 是筒式消声器示意图，其内径 d 必须按管内呈层流运动状态来决定，d 的最小值为：

$$d = 0.0078Q \quad (6.3.2\text{—}106)$$

式中：Q——最大流量，l/min。

大筒直径 D 与长度 l 按所需降低噪声的频率 f 计算：

$$f = \frac{0.282Cd}{\sqrt{lV}} \quad \text{Hz} \quad (6.3.2\text{—}107)$$

式中：V——大筒的容积，m^3；

$$V = \frac{\pi}{4}D^2L$$

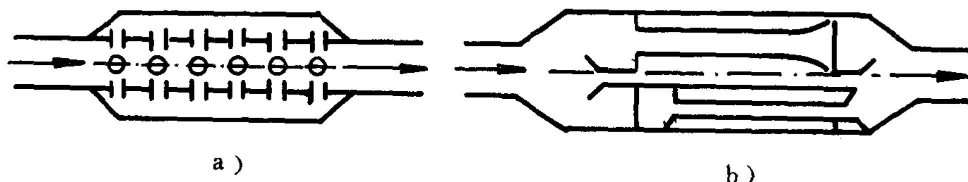
l——内管的长度，m；

C——声速，m/s；

L——大筒的长度，m；

D——大筒直径 m；

d——内管直径 m。



a）　　b）

图 6.3.2 71 消振器

③消振器。图 6.3.2—71 为管路消振器示意图，图中的管子上开有很多小孔，从小孔中流出的油液的压力波与直接从管内流动的压力波相干扰而起到消振作用。

④在管路振源附近设置蓄能器。液压系统中。设置气——液式蓄能器可降低泵的流量脉

动，此时的蓄能器可看作一个充满气体介质的闭端支路，蓄能器的充气长度 l 应满足下列条件：

$$\frac{\omega l}{C}=\frac{\pi}{2}、\frac{3\pi}{2}、\frac{5\pi}{2}\cdots\cdots \qquad (6.3.2—108)$$

6.2 泵的噪声及其控制

泵组的噪声大小由泵及其驱动机械和传动件(减速器、液压变速器、联轴器等)的噪声强度决定的泵的振动噪声源分为液力噪声源和机械噪声源。

6.2.1 叶片泵

叶片泵(离心泵、轴流泵、旋涡泵)的低频成分由机械声源和流体声源产生的。机械声源是转子的不平衡惯性力和轴承元件与转子中心的对中误差产生的，其频率为泵的旋转频率及其谐波数；流体声源是泵排油率周期性变化引起油压的周期性脉动产生的，其频率为叶频及其高谐成分。中频成分主要是叶频谐波以及涡流噪声和轴承元件振动。高频部分主要是气穴噪声和无气穴状态时由涡流产生的噪声。气穴形成的初始阶段，噪声最强烈。叶片泵开始有气穴的气穴数 σ 用下式计算：

$$\sigma=\frac{2g\delta h}{V^{2+\alpha}} \qquad (6.3.2—109)$$

式中：δh ——液流中的绝对压力；

V ——工作叶轮的圆周速度；

α ——考虑尺度效应影响的系数，对叶片泵，α=0.3。

叶片泵的排量对噪声影响很大，偏离排量的规定值，噪声大大增加。

离心泵噪声大的主要原因是进口管段中有强烈的涡流及出口管段流速很不均匀。

6.2.2 容积泵

容积泵(活塞泵、齿轮泵)的振动噪声是由于吸入压力瞬时变为输出压力及压力总管中的液流量的脉动所造成的。

活塞泵的噪声是由阀冲击，工作腔内的压力脉动，压入管路中的压力波动和气穴现象产生的。噪声强度随转速和压力的提高而提高。

齿轮泵的噪声主要是压力(流量)脉动、齿轮加工不良引起的。噪声强度随脉动幅值的加大、压力的提高，排量增大及转速的提高和装配不良而加大。

6.2.3 射流泵

射流泵的噪声基本上是流体动力噪声，主要是涡流及压力波产生的噪声级通常不大。

6.3.4 泵噪声的控制

泵噪声控制的措施有：

1)改善泵元件的结构，提高加工和装配精度；

2)泵组弹性安装；

3)注意不要发生气穴现象，不要使局部流速加大；

4)电机加消声罩或整机加局部隔声罩。

6.3 活塞式压缩机的噪声

活塞式压缩机的噪声是由进气口的空气速度不均匀和涡流产生的空气动力性噪声及压缩

机零部件表面振动所辐射的噪声构成的。

减少空气动力性噪声的方法是在气端加消声器如图 6.3.2—72 所示，在 100～250Hz 的频带范围内，消声量达 28～30dB。若采用膨胀室式消声器，其计算参见 3.2.3 的内容。

无消声器时，在进气口安装橡胶软管，长度为管径的 20 倍，消声效果为 10～15dB；利用金属软管时，消声量仅 10dB 左右。

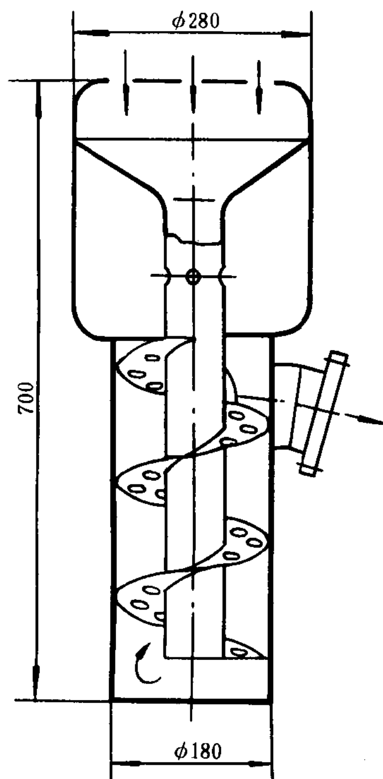


图 6.3.2—72 压气机进气消声器

利用节流垫圈或节流阀可减弱管道中的压力波动，节流垫圈安装在驻波波动速度最大处，节流垫圈的孔径 dg 按下式计算：

$$d_g = d\sqrt[4]{\frac{C'}{C}} \qquad (6.3.2\text{—}110)$$

式中：d——管道直径；

$C' = C_m(D/d)^2$，C_m 为活塞平均速度，D 为气缸直径。

减少压缩机的振动可采用机组弹性安装及在大的表面上涂阻尼涂料。

6.4 电机噪声及其控制

6.4.1 电机的主要声源

电机的主要声源有：磁噪声、机械噪声和空气动力噪声。图 6.3.2—73 是直流电机主要声源示意图。各类电机的主要声源见表 6.3.2—39。

电机中的空气动力噪声主要取决于风扇的类型，与电机本身无关。空气动力噪声的频带很宽，基频是叶频 $f=\frac{nz}{60}$，n 为转速 $\frac{r}{min}$，z 为叶轮的叶片数。

离外壳 0.5m 处的空气动力噪声声级为：

1） 防护式自通风电机

$$L_p = 10\lg P + 20\lg n + 5 \quad dB \qquad (6.3.2\text{—}111)$$

2）封闭式自通风机

$$L_p = 10\lg P + 20\lg n \quad dB \qquad (6.3.2\text{—}112)$$

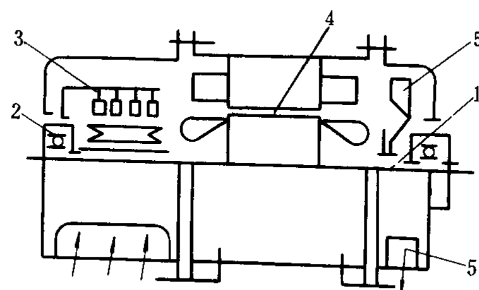


图 6.2.3—73 直流电机主要声源

1—转子不平衡；2—轴承噪声；3—电刷噪声；4—磁噪声；5—通风噪声

3）水冷封闭式电机

$$L_p = 10\lg P + 20\lg n - 10 \quad dB \qquad (6.3.2\text{—}113)$$

式中：P ——电机功率，kW；

n ——转速，r/min。

4）外通风机（低速风机，这种电机的空气动力噪声取决于外通风机的噪声。

$$L_p = 10\lg P + 80 \quad dB \tag{6.3.2—114}$$

表 6.3.2—39 **电机的主要声源**

电 机 类 型	轴承类型	主 要 声 源	典型频谱
大型交直流电机 n ≤1000r/min	滑动轴承	电磁力，外部风扇，电刷装置。	L,dB; 50; 0; 10; 10^2; 10^3; 10^4; f,Hz
中小型交直流电机 n≤1500r/min	滑动轴承 1 滚动轴承 2	电磁力，不平衡，内部风扇；轴承，电磁力，不平衡，内部风扇；	L,dB; 2; 1; 50; 0; 10; 10^2; 10^3; 10^4; f,Hz
中小型交直流电机 n≤3000r/min	滑动轴承 1 滚动轴承 2	不平衡，电磁力，内部风扇；轴承不平衡，电磁力，内部风扇	L,dB; 2; 1; 50; 0; 10; 10^2; 10^3; 10^4; f,Hz
大型汽轮发电机 100 － 500MWn ＞ 3000r/min	滑动轴承	不平衡，电磁力，内部风扇	L,dB; 50; 0; 10; 10^2; 10^3; 10^4; f,Hz
高频感应发电机 n =1500～3000r/min	滑动轴承和滚动轴承	电磁力	L,dB; 50; 0; 10; 10^2; 10^3; 10^4; f,Hz

6.4.2 电机的噪声控制

电机的磁噪声和机械噪声用合理的设计来减少。机组弹性字装可减少振动的传送。空气动力噪声用消声器来降低。图 6.3.2—74 为自通风电机的消声器示意图；图 6.3.2—75 为外通风电机的示意图；图 6.3.2—76 为螺旋式消声器结构图。采用隔声装置可降低电机辐射向的噪声。

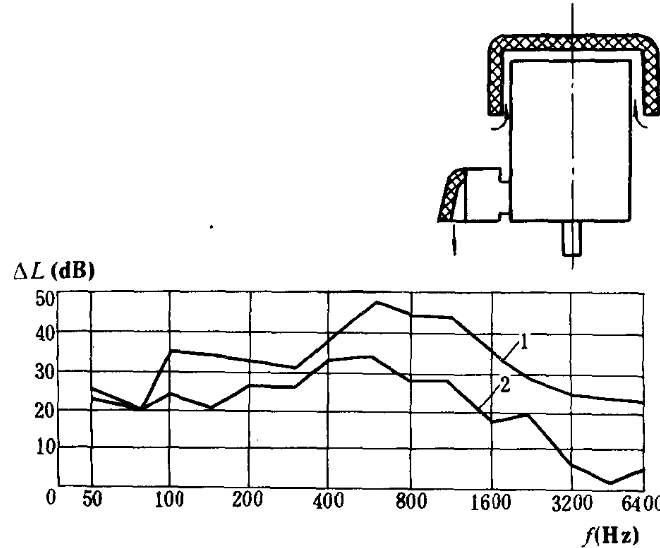


图 6.3.2—74　自通风电机消声器及其效果

1—无消声器；2—有消声器

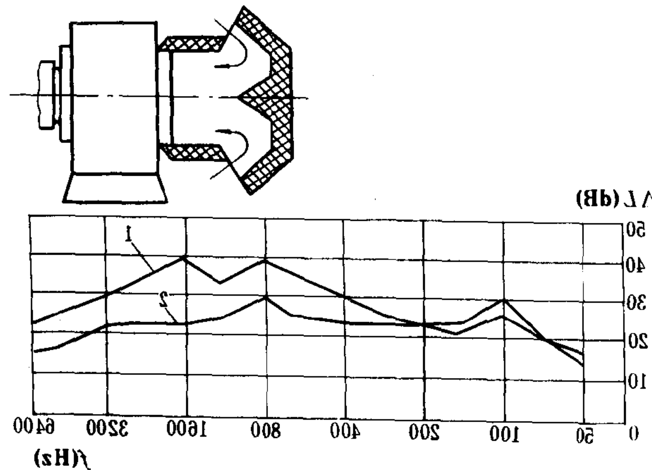


图 6.3.2　75　外通风电机消声器及其效果

1—通风机有消声器；2—通风机无消声器

7　螺旋桨噪声

7.1　螺旋桨的声源

螺旋桨是船舶尾部舱室的主要声源之一。

螺旋桨噪声包括两部分：螺旋桨工作时引起船体振动所产生的噪声和螺旋桨本身产生的

噪声。

引起船体振动的螺旋桨的激励通常分两大类：

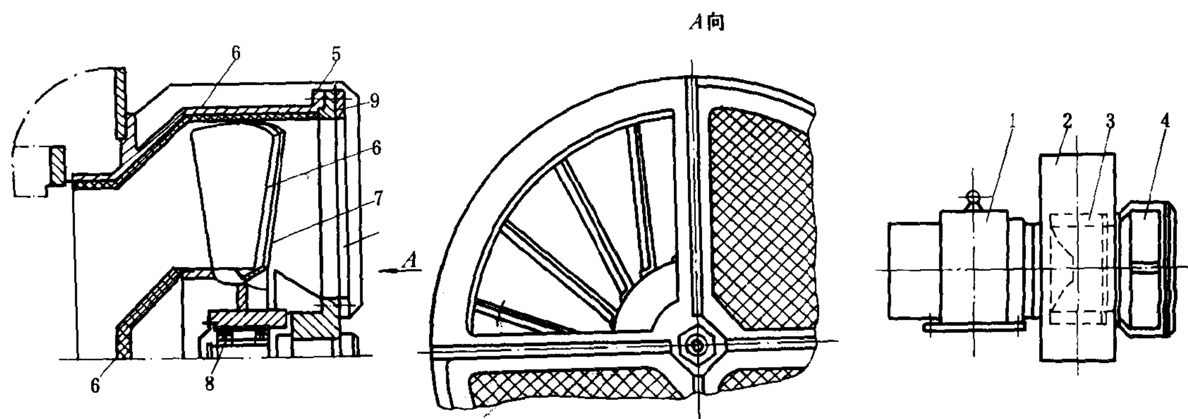


图 6.3.2—76 螺旋式消声器

1—电机；2—风机蜗壳；3—风杨叶轮；4—消声器；5—消声器外壳；6—吸声材料，7—消声器铝质叶轮；8—滚珠轴承；9—十字架；10—金属网

1)轴频激励。螺旋桨叶片几何尺寸有偏差或轴系安装质量不好时，螺旋桨产生机械性和水动力性不平衡，引起船体振动，这种振动即是通常所称的船舶航行振动，其频率等于螺旋桨转速的倍数。

2)叶频激励。螺旋桨在三向不均匀的伴流场中工作时产生的脉动水压力(作用在船壳板上)和来流不均匀产生周期性力，力矩(作用于螺旋桨上)，这些力直接作用于船体上或通过轴系传至船体引起船体振动，其频率等于螺旋桨转速与叶片数的乘积。

螺旋桨直接产生的噪声有空泡噪声和唱声。

“唱声”又叫“鸣音”，由一二种或三种音调组成，是叶片在来流作用下发生振动引起的。它仅当在某种螺旋桨转速下，水动力频率与桨叶叶片固有频率相吻合时才发生。

空泡噪声是桨叶周期性地进入和离开高伴流区时，叶片上所泡时生时来所发出的噪声。

7.1.1 轴频激励

1)静力不平衡。螺旋桨制造上有误差，螺旋桨重心不在其回转轴线上，当螺旋桨旋转时，其离心惯力对桨轴产生弯曲力矩，引起磐体振动。

2)动力不平衡。各桨叶前后略有错开，整个螺旋桨重心虽然在回转轴线上，但各桨叶重心水在同一盘面内，螺旋桨旋转时，各桨叶的离心力形成不平衡力矩，导致桨轴弯曲振动并通过轴承引起船体振动。

3)水动力不平衡。各桨叶的螺距有差异，叶片间中心角与名义什有偏差，当螺旋桨的来流速度(包括大小和方向)不变时，各叶片产生的扒力和扭矩不等，整个螺旋桨的推力不作用在螺旋桨的中心，对螺旋桨轴产生弯矩。同时叶片上切向力的合力形成不平衡力。弯矩和不平衡力的方向不变，但幅值是变化的。这些激励通过轴系和轴承传给船体，引起船体和轴的垂向，水平和扭转振动。

在船舶营运过程中，螺旋桨几何形状可能破坏，如桨叶叶片边缘弯曲，桨叶与石块等相撞，引起叶片损坏，从而产生振动。若船舶下水后没有产生叶频振动而在营运过程中船体产生了叶频振动，即可断定螺旋桨已损坏。

7.1.2 叶频激励

叶频激励分两类：

1）轴承力。在不均匀伴流场中，各桨叶在一周内的工作状态随着当地伴流不同而不同，从而导致桨叶上承受周期性变化的力，这种变化力经轴系传到船体形成轴承力。

2）表面力。在不均匀伴流场中，各桨叶离船体表面距离周期性改变，对船尾某一固定点，而言，随着桨叶的进入和离开这一固定点将形成周期性的脉动压力，在螺旋桨附近的各点则形成一个不均匀的脉动压力场，位于压力场上方的船舶尾部底板便受到周期性的脉动压力作用，这力称为表面力。

叶频激励力的大小与螺旋桨的制造精度无关，仅取决于下述因素：螺旋桨叶梢与船体之间的间隙、尾部线型、叶片数目、螺旋桨的型式和参数。其中影响最大的螺旋桨叶梢与船体之间的间隙，脉动后力随间隙减少而增大。巡洋舰尾型船舶的脉动压力，单桨船平均为螺旋桨推力的5%～7%，双桨船为11%～16%。

叶频激励及其相应的振动仅在平静的深水中相对地是稳定的。在许多场合下它们是随机的，与下述因素有关：船舶龙骨以下的水深、海浪、水流及航向变化、船舶回转、船舶附属体的流线形状、船上几只螺旋桨工作不同步等。船舶在浅水区航行时，脉动力增加、船体振动增大。船舶在波浪中航行时周期力和相应的振动增加30%～40%。船舶的污底可使振动幅值增大15%～20%。

全空泡螺旋桨上方船壳底板的振动级 $L_{\dot{x}}$ 的估算：

$$L_{\dot{x}}=54\lg nR_0+\Delta'+\Delta''(1-\alpha)+\Delta''' \quad \text{dB} \qquad (6.3.2\text{—}115)$$

式中：n ——转速，r/s；

R_0——螺旋桨半径，m；

Δ'——考虑空泡螺旋桨对船体影响的频率物性修正系数，见表 6.3.2—40；

Δ''——考虑螺旋浆至船体的距离及螺旋类轴倾斜角度的修正系数，见图 6.3.2—77；

α——与船舶速度有关的修正系数，见图 6.3.2—78；

Δ'''——与外板的质量有关的修正系数：

$$\Delta'''=20\lg\frac{1+1.6\times10^{-3}f}{1+4.4\times10^{-4}mf} \qquad (6.3.2\text{—}116)$$

式中：m——船体外板单位面积质量，kg/m²。

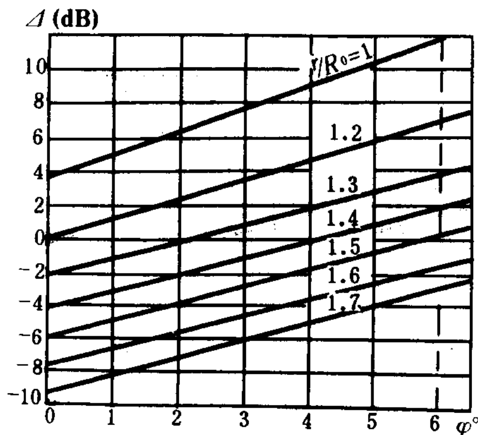


图 6.3.2—77 修正系数 Δ′ 与桨轴倾角的关系

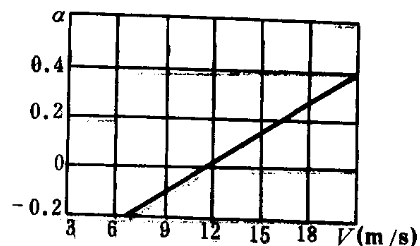


图 6.3.2—78 修正系数 α 与船舶速度的关系

表 6.3.2—40

倍频带中心频率	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
Δ′dB	54	50	47	40	32	26	15	10

非空泡螺旋桨上方底板的振动级 Lẋ 值见表 6.3.2—41。

表 6.3.2—41　　**非空泡上方底板振动级 Lẋ**　(dB)

螺旋桨转速 r/min	倍频带中心频率　Hz							
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
<300	97	90	88	78	65	63	52	47
300—750	99	93	91	82	71	64	53	47
750—1000	102	101	95	86	78	65	54	47
>1400	102	105	110	102	95	85	75	65

7.2　降低螺旋桨噪声的途径

降低由螺旋桨引起的船舶舱室噪声的途径有两条：改变螺旋桨的工作条件，减少船体外板所承的声压；不影响螺旋桨的工况下，降低外板的振动和减弱振动的传递。

1)减少船体外板所承受的声压

减少外板下面声压的方法有：减少流场的不均匀性、增加桨叶叶梢间隙、增大螺旋桨与轴支架之间的距离、减少水流的偏斜等。

(1)减少流场不均匀。方法之一是螺旋桨轴采用无轴支架结构如图 6.3.2—79 所示。

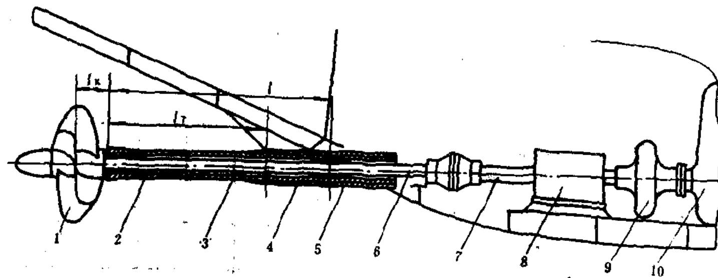


图 6.3.2—79　无轴支架螺旋桨轴结构图

1—螺旋桨；2—尾轴承；3—尾管；4—轴壳；5—尾管前轴承；

6—螺旋桨轴；7—推力轴；8—推力轴承；9—联轴节；10—发动机

同有支架的船舶相比，外板的振动级降低值如表 6.3.2—42 所示，在低频段效果比其它方法有效。

表 6.3.2—42

f_{Hz}	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
ΔL_x dB	9	7	7	6	5	4	3	3

无轴支架桨轴一般用于小船。其参数计算如下：

l_T 表示尾管从固定端到尾端的长度，取螺旋桨直径的 1.3～1.7 倍；

d_T 表示尾管内径，比桨轴直径大 15～20mm（为避免因轴承磨损后桨轴与尾管碰撞）；

尾管外径按有轴支架的轴系计算（两者强度相等）。假定使螺旋桨轴产生弯曲的力垂直于轴线，并作用于 0.8 螺旋桨半径处的叶片上，则轴壳出口处尾管截面的剖面模数应为：

$$W_T=\frac{0.1d^3(l_K+l_T)}{\sqrt{l_K^2+0.16D}} \tag{6.3.2—117}$$

式中：l_K ——螺旋桨重心到尾轴承尾端的距离，m；

d ——螺旋桨轴的直径，m

D ——螺旋桨直径，m；

尾管外径 D_T 为：

$$D_T=\sqrt[3]{10W_T}+\frac{d_T{}^4}{40.5W_T} \tag{6.3.2—118}$$

横向振动固有频率 f 为：

$$f=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{EI}{A+4\times10^{-3}m'l^4+B}}\quad \text{Hz} \tag{6.3.2—119}$$

式中：EI ——桨轴的弯曲刚度，$EI=1.06\times10^{10}d^4$，$N\cdot m^2$；

l ——尾管末端到尾管前轴承中心的距离，m；

m′ ——桨轴的单位长度质量 kg/m；$m'=6.12\times10^3d^2$；

$$A=0.3l(\alpha Ml_K{}^2+\theta)$$

其中：α ——系数，白合金轴承 α=1.3，铁梨本或卡普隆轴承 α=3.2，橡胶轴承 α=5.2；

M ——计及附连水的螺旋桨质量，kg：

$$M=1.3M_B$$

M_B——螺旋桨质量，kg；

θ ——螺旋桨与附连水的转动惯量，$kg\cdot m^2$

$$\theta=0.02MD^2b(b+3)$$

b ——盘面比；

$$B=\frac{0.434l_T^3d^4}{D_T{}^4-d_T{}^4}M(0.3+\frac{M_1}{M})$$

M_1——尾管质量，kg。

（2）桨叶叶梢间隙。单桨船螺旋桨与船壳板之间的最小间隙不得小于下列值，符号见图 6.3.2—80。

$\bar{a}=0.12D$；

$\bar{b}=0.20D$；

$\bar{c}=0.14D$；

$\bar{d}=0.04D$。

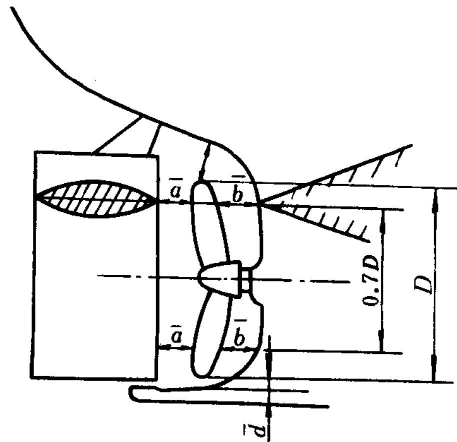


图 6.3.2—80 音桨船螺旋桨间隙

双桨船的螺旋桨间隙无具体规定，可取 $\bar{c}>0.17D$ 为宜。

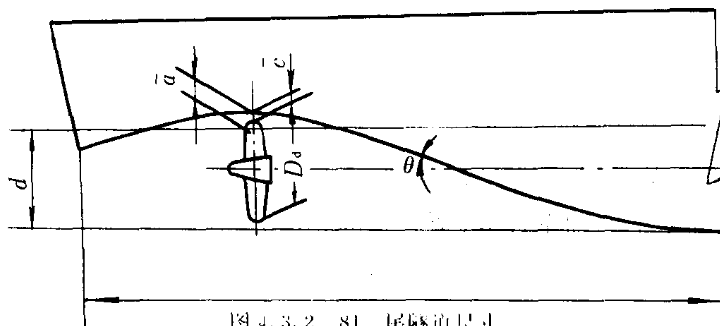


图 4.3.2 81 尾隧道尺寸

内河船舶的螺旋桨间隙 $\bar{c}$（图 6.3.2—81）应不小于下式计算值：

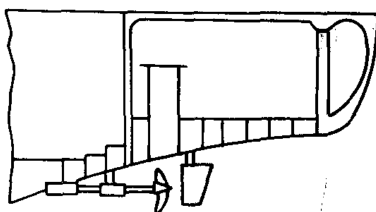
$$\bar{c}=k_1k_2\,\frac{0.1166\sqrt{p}+10}{100}D \qquad \text{mm} \qquad (6.3.2—120)$$

式中：P —— 主机单机额定功率，kW；

D —— 螺旋桨直径，mm；

k_1 —— 螺旋桨叶数的修正系数：3 叶，$k_1=1.2$；4 叶 $k_1=1.0$；5 叶 $k_1=0.85$；

k_2 —— 船型修正系数，船长 40m 以上的 A、B 级航区客船，$k_2=1.10$；船长大于 30m 的其它机动船，$k_2=1.00$；船长小于 30m 的机动船，$k_2=0.80$。

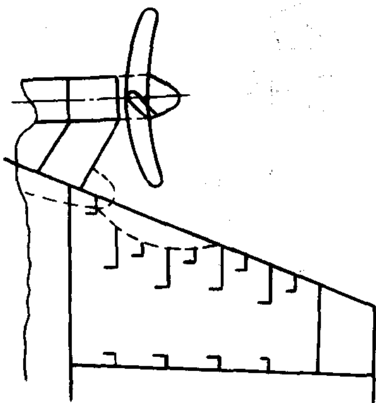

图 6.3.2 82 减振

船长小于 50m 的船舶，最小间隙 $\bar{a}=0.1D$；船长小于 30m 的船舶、$\bar{a}=50$mm；对于尾隧道线型船舶，$\bar{a}$ 值可适当减小。

单桨船的 $\bar{a}=0.1D$（见图 6.3.2—80）

2)减弱振动的传递

在螺旋桨上方船体外壳脉动力最大作用区开设振槽（图 6.3.2—82）和避振穴（图 6.3.2—83）可减少振动。减振槽或避振穴的开口面积应大于 $3R^2$，R 为螺旋桨半径，开口中心取在螺旋桨前面 0.2R 处，槽的深度应超出吃水线，避振穴开口处可加装橡胶层。


图 6.3.2 83 减振槽

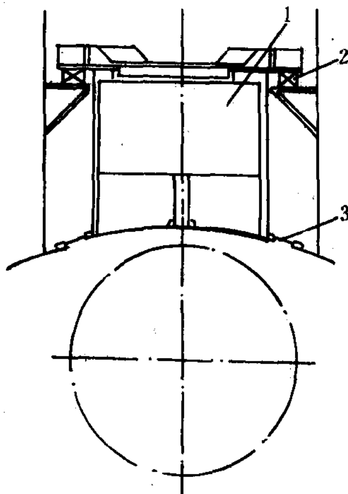


图 6.3.2 84 弹性支承的活塞

1—活塞；2—弹性无件；3—密封

图 6.3.2—84 为弹性支承的活塞，在所有频段上能降低 10～12dB。

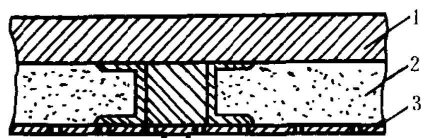


图 6.3.2—85 隔振弹性层

1—外板；2—弹性层；3—多孔护面板

3)减少外板的振动

增加外板的质量，在外板上覆盖水泥、沥青或其它重的垫块，覆盖面积应为(1.2～1.4)D^2，D 为螺旋桨直径，覆盖面的单位面积质量应为底板单位面积质量的 3～4 倍。覆盖层的厚度由中心至边缘按 2.0～2.5 的比例减小，这种方法能使尾部舱室下降 4～6dB。

在外板上加隔振弹性层如图 6.3.2—85 所示。

8 船舶吸声降噪

在船舶声学设计中，吸声材料和吸声结构的应用很广泛。它的主要作用是：降低舱室内部的噪声；作为管道衬垫或消声器材料降低通风管道中的噪声；在隔声罩内表面衬贴吸声材料以提高隔声罩的隔声值。图 6.3.2—86 为船上常用的一种吸声结构，图 6.3.2—87 为吸声锥体。

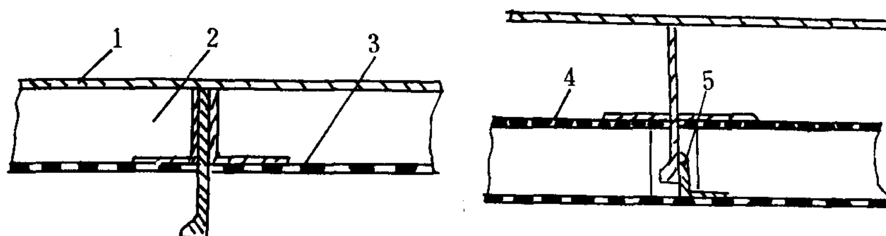


图 6.3.2—86 吸声结构

1—船体结构元件；2—多孔吸声材料；3—多孔护面板；4—网格；5—衬条

不同类型的吸声材料(结构)其吸声特性不同，而同种吸声材料若使用方法不同其吸声性能也有变化，了解和掌握各种类型吸声材料和吸声结构的吸声特性，针对其体的噪声条件和不同用途，合理选用材料是搞好声学设计的一个重要内容。

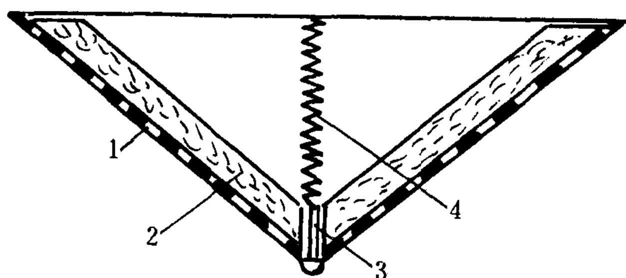
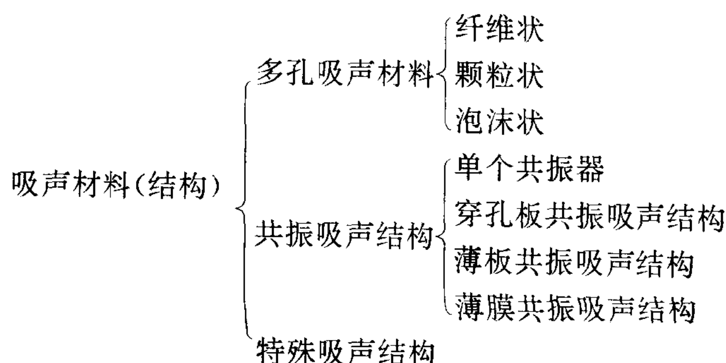


图 6.3.2—87 吸声锥体

1—多孔护面板；2—多孔吸声材料；3—倒刺钉；4—弹簧

8.1 吸声材料的类型

按其材料的物理性能和吸声方式，吸声材料可分如下几大类：



1)多孔吸声材料

多孔吸声材料的基本类型见表 6.3.2—43。

表 6.3.2—43 多孔消声材料基本类型

	主要种类	常用材料举例	使用情况
纤维材料	有机纤维材料	动物纤维：毛毡	价格昂贵，使用较少
		植物纤维：麻绒、海草、椰子丝	防火、防潮性能差，原料来源丰富，价格便宜
	无机纤维材料	玻璃纤维：中粗棉、超细棉、玻璃棉毡	吸声性能好，保温隔热，不自燃，防病防潮，应用广泛
		矿渣棉：散棉、矿棉毡	吸声性能好松散材料易因自垂下沉，施工扎手
	纤维材料制品	软质木纤维板，矿棉吸声板，岩棉吸声板，玻璃棉吸声板，木丝板等	装配式施工，多用于室内吸声装饰工程
颗粒材料	砌块	矿渣吸声砖，膨胀珍珠岩吸声砖，陶土吸声砖	多用于砌筑截面较大的消声器
	板材	珍珠吸声装饰板	质轻、不燃、保温、隔热、强度偏低
	泡沫塑料	聚氨酯泡沫塑料、尿醛泡沫塑料	吸声性能不稳定，吸声系数使用前需实测
	其它	泡沫玻璃	强度高、防水、不燃、耐腐蚀、价格昂贵、使用较少
		加气混凝土	微孔不通，使用较少

多孔吸声材料的中高频吸声系数较高，低频吸声效果差。吸声材料的厚度取消声频率波长的四分之一。

2)共振吸声结构

(1)薄板共振吸声结构

将薄的板材如三夹板、五夹板、塑料板或金属板等固定在框架上，板后留一定深度的空气层即构成薄板共振吸声结构。

吸声结构的共振频率为：

$$f_0=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\rho C_0^2}{mD}}\approx\frac{600}{\sqrt{mD}} \quad \text{Hz} \qquad (6.3.2—121)$$

式中：C_0 ——空气中的声速，m/s；

ρ ——空气密度，kg/m^3；

m ——薄板单位面积质量，kg/m^2

D ——薄板后空气厚厚度，cm。

当空气层完全不填多孔材料时，共振频率比上式计算值要高，可按下式计算：

$$f_0=\frac{850}{\sqrt{mD}} \quad \text{Hz} \qquad (6.3.2—122)$$

薄板共振吸声结构多用于低频吸声，共振频率多在 80～300Hz 之间，吸声系数约为 0.2～0.5。若在空气层中特别是空气层的周边一带填以多孔吸声材料，将会增加吸声系数，特别是共

振频率附近的频率范围内吸声系数增加尤为明显。

(2)亥姆霍兹共振器

图 6.3.2—88 为亥姆霍兹共振器的示意图。

亥姆霍兹共振器适于低频吸收,但吸声频带窄,对声学用的共振器,共振频率为:

$$f_0=\frac{C_0}{2\pi}\sqrt{\frac{\pi r^2}{V(L+\frac{\pi}{2}r)}} \quad \text{Hz} \qquad (6.3.2\text{—}123)$$

式中:C_0 ——空气中的声速,m/s;

V ——空腔体积,m^3

L ——颈的实际长度,m

r ——颈口半径,m

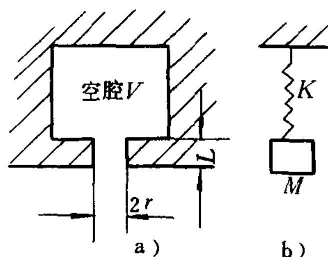


图 6.3.2—88 亥姆霍堆兹共振器示意图

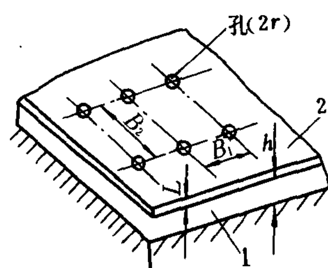


图 6.3.2—89 穿孔板结构

1—空气层;2—板

(3)穿孔板共振结构

图 6.3.2—89 为穿孔板结构示意图,每个小孔相当于单个亥霍兹共振器。共振频率为:

$$f_0=\frac{C_0}{2\pi}\sqrt{\frac{S}{VL_k}} \quad \text{Hz} \qquad (6.3.2\text{—}124)$$

式中:C_0 ——空气中的声速,m/s;

$S=\pi r^2$, m^2;

r ——孔的半径,m;

V ——每孔分占空气层体积,m^2,$V=B_1\cdot B_2\cdot h$;

$$L_k=L+\frac{\pi}{2}r,\text{m}$$

B_1、B_2、h 及 L 的含义见图 6.3.2—89。

在已知穿孔率 p 时,共振频率 f_0 为:

$$f_0=\frac{C_0}{2\pi}\sqrt{\frac{p}{h\cdot L_k}} \quad \text{Hz}$$

穿孔板穿孔率 $p=\frac{\text{穿孔面积}}{\text{全面积}}\times 100\%$,穿孔率不能太大,一般小于 15%~20%。

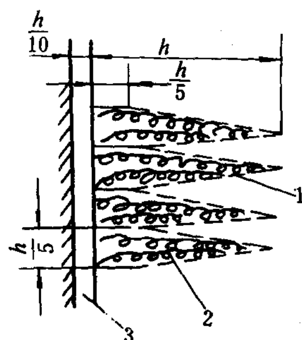
(4)微穿孔板吸声结构

结构上与穿孔板结构类似,只是板厚与孔径均在 1mm 以下,穿 孔率 1%~3%,其特点是在较宽的频率范围内,吸声系数近似为 1。

微穿孔板适用于高速气流噪声控制中，耐气流冲击、耐高温、不怕油雾。

3)吸声尖劈

图 6.3.2—90 为吸声尖劈示意图。尖劈的高度 h 最好约等于所需要吸收声波的最低频率的声波波长的一半，这样的吸声尖劈的吸声系数可达 0.98。



6.3.2—90　吸声尖劈

1—护面板；2—玻璃纤维；3—空气层

8.2 吸声系数表

吸声系数表示材料的吸声特性，工程上所用的吸声材料仅给出中心频率 125～4000Hz 倍频带的吸声系数，中心频率 63 和 8000Hz 倍频带吸声系数一般不给出，因测量因素不稳定。用驻波管法测出的吸声系数适用于消声器和管道的吸声衬垫，用混响室法测出的吸声系数适用于室内吸声处理。驻波管法测出的吸声系数 α_0 与混响室法测出吸声系数 α_R 的关系见图 6.3.2—91。

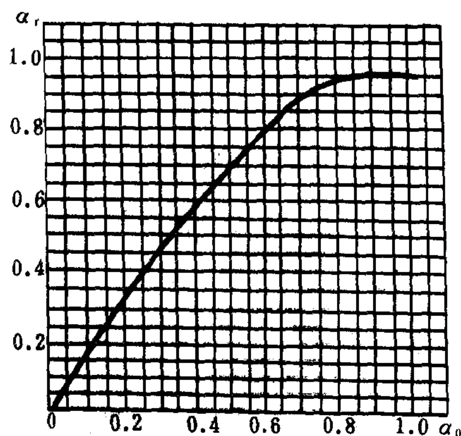


图 6.3.2—91　α_0 与 α_R 值换差图

表 6.3.2—44 为部分国产吸声材料的吸声系数值。

表 6.3.2—44　**吸声系数表**

纤维材料类吸声系数表　(驻波管值)

材料	厚度 cm	容重 g/cm³	频率 Hz 125	250	500	1000	2000	4000
超细玻璃棉(天津玻璃厂)	6.0	0.0234	0.08	0.87	0.80	0.87	0.82	0.86
	7.5	0.0108	0.11	0.71	0.95	0.85	0.85	0.88
	8.0	0.0207	0.12	0.94	0.67	0.79	0.88	0.95
中粗玻璃纤维毡(天津玻璃厂)	5.0	0.094	0.07	0.23	0.60	0.95	0.90	0.95
超细玻璃棉毡(上海玻璃钢厂)	2.0	0.03	0.03	0.04	0.29	0.80	0.79	0.79
树脂玻璃棉板(长春第一玻璃厂)	5.0	0.64	0.06	0.17	0.48	0.81	0.95	0.90
	2.5	0.36	0.04	0.07	0.16	0.34	0.63	0.87
酚醛玻璃纤维板(去掉表面硬皮层)	2	0.1	0.05	0.08	0.22	0.42	0.78	0.90
	4	0.1	0.08	0.21	0.55	0.93	0.99	0.95
	6	0.1	0.15	0.37	0.75	0.95	0.99	0.95
	8	0.1	0.25	0.55	0.80	0.92	0.98	0.95
石　棉	2.5	0.21	0.06	0.35	0.50	0.46	0.52	0.65
矿　渣　棉	6	0.24	0.25	0.55	0.79	0.75	0.88	0.91
	8	0.24	0.35	0.65	0.65	0.75	0.88	0.92
	8	0.30	0.35	0.43	0.55	0.67	0.78	0.92
	8	0.15	0.30	0.64	0.93	0.78	0.93	0.94
	7	0.20	0.30	0.63	0.76	0.83	0.90	0.92
玻　璃　丝	5	0.10	0.15	0.38	0.81	0.83	0.72	0.84

纤维制品类吸声系数　(驻波管值)

材料	厚度 cm	容重 g/cm³	频率 Hz 125	250	500	1000	2000	4000
玻璃棉板	5	0.64	0.06	0.17	0.48	0.81	0.95	0.90
石棉板	0.8	1.88	0.02	0.03	0.05	0.06	0.11	0.28
沥青软木板	3.5	0.22	0.05	0.06	0.29	0.35	0.34	0.50
沥青玻璃棉毡	3	0.06	0.11	0.13	0.26	0.46	0.75	0.88
超细玻璃棉毡	4	—	0.08	0.24	0.89	0.69	0.77	—
泡沫玻璃	4	0.16	0.11	0.27	0.35	0.31	0.43	—
树脂棉板	5	0.34	0.06	0.17	0.48	0.81	—	—
工业毛毡	2	0.37	0.07	0.26	0.42	0.40	0.55	0.56

塑料制品吸声系数　(驻波管值)

材料	厚度 cm	容重 g/cm³	频率 Hz 125	250	500	1000	2000	4000
硬聚氯乙烯泡沫塑料板	2.5	0.01	0.04	0.04	0.17	0.56	0.28	0.58
酚醛泡沫塑料	2	0.16	0.08	0.15	0.30	0.52	0.56	0.60

续上表

聚胺甲醛脂泡沫塑料	2	0.04	0.11	0.13	0.27	0.69	0.98	0.79
微孔聚脂泡沫塑料	4	0.03	0.10	0.14	0.26	0.50	0.82	0.77
粗孔聚胺脂泡沫塑料	4	0.04	0.06	0.10	0.20	0.59	0.68	0.85
聚氯乙烯塑料	0.41	0.29	0.03	0.02	0.06	0.29	0.13	0.13
尿基米波罗	3	0.02	0.10	0.17	0.45	0.67	0.65	0.85

常用建筑材料吸声系数 （混响室值）

材料	厚度 cm	容重 g/cm^3	频率 Hz					
			125	250	500	1000	2000	4000
玻璃			0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
地漆布			0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04
地毯(绒毛层厚 10mm)			0.10	0.10	0.30	0.30	0.27	—
地毯(绒毛层厚 9mm 铺在水泥地上)			0.09	0.08	0.21	0.26	0.27	0.37
橡皮地毯(铺在水泥地面上)	0.5		0.04	0.04	0.08	0.20	0.08	—
门窗帘(绸 0.34kg/m⁴ 无皱裆)			0.04	—	0.11	—	0.30	—
门窗帘(棉布 0.5kg/m² 有皱裆)			0.07	—	0.49	—	0.66	—
门窗帘(长毛绒 0.65kg/m² 有皱裆)			0.14	0.35	0.55	0.72	0.70	0.65
胶合板(贴有裱糊纸)			0.12	0.12	0.06	0.08	0.09	0.12
木墙裙			0.10	0.10	0.10	0.08	0.08	0.11
木镶板			0.08	—	0.06	—	0.06	—
木板地板			0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07
泡沫水泥地面	4		0.09	0.12	0.28	0.12	0.06	—
大理石或抛光板			0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
钢 板			0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
泡沫玻璃	4		0.15	0.35	0.70	0.50	0.58	—

续上表

共振结构类吸声系数 （混响室值）								
材料与结构		空腔距离 cm	倍频程中心频率 Hz					
			125	250	500	1000	2000	4000
五夹板(肋骨间距 45×45cm)		5	0.09	0.52	0.17	0.06	0.10	0.12
		10	0.41	0.30	0.14	0.05	0.10	0.16
		15	0.38	0.33	0.16	0.06	0.10	0.17
塑料五夹板（肋骨间距 50×50cm）	中填矿棉	5	0.47	0.41	0.20	0.09	0.09	0.12
	周边用矿棉条	10	0.45	0.25	0.10	0.08	0.07	0.13
	无填料	15	0.47	0.19	0.14	0.08	0.07	0.13
三夹板（肋骨间距 50×50cm）	无填料	5	0.21	0.74	0.21	0.10	0.08	0.12
	填矿棉	5	0.37	0.57	0.28	0.12	0.09	0.12
七夹板(肋骨间距 50×45cm)		16	0.58	0.14	0.09	0.04	0.04	0.07
穿孔三夹板,厚 0.35cm、孔径 0.6cm、孔距 1cm（驻波管值）	后放玻璃棉毡 3cm 厚,贴实于硬壁上		0.13	0.20	0.48	0.99	—	—
	后放玻璃棉毡 3cm 厚,再留空腔 2cm		0.19	0.28	0.67	0.90	—	—
	后放玻璃棉毡 3cm 厚,再留空腔 5cm		0.22	0.48	0.99	0.77	—	—
穿孔三夹板,厚 0.35cm、孔径 0.6cm、孔距 1cm（驻波管值）	后放白毛毡,1cm 厚,贴于硬壁上		0.03	0.05	0.15	0.52	—	—
	后放玻璃棉毡 3cm 厚,再留空腔 5cm		0.09	0.31	0.75	0.92	—	—
穿孔五夹板,厚 0.5cm、孔径 0.5cm、孔距 2cm（驻波管值）	后放矿棉 1cm 厚,再留空腔 3.5cm		0.21	0.66	0.53	0.18	0.13	0.15
聚氨乙烯泡沫塑料厚 1cm(驻波管值)	后放玻璃棉毡 4cm 厚，贴实于硬壁上		0.09	0.30	0.75	0.88	0.94	0.88
	后放沥青矿棉毡 4cm 厚,再留空腔 7cm		0.42	0.85	0.98	0.81	0.93	0.83
聚氨乙烯泡沫塑料厚 2cm(驻波管值)	后放沥青玻璃棉毡 4cm 厚,贴于硬壁上		0.13	0.55	0.88	0.68	0.70	0.90
	后放沥青玻璃棉毡 4cm 厚,并留空腔 6cm		0.60	0.90	0.76	0.65	0.77	0.90
	后留空腔 5cm		0.12	0.44	0.94	0.76	0.55	0.78
穿孔聚氯乙烯塑料板厚 0.25cm 孔径 0.5cm、孔距 2cm(驻波管值)	后留空腔 9.5cm		0.12	0.65	0.56	0.10	0.06	0.12
	后放玻璃布一层,再留空腔 9.5cm		0.18	0.96	0.42	0.19	0.15	0.02
	后放玻璃棉毡一层,厚 5.5cm,再留空腔 3cm		0.36	0.35	0.26	0.11	0.12	0.07
穿孔金属板,孔径0.6cm、孔距 0.55cm	后放矿棉毡一层,厚 10cm,包在 0.1mm 厚的玻璃布内,放在穿孔金属板上缝透		0.32	0.76	1.00	0.95	0.90	0.98
	后放超细玻璃棉毡一层,厚 10cm,包在 0.1mm 厚的玻璃布内		0.31	0.37	1.00	1.00	1.00	1.00

续上表

微穿孔板的吸声系数								
微穿孔板结构	穿孔率	空腔距离 cm	倍频程中心占率 Hz					
			125	250	500	1000	2000	4000
单层微穿孔板，孔径0.8mm、板厚0.8mm	1%	3	—	0.18	0.64	0.69	0.17	—
	1%	5	0.05	0.29	0.87	0.78	0.12	—
	1%	7	—	0.40	0.86	0.37	0.14	—
	1%	10	0.24	0.71	0.96	0.40	0.29	—
	1%	15	0.37	0.85	0.87	0.20	0.15	—
	2%	3	0.08	0.11	0.15	0.58	0.40	—
	2%	5	0.05	0.17	0.60	0.78	0.22	—
	2%	7	0.12	0.24	0.57	0.70	0.17	—
	2%	10	0.10	0.46	0.92	0.31	0.40	—
	2%	15	0.24	0.68	0.80	0.10	0.12	—
	3%	3	—	0.06	0.20	0.68	0.42	—
	3%	5	0.11	0.25	0.43	0.70	0.25	—
	3%	7	—	0.22	0.82	0.69	0.21	—
	3%	10	0.12	0.29	0.78	0.40	0.78	—
	3%	15	0.21	0.47	0.72	0.12	0.20	—
双层微穿孔板，孔径0.8mm、板厚0.9mm，前腔距离为 D_1，后腔距离为 D_2	前层板为2.5%，后层为1%	$D_1=3$、$D_2=7$	0.26	0.71	0.92	0.65	0.35	
		$D_1=4$、$D_2=6$	0.21	0.72	0.94	0.84	0.30	
		$D_1=5$、$D_2=5$	0.18	0.69	0.92	0.99	0.24	
	前层板为2%，后层板为1%	$D_1=5$、$D_2=10$	0.25	0.79	0.67	0.68	0.45	0.38

注：双层微穿孔板吸声系数除最后一行为混响室测定外，其余均为驻波管法测定值。

人与家具的吸声值(等效吸声面积，m^2)

名称	倍频程中心频率 Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
人(单个的人)	0.30	0.39	0.44	0.51	0.56	0.53
木椅(椅背和椅座均用胶合板制成)	0.014	0.019	0.023	0.028	0.046	0.046
木椅(坐有人)	0.14	0.28	0.44	0.51	0.55	0.46
沙发	0.23	0.37	0.42	0.44	0.42	0.37
软椅(椅背和椅座均用多孔材料填充，并包钉布料)	0.15	0.20	0.20	0.25	0.30	0.30
半软椅	0.08	0.10	0.15	0.15	0.20	0.20
办公桌(写字台)	0.09	—	0.10	—	0.11	—

8.3 吸声减噪计算

1)吸声减噪原理

吸声减噪的主要原理是通过在室内平顶或墙面的吸声处理(加装吸声材料)，用以减少壁面反射声，增加室内总吸声量，提高室内平均吸声系数，达到减低室内噪声的目的。

当噪声源放置在室内时，在任意接收点，除了听到直接来自声源的直达声之外，还可以听到经房间壁面(墙面、天花板和地面)多次反射而形成的混响声。由于混响声与直达声叠的结果，使室内声级地相同声源置于室外的声级有所提高，其提高量与室内壁面的吸声性能有关

（见表 6.3.2—45）。

表 6.3.2-45　　**声压级提高量 Δlp 与室内平均吸声系数 α 的关系**

$\bar{\alpha}$	ΔL_pdB	$\bar{\alpha}$	ΔL_pdB	$\bar{\alpha}$	ΔL_pdB	$\bar{\alpha}$	ΔL_pdB	$\bar{\alpha}$	ΔL_pdB
0.01	20.0	0.07	11.6	0.16	8.0	0.28	5.5	0.55	2.6
0.02	17.0	0.08	11	0.18	7.5	0.30	5.2	0.55	2.2
0.03	15.2	0.09	10.6	0.20	7.0	0.35	4.6	0.70	1.5
0.04	14.0	0.10	10	0.22	6.6	4.0	4.0	0.80	1.0
0.05	13.0	0.12	9.2	0.24	6.2	0.45	3.5	0.90	0.5
0.06	12.2	0.14	8.5	0.26	5.9	0.50	3.0	1.00	0

2)吸声减噪量计算

在扩散声场中，离声源一定距离的声压级为：

$$L_p = L_w + 10\lg(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}) \quad dB \qquad (6.3.2-125)$$

式中：L_w ——声源声功率级，dB；

r ——计算点离声源的距离，m；

Q ——声源指问性因素，查表 6.3.2—46；

R ——房间常数，$R=\frac{S\bar{\alpha}}{1-\bar{\alpha}}$m²；

S ——房间内总表面积，m²；

$\bar{\alpha}$ ——室内表面每一倍频带中心频率的平均吸声系数，$\bar{\alpha}=\frac{\Sigma s_i \alpha_i}{S}$；

S_i ——房间内某一表面的面积，m²；

α_i ——该表面上的倍频带吸声系数。

可见吸声减噪处理的改变量即为房间常数 R，若吸声减噪处理前后的房间常数分别为 R_1 和 R_2，则在离声源足够远处(即距离大于临界距离 r_c 的远场范围)的最大吸声减噪量 Δl_{pmax} 为：

$$\Delta l_{pmax} = 10\lg\frac{R_2}{R_1} = 10\lg\frac{\bar{\alpha}_2}{\bar{\alpha}_1} + 10\lg\frac{1-\bar{\alpha}_1}{1-\bar{\alpha}_2} \quad dB \qquad (6.3.2-126)$$

式中：α_1、α_2 分别为吸声处理前后室内平均吸声系数。

监界距离 r_c(亦称混响半径)为

$$r_c = 0.14\sqrt{RQ} \quad m \qquad (6.3.2-127)$$

室内平均吸声减噪量为

$$\Delta\bar{L}_p = 10\lg\frac{\bar{\alpha}_2}{\bar{\alpha}_1} \quad dB \qquad (6.3.2-128)$$

由于混响时间与平均吸声系数成反比，故又得

$$\Delta \overline{L}_p = 10\lg \frac{T_1}{T_2} \quad dB \qquad (6.3.2-129)$$

式中：T_1、T_2 分别为吸声得理前后室内混响时间。

室内各点的吸声减噪量均在零与 ΔL_{Pmox}之间。

表 6.3.2—46 **声源指向性因素 Q**

声 源 位 置	Q
房间中央	1
地面(或侧墙、天花板)中心	2
棱线(如地面与侧墙交线)中心	3
房间角隅附近	4

3)计算实例

某舱室吸声处理前后房间常数分别为 80m² 和 300m²，求距离无指间性声源 1m 及 10m 处的吸声减噪量。

解 用式(6.3.2—125)和式(6.3.2—126)即可得到吸声减噪量：

在 1m 处为：

$$\Delta l_p = 10\lg(\frac{1}{4\pi \times 1^2} + \frac{4}{80}) - 10\lg(\frac{1}{4\pi 1^2} + \frac{4}{300}) = 1.5 \quad dB$$

在 10m 处为：

$$\Delta l_p = 10\lg(\frac{1}{4\pi \times 10^2} + \frac{4}{80}) - 10\lg(\frac{1}{4\pi \times 10^2} \cdot \frac{4}{300}) = 5.6 \quad dB$$

最大吸声减噪量为：

$$\Delta L_{Pmax} = 10\lg \frac{300}{80} = 5.7 \quad dB。$$

4)设计步骤

吸声减噪设计计算可按以下步骤进行：

(1)实测吸声处理前的室内噪声级，确定离声源一定距离点的见许噪声值，二者之差即为要求的吸声减噪量 ΔL_p。

(2)通过测量或计算求得处理前的室内平均吸声系数 $\bar{\alpha}_1$ 及房间常数 R_1。

(3)根据给定的距离及要求的吸声减噪量，利用式(6.3.2—125)或式(6.3.2—126)求得处理所需的房间常数 R_2 及平均吸声系数 $\bar{\alpha}_2$

(4)根据噪声的频谱特性及所需 $\bar{\alpha}_2$ 值，选择适当的吸声材料或结构，在天花板或墙面进行必要的吸声处理，使之达到设计减噪要求。

(5) 吸声减噪适用范围

吸声减噪只能降低混响声，不能降低直珲声，采取吸声减噪措施时应注意下列几点：

(1)若原有舱室的表面大都是坚硬反射面，室内混响非常显著，则吸声减噪效果十分明显；反之，吸声减噪效果就不大。

(2)当室内噪声源较少时，离声源距离大于临界距离的远场范围，其吸声减噪效果比靠近声源的近场范围有显著提高；而当室内均布很多噪声源时，直达声到处起作用，吸声效果就相应减小。

(3)实际吸声减噪效果一般可达 3～5dBA，较好时可达 6～8dBA，在原有吸声甚少，混响声十分显著的房间内，吸声减噪效果可高达 10dBA 左右。

(4)在吸声处理中必须考虑噪声的综合治理，如昼量采用隔声措施(隔声间、隔声罩、隔声管壁、隔屏等)，再辅以吸声减噪处理，可取得效好的降噪声效果。

(5)与陆早建筑设计相反，船舶舱室的吸声处理，其呼声材料应铺在舱室的全部表面上。

9 船舶隔声降噪

9.1 舱室噪声的传播途径

图 6.3.2—92 为船舶舱室噪声的传播途径示意图。隔声适用于沿途径 1、2、3 传播的空气声。沿途径 4 传播的固体声将减弱隔声效果。

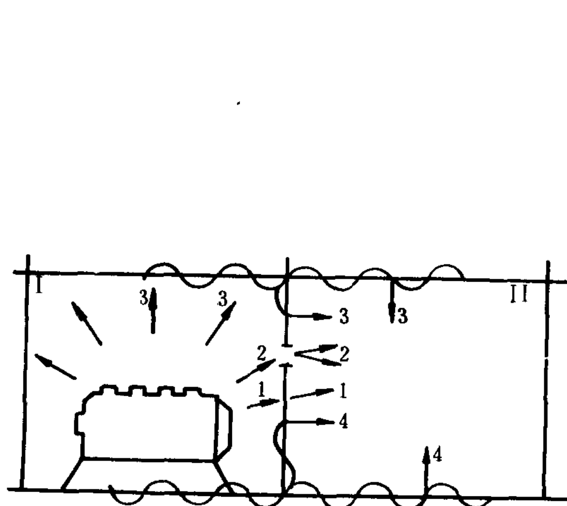


图 6.3.2—92 舱室噪声传播途径

I—舱室；II—舱室

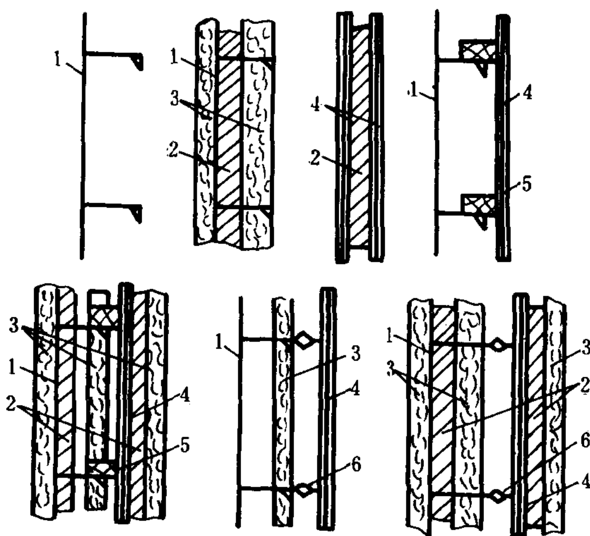


图 6.3.2—93 船用典型隔声结构

1—船体结构；2—减振阴压材料；3—吸声材料；4—面板；5—声桥；6—隔声声桥

隔声结构应用在机器的隔声罩、隔声屏、通风道、控制台、舱室围壁、甲板和隔舱壁上。图6.3.2—93为船舶隔声结构的示意图。

双层结构中，面板是通过声桥（能通过声音的结构）或隔声声桥（阻碍声音通过的结构）同船体结构连接的。声桥是使面板固定在船体上零件——销（螺栓）、桁条等。隔声声桥是对声桥采取隔振措施后的连接件。

9.2 构件隔声量

9.2.1 单层匀质薄板的隔声性能

构件的隔声量R又称为透射损失TL值，它用声透射系数τ的倒数的常用对数乘以10m表示的，即

$$TL=R=10\lg\frac{1}{\tau}\qquad dB \tag{6.3.2—130}$$

隔声量主要由控制板振动的三个物理量决定的：

1)板的面密度m，即板单位面积质量；

2)板的弯曲刚度B，$B=\frac{Et^3}{12(1-\sigma^2)}$（E为弹性模量，t为板厚，$\sigma$为泊松常数）；

3)材料的内阻尼。

船用钢板、铝板和胶合板的隔声量的经验公式为：

$$R=14.5[(fm+100)-2]\qquad dB \tag{6.3.2—131}$$

式中：m——板的面密度，kg/m^2；

f——$\frac{1}{3}$倍频带中心频率，Hz。

式(6.3.2—131)的适用范围是：板厚t=1～12mm，板的一面有不大于板厚30倍的刚性肋骨间距500—1000mm；计算的频率在临界吻合频率f_c以下f_c的计算式为：

$$\left.\begin{aligned}&\text{玻璃：}\quad f_c=\frac{12000}{t}\quad Hz\\&\text{胶合板：}\quad f_c=\frac{22600}{t}\quad Hz\\&\text{金属（钢、铝等）：}\quad f_c=\frac{12800}{t}\quad Hz\end{aligned}\right\} \tag{6.3.2—132}$$

式中：t——厚度，mm。

表6.3.2—47为船用板材的隔声值。

表6.3.2—47　**船用单层板的隔声值**　dB

材料及特性	厚度 mm	倍频程中心频率 Hz							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
钢 $\rho=7.8\times10^2$ $E=2\times10^{11}$	2	16	20	24	28	32	35	37	30
	3	19	23	27	31	35	37	30	39
	4	21	25	29	33	35	37	30	39
	5	23	27	31	35	37	30	39	43
	6	24	28	32	35	37	30	39	43
	7	25	29	33	35	37	30	39	43
	8	25	29	33	35	37	30	39	43
	10	27	30	35	37	30	39	43	47

续上表

材料及特性	厚度 mm	倍频程中心频率 Hz							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
铝	2	10	14	16	20	24	28	31	22
$\rho=2.8\times10^3$	3	12	16	20	24	28	31	22	30
$E=7.2\times10^{10}$	4	14	18	22	26	28	31	22	30
胶合板	4	6	10	14	18	22	26	28	25
$\rho=0.8\times10^3$	6	10	14	18	22	26	28	25	30
$E=3.4\times10^9$	8	14	18	21	24	27	25	28	32
硅酸盐玻璃	3	14	18	22	26	30	32	30	36
$\rho=2.3\times10^3$	4	16	20	24	28	30	32	30	36
$E=0.5\times10^{11}$	6	21	25	27	30	32	30	36	40
有机玻璃	4	6	10	14	18	22	26	34	30
$\rho=1.5\times10^3$	6	7	11	15	19	23	26	34	30
$E=4.3\times10^3$	10	11	15	19	23	26	34	30	41

注：ρ——密度 kg/m^3；E——弹性模数，N/m^2。

9.2.2 双层板的隔声性能

双层板是由两层单层板和中间空气层所组成，结构相当于质量－弹簧－质量振动系统，它的隔声量大于面质量相等的单层板。

1）低频共振频率 f_0

双层板的固有频率称为低频共振频率，在低于共振频率的频率范围内，空气层不起作用，双层板相当于面质量相同的单层板，隔声值不增加。频率从 $2f_0$ 开始，双层结构才不再受到共振的影响，显示出空气层的弹性作用，隔声量高于面质量相等的单层板。通常要求把 f_0 设计在100Hz 以下。共振频率 f_0 按下式计算：

$$f_0=\frac{60}{\sqrt{m''d}} \quad Hz \qquad (6.3.2—133)$$

式中：d——两板间的距离、m；

$m''=m_1\cdot m_2/m_1+m_2$，m_1、m_2 分别为两层板的面密度，kg/m^2；若 $m_1=m_2=m$，上式可改定为：

$$f_0=\frac{85}{\sqrt{md}} \quad Hz \qquad (6.3.2—134)$$

若双层板之间填充其它材料时，共振频率为：

$$f_0=0.16\sqrt{\frac{K}{m''}} \quad Hz \qquad (6.3.2—135)$$

式中：K 为填充料的动刚度，N/m^2；某些材料的动刚度值见表 6.3.2—48。若 $m_1=m_2=m$ 时，则

$$f_0=0.23\sqrt{\frac{K}{m}} \quad Hz \qquad (6.3.2—136)$$

表 6.3.2—48　　**某些弹性层的平均动刚度值**

材　　料		厚度　mm	动刚度　N/m²
软垫料	矿渣棉	20	9.8×10^6
	椰树丝	12	29.4×10^6
	软木屑	7	147×10^6
板类	矿渣棉	10	19.6×10^6
	硬聚苯乙烯泡沫塑料	15	$(29.4\sim196)\times10^6$
	木纤维	25	196×10^6
	软木	10	490×10^6
沙　　包		25	294×10^6

2)高频共振频率 f_{cn}

当声波的频率高到半波波长等于空气厚度时，即 $d=\frac{n\lambda}{2}$(n=1・2・3……。)时，空气层中发生一系列的驻波共振，此时隔声值有一定程度的下降，驻波共振率 f_{cn} 称为高频共振，其计算式为：

$$f_{cn}=\frac{nC}{2d},\ n=1\cdot2\cdot3\cdots\cdots。\qquad(6.3.2\text{—}137)$$

式中：C——声速，m/s。当 n=1 时，$f_{c_1}=\frac{C}{2d}$，即 $d=\frac{\lambda}{2}$ 时开始发生共振。

3)双层板的隔声量

双层板隔声量计算的经验式为：

$$R=16\lg(m_1+m_2)\times f-30+\Delta R\quad dB\qquad(6.3.2\text{—}138)$$

式中：ΔR——空气层附加隔声量，dB，其值见表 6.3.2—49。

表 6.3.2—49　　**空气层附加隔声量**

空气层厚度　mm	30	40	50	60	70	80	100
ΔR　　dB	1	3.5	4.5	5.5	6	6.5	7

某些船用双层板的隔声值见表 4.3.2—50。

表 6.3.2—50　　**双层板隔声值　　dB**

序号＼频率	1/3 倍频程中心频率 Hz																					
	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000
1	21.1	15.1	13.2	10.5	14.9	12.2	15.8	18.5	21.9	26.8	34	35.5	38	40.9	45.3	47.1	48.3	55.4	52.6	54.4	55.4	55.9
2	17.2	13.8	13.4	8.0	14	10.2	12.4	14.7	18.4	21.7	24.6	25.2	28.4	32.3	29.2	41.3	44.9	48.5	50.0	52.9	56.1	55.4
3	23.2	21.8	19.1	22.4	28.9	35	39.6	39.4	39.4	39.5	47.4	41.3	43.9	48.9	50.9	49.9	51.4	53.3	53.6	56.7	58.3	59.2
4	18.9	19.5	19.3	23.4	30.6	34.8	41.3	41.3	39.3	41.4	47.4	42	44.8	50.1	51.5	51.1	51.7	54.4	55.1	55.9	59.1	
5	19.9	23.6	23.0	23.1	30.4	31.2	37.9	39.4	38.9	40.1	45.5	41.3	43.5	49.4	50.5	50.2	51.2	53.1	52.2	54.4	56.1	
6	29.7	24.7	26.5	24.7	28.6	29.3	32.2	32.9	32.5	33.9	37.9	36.4	39.4	41.9	44.1	44.7	43.0	40.1	39.9	44.4	46.1	48.7
7	23.4	23.4	26.5	22.8	29.9	29.2	31.6	33.3	33.1	35.5	39.0	38.5	40.6	43.7	45.8	47.2	47.9	45.9	43.8	47.6	51.2	54.3

结构如下：

1. 带扶强材铝板 1.5mm＋空腔 50mm＋1mm 铝板＋50mm 超细玻璃棉＋3mm 航空胶合板；

2. 铝板 1.5mm＋空腔 50mm＋1mm 铝板＋50mm 空腔＋3mm 穿孔胶合板；

3. 4mm 钢板＋50mm 空腔＋1.5mm 钢板＋50mm 超细玻璃棉＋铝质穿孔板(贴玻璃布)；

4. 4mm 钢板＋6mm 阻尼涂层＋50mm 空腔＋1.5mm 钢板＋3mm 阻尼涂层＋50mm 超细玻璃棉＋铝穿孔板(贴玻璃布)；

5. 4mm 钢板＋6mm 阻尼涂层＋50mm 空腔＋钢丝网＋50mm 超细玻璃棉＋铝穿孔板(贴玻璃布)；

6. 4mm 钢板；

7. 4mm 钢板＋6mm 阻尼涂层。

阻尼涂料为上海开林油漆厂的 54－11。超细玻璃棉容重为 $20kg/m^3$；钢板结构均为 4mm；钢板背面有肋距 500－档的角钢(50×50×4)共 5 档，重量 120.96kg，面积 $2.8mm^2$，铝质穿孔板孔径 5mm，孔距 15mm。

9.2.3 组合隔声构件

由隔声量不同的构件合成的组合构件，如带有门窗的围壁，它的隔声量为：

$$R_0=10\lg\frac{1}{\tau_0}\quad dB \qquad (6.3.2—139)$$

式中：τ_0——组合构件的等效透射系数。

$$\tau_\alpha=\frac{\sum\tau_i S_i}{\Sigma S_i} \qquad (6.3.2—140)$$

式中：τ_i——各构件的透射系数；

S_i——各构件的面积。

τ_i 与 R_i 的换算关系为：$\tau_i=10^{-0.1R_i}$。

合理的设计应使组合构件中各构件的 τs 值大致相等，$\tau_1S_1\approx\tau_2S_2\approx\tau_3S_3=\cdots\cdots$，即各构件的透射系近似地与它的表面积成反比：

$$\frac{\tau_2}{\tau_1}=\frac{S_1}{S_2},\ \frac{\tau_3}{\tau_1}=\frac{S_1}{S_3},\cdots\cdots$$

此即等透射设计原则。一般情况下，不要使门窗的隔声量与板壁的隔声值相差太悬殊，它们的差值在十几分贝尚查以，再小就不合适了。

9.2.4 管道隔声

管道隔声量计算见式(6.3.2—88)和式(6.3.2—89)。

9.2.5 孔洞缝隙对隔声的影响

构件上有孔洞或缝隙时，隔声值要降低，其计算式用式(6.3.2—139)和式(6.3.2—140)，其中孔洞及缝隙的 τ 值定为 1。

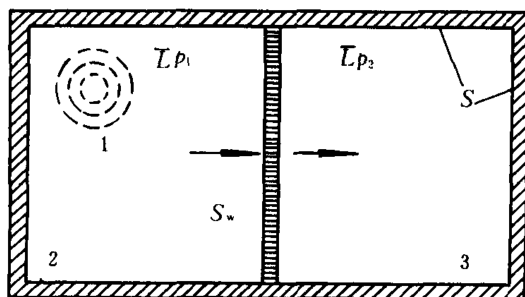


图 6.3.2—94 隔舱壁的声传透
1—声源；2—声源室；3—接收室

9.3 室内噪声级计算

1)舱室只有一个围壁受到噪声的干扰

图 6.3.2—94 表示当声源发声时，声源室内的平均声压级为 $\overline{L}_{P_1}$，由于隔舱壁 S_w，使接收室内的平均声压级下降为 $\overline{L}_{P_2}$。这个声压级的差值，称为实际隔声量 R_{P_r} 或噪声降低值 NR。

$$R_{P_r}=NR=\overline{L}_{P_1}-\overline{L}_{P_2}=R+10\lg\frac{\Sigma S\alpha}{S_w}\quad dB \qquad (6.3.2—141)$$

式中：R——隔舱壁 S_w 的隔声量，dB；

S_w ——隔舱壁的面积，m^2；

$\Sigma S\alpha$ ——接收室内的总吸声量，m^2。

公式(6.3.2—141)表明了在侧向传声影响很小而可以不加考虑时，现场实测噪声降低值R_{p_r}和构件隔声量r之间的关系。此时要推算构件隔声量R，需加一个修正量，即

$$R=\bar{L}_{p_1}-\bar{L}_{p_2}+10\lg\frac{S_w}{\Sigma S\alpha} \quad dB \qquad (6.3.2—142)$$

2)舱室的各个围壁都有噪声的干扰

舱室的每一个围壁外面都有一个声源时，室内的总声级L_p为：

$$L_p=10\lg\sum_{1}^{n}S_i10^{0.1(L_i-R_i)}+10\lg A \qquad (6.3.2—143)$$

式中：S_i——第i块围壁的面积，m^2；

L_i——第i块围壁外面的噪声级，dB；

A——舱室内的总吸声量，m^2，$A=\Sigma S_i\alpha_i$。

9.4 隔声室、隔声罩与隔声屏

隔声室与隔声罩是降低噪声的一种有效措施。从声学原理上讲，两者无严格的差别，习惯上将包围人所处的空间结构称为隔声室或隔声间，将声源(机器设备)包围起来的空间结构称为隔声罩。隔声室和隔声罩是除隔声结构外，还包括吸声、阻尼、隔振、通风散热和消声器等的一个综合性的降噪措施。

9.4.1 隔声室

隔声室是专为工作人员有一个较为安静的环境而设计的，此时声源在室外，其室内的平均声压级$\bar{L}_{p_2}$的计算式可用式(6.3.2—142)，即

$$\bar{L}_{p_2}=\bar{L}_{p_1}-R+10\lg\frac{S_w}{\Sigma S\alpha} \quad dB \qquad (6.3.2—144)$$

若隔声室周围有若干个噪声源，则可引用公式(6.3.2—143)。

隔声室一般有门、窗和电缆孔，应特别注意门缝、窗隙和孔隙的漏声，通常用软橡胶或软的密封涂料填塞其缝隙，避免隔声效果降低。

隔声室内的通风计算按船舶通风有关规定进行。

隔声室地板需弹性支承，以减少固体声的传播。

9.4.2 隔声罩

隔声罩的声学计算非常复杂，隔声效查用插入损失IL来表示，当隔声罩内吸声系数不大时，插入损失可用下式计算：

$$IL=R+10\lg\bar{\alpha} \qquad (6.3.2—145)$$

式中：R——隔声罩内壁的隔声量，dB；

$\bar{\alpha}$——隔声罩内壁的平均吸声系数。

在噪声频率等于罩壁面的固有频率时将发生共振，此时插入损失IL值很小，甚至是负值(罩辐射的声能比未加罩的声源还大)。要使隔声罩有效地隔声，就要使共振频率很高。若罩是由长度为a×b(m)的板作成的，其最低固有频率为：

$$f_{11}=\frac{2}{\pi}\left[\frac{Et^3}{12m(1-\sigma^2)}\right]^{1/2}\left(\frac{1}{a^2}+\frac{1}{b^2}\right)=0.48C_Lt\left(\frac{1}{a^2}+\frac{1}{b^2}\right) \qquad (6.3.2—146)$$

式中：m——板的面密度，kg/m^2；

E —— 杨氏模量，N/m^2；

σ ——泊松比，$\sigma=0.3$；

t ——板的厚度，m。

C_L——板中的纵波连度。m/s。

由此，杨氏模量大而面密度小的材料是最好的材料。这和隔声板的要求正好相反。

按机器相对于罩内所占的空间大小，隔声罩分为大罩、小罩和部分罩。大罩是指机器总体积小于罩内总体积的 1/3 的隔声罩，隔声效果按式(6.3.2—145)计算；小罩指机器表面靠近罩内表面的隔声罩，隔声效果按式(6.3.2—147)计算；部分罩是指有开口或局部无板的隔声罩，隔声效果按式(6.3.2—148)计算，若开口面积与隔声罩面积接近相等，则按隔声屏的方法来计算；

在某些特定的频率，小罩容易产生共振现象，使隔声效果低于大罩的隔声效果。小罩的共振频率有两部分，一是罩内空间产生的驻波谐振频率，另一是罩壁面的固有频率。改善驻波共振频率的办法是在罩的内表面上加厚的吸声材料，厚度大于声波波长的 1/4 倍(罩与机器表面距离等于空气中声波半波长的整数倍时就发生驻波共振)。

1)小罩的隔声效果

隔声效果用插入损失 IL 表示：

$$IL=10\lg[1-\frac{2\sin\theta(X\cos\theta-R\sin\theta)}{\rho c}+\frac{\sin^2\theta(X^2+R^2)}{\rho^2c^2}] \quad dB \qquad (6.3.2—147)$$

式中：$\theta=\omega l/C$，l 为机器表面到罩壁的距离，m；

$$\omega=2\pi f, f \text{ 为频率，Hz；}$$

$$X=\omega M-\frac{S}{\omega}, Ns/m^3;$$

M—— 罩壁的面密度，kg/m^2；

S—— 罩壁单位面积的刚度，N/m^3；

R—— 罩壁单位面积的力阻，$N\cdot s/m^3$；

ρc—— 空气的特性阻抗，$415Ns/m^3$。

2)部分罩的隔声效果

罩内形成混响声场时，插入损失 IL 为：

$$IL=10\lg[\frac{(S_0/S_a)+\alpha+\tau}{S0/(S_a)+\tau}] \quad dB \qquad (6.3.2—148)$$

式中：S_0—— 开口面积，m^2；

S_a—— 罩壁面积，m^2；

α—— 罩内表面的吸声系数；

τ—— 罩壁面的声透射系数。

当开口面积 $S_0\to0$ 时，上式变为式(6.3.2—145)。

若罩内未形成混响声场，可按隔声差处理。

图 6.3.2—95 是隔声罩壳的典型结构。主板是起隔声作用的元件，用金属薄板、硬塑料或夹心板制成。壳板是作侧壁用的，以增大主板刚度和沿着板的外形保护吸声材料的。吸声材料作成袋装形式，长度和宽度应适于安装在板的网格内，厚度不小于 50mm，材质为超细玻璃棉或矿棉。薄膜是防水用的厚度不大于 25μm。扩面板用厚度小于 1mm 的铝合金板，开孔率 25% 左右。

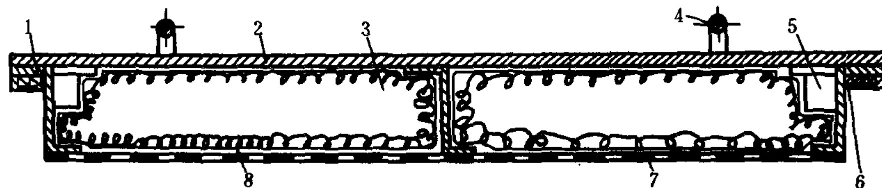


图 6.3.2—95 隔声罩壳典型结构

1—壳板；2—主板；3—吸声材料；4—手柄；5—销口；6—密封垫；7—多孔扩面板；8—护面薄膜

图 6.3.2—96 为隔声罩壁的常用结构。图 6.3.2—97 为双层隔声罩壁结构。

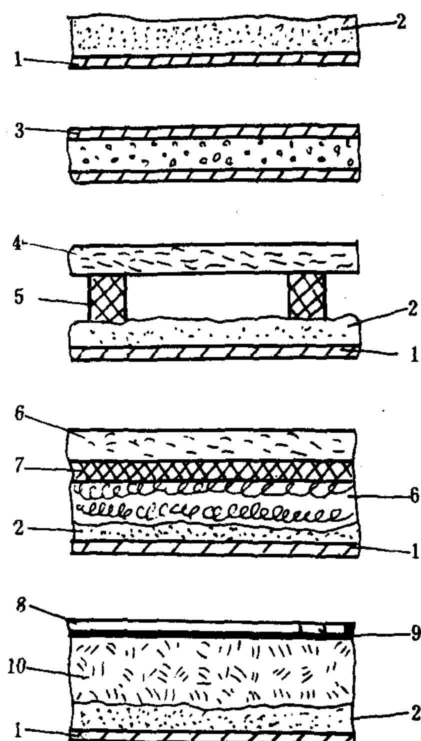


图 6.3.2—96 常用隔声罩壁结构

1—罩壁；2—吸声层；3—夹心板；4—厚纸板；5—海棉橡胶；6—毛毡；7—厚板；8—穿孔板；9—金属箔；10—纤维材料

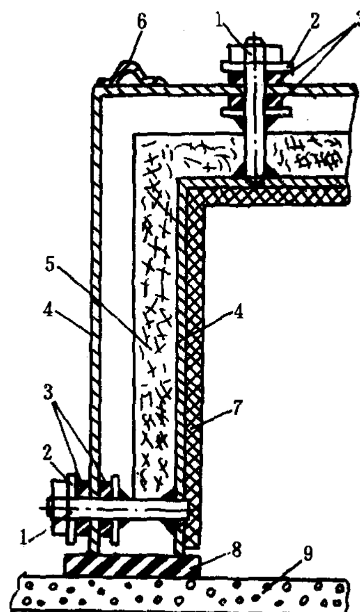


图 6.3.2—97 双层隔声罩壁结构

1—螺栓螺母；2—垫圈；3—橡胶垫圈；4—3mm 厚的钢板；5—35mm 厚的矿渣棉；6—吊环；7—12mm 厚软木纤维板；8—20mm 厚橡胶隔振垫；9—机座

隔声罩的通风散热问题是隔声罩设计成败的关键问题之一，所需的通风量为：

$$q=\varphi/\rho C_p \cdot \Delta t \qquad m^3/s \qquad (4.3.2-149)$$

式中：φ ——声源的散热量，kW；

ρ ——空气密度，1·13kg/m³(35℃、相对湿度 70%和气压 1013kPa 时的空气密度)；

C_p——空气比热，取 1.01kJ/(kg·K)；

Δt——隔声罩内外的温差，K。

声源的散热量计算：

1）柴油机的散热量 φ_d：

$$\varphi_d = P_d \cdot \frac{L_d}{100} \quad kW \qquad (6.3.2—150)$$

式中：P_d——柴油机最大输出功率时的轴功率 kW；

L_d——柴油机热损失，%。当 L_d 数据没有规定时，可按图 6.3.2—98 计算。

2）发电机的散热量 φ_g：

$$\varphi_g = 0.07P_g \quad kW \qquad (6.3.2—151)$$

式中：P_g——发电机输出功率，kW 。

3）电动机的散热量 φ_e

$$\varphi_e = 0.15P_e \quad kW \qquad (6.3.2—152)$$

式中：P_e——电动机功率，kW。

4）封闭机舱

若以整个机舱作为隔声罩（即封闭机舱），机舱的通，风量按机舱通风要求计算。

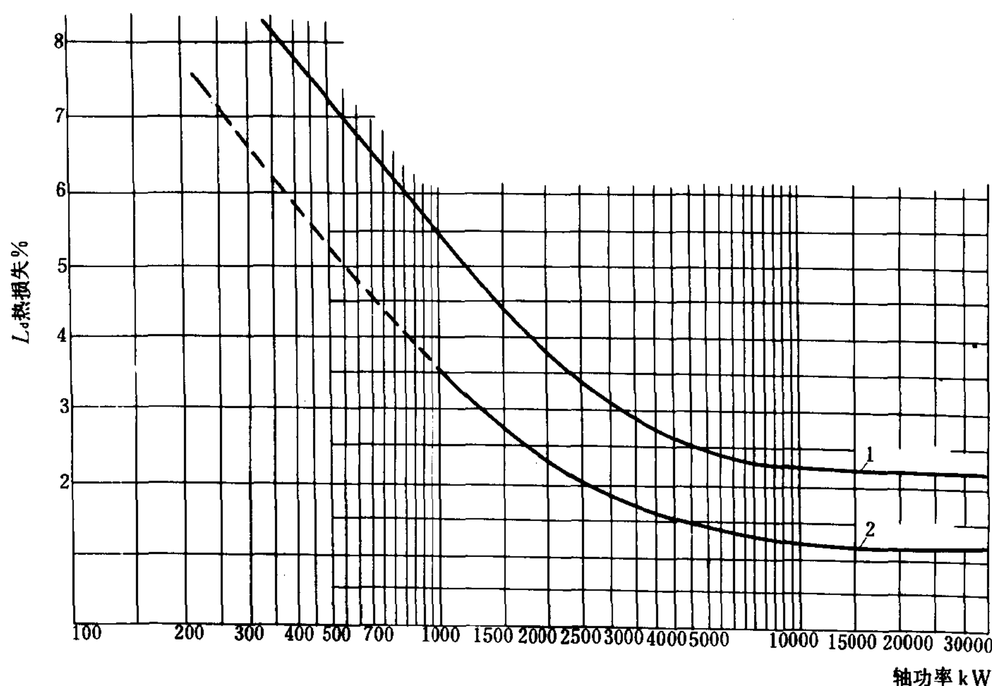


图 6.3.2—98　柴油机的热损失，

1—四冲程机；2—二冲程机

隔声罩除少数自然对流散热外，一般装有专用通风机（或机器设备本身加大冷却水流量）。其进出风口应安装通风消声器或消声风道。图 6.3.2—99 为隔声罩通风消声装置。图 6.3.2—100为隔声罩管道出口密封简图。

机器设备有较强的振动时，隔声罩必须隔振。图 6.3.2—101 是隔声罩弹性连接的示意图。

9.4.3　隔声屏

隔声屏用于不宜采用隔声罩的场合，对降低敞开甲板上的噪声最为有效，用在舱室内时，隔声效果与舱壁上的声反射有关。隔声屏用于指向性声源的效果比用于无指向声源好。隔声屏离声源的距离应尽可能小，朝向声源的一面上应安装吸声材料，隔声效果用插入损失表示。计算点位于通过隔声屏装置中心的轴线上。

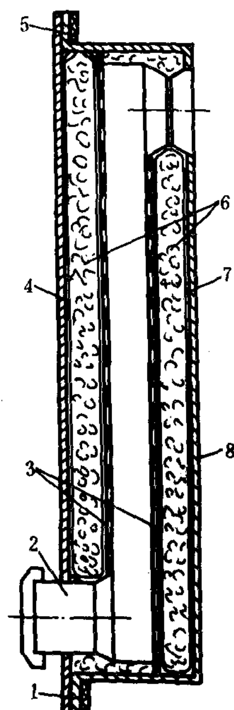


图 6.3.2—99 隔声罩的消声装置

1—壳体；2—外接管；3—穿孔板；4—主板；5—密封件；6—吸声材料；7—保护薄膜；8—内板

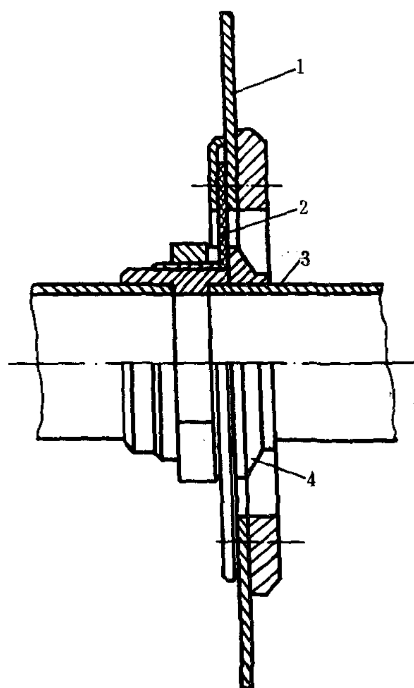


图 6.3.2—100 管道出口密封

1—主板；2—橡胶垫；3—管道；4—密封件

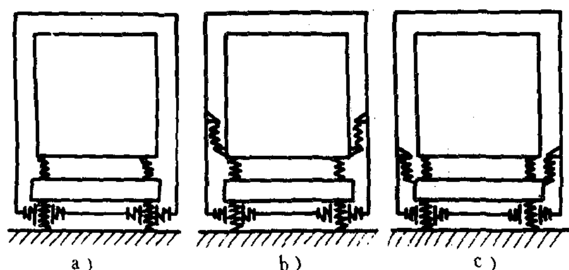


图 6.3.2—101 隔声罩弹性连接示意图

a)与船体基础连接；b)与机器连接；c)与中间基础连接

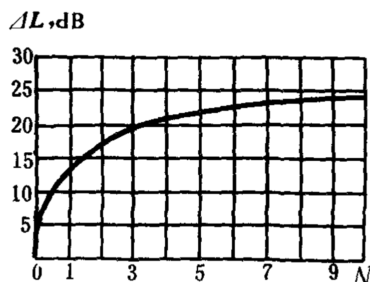


图 6.3.2—102 敞开甲板上无指向声源的平板隔声屏的效果

1)甲板上的平板隔声屏

无指向性声源隔声屏的效果由图 6.3.2—102 确定，图中的 N 值按式(6.3.2—153)计算。

$$N=0.05\sqrt{f}\cdot\sqrt[4]{\frac{d^2}{l+4(r/\rho)^2}} \qquad (6.3.2-153)$$

式中：f——频率，Hz；

d——计算点至隔声屏的距离，m；

r——声源至隔声屏的距离，m；

l——隔声屏的平均尺度，m。

式中的 d、r、l 值的含义见图 6.3.2—103。

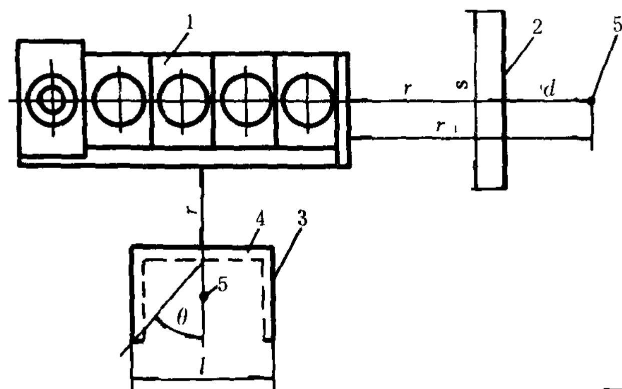


图 6.3.2—103 使工作位置与发动机噪声隔开的隔声屏
1—发动机；2—平板隔声屏；3—还有挡板的隔声屏；4—吸声材料；5—计算点(工作位置)

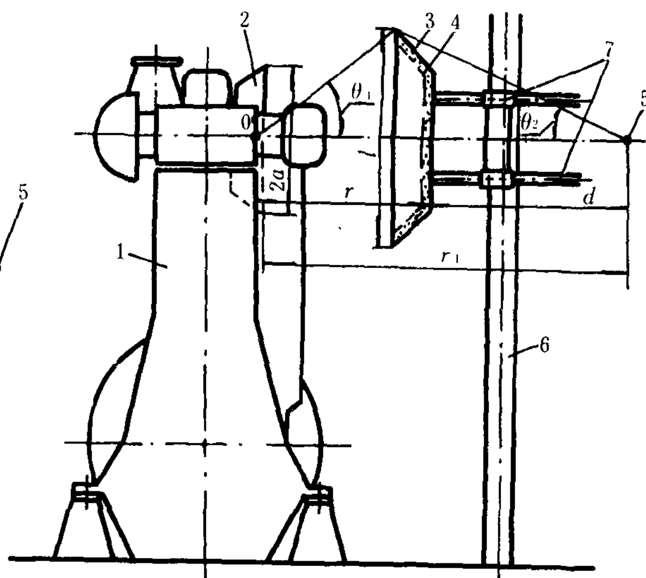


图 6.3.2—104 发动机增压器的隔声屏
1—发动机；2—滑轮增压器；3—带挡板的平板隔声屏；4—吸声材料；5—计算点；6—支柱；7—支柱上固定声屏的零件

指向性声源隔声屏的效果为：

$$IL=-10\lg[\varphi^2(\theta)+10^{-0.1R}] \tag{6.3.2—154}$$

式中：$\varphi(\theta)=\frac{r_\theta}{r}$——与角度 θ 有关的隔声屏系数。θ 值取 θ_1 和 θ_2 中的较小值(见图 6.3.2—104)；

r ——从 0 点到 0°的距离(见图 6.3.2—105)；

r_θ——从 0 点作角度为 θ 的射线与系数 γ 曲线交点的距离(图 6.3.2—105)；

γ ——声源轴向聚集系数，由图 6.3.2—106 确定。图中 $k=\frac{f}{54}$，1/m，a 为声源半径，m；

R——隔声屏材料的隔声值，dB。

2)舱室内的平板隔声屏

无指向性声源的平板隔声屏的效果为：

$$IL=10\lg\frac{QR+50r_1{}^2}{\frac{QR}{25}+50r_1{}^2(1-\alpha K_n)} \tag{6.3.2—155}$$

式中：Q——无指向性声源在舱室中不同位的指向性因素，见表 6.3.2—46；

R——房间常数；

r_1——声源至隔声屏后面的计差点的距离，m，$r_1=r+d$，见图 6.3.2—104。

α ——隔声屏朝声源面的吸声系数；

$K_n=b/r_n<1$——声源被隔声罩罩住的系数，b 和 r_n 的尺度见图 6.3.2—107。

若隔声屏布置在直达声起主要作用的区域($r\leqslant r_c$，$r_c=0.14\sqrt{QR}$)，内表面又敷设吸声材料，那布置在屏蔽区域之外的点的噪声降低值为：

$$\Delta L=-10\lg(1-\alpha K_n) \tag{6.3.2—156}$$

指向性声源平板隔声屏的效果为：

$$IL=10\lg\frac{\gamma R+50r_1^2}{\gamma R\varphi^2(\theta)+50r_1^2[1-\alpha(1-\varphi(\theta)]} \quad (6.3.2—157)$$

式中的符号含义同式(6.3.2—155)。

3)敞开甲板上的容积式隔声屏

图 6.3.2—108 是一种容积式隔声屏示意图，声源在外部，人和工作台在隔声屏里面。

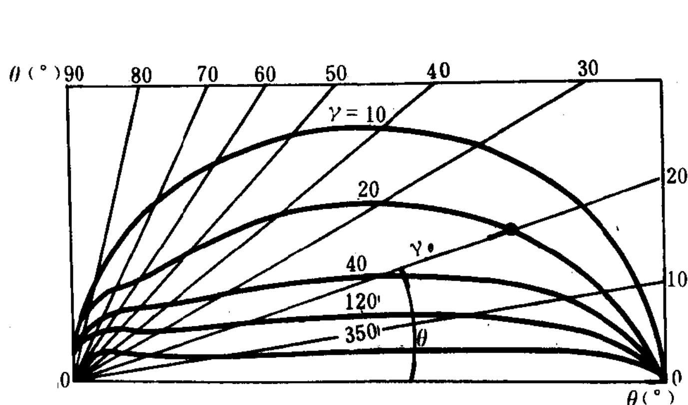


图 6.3.2—105 指向声源隔声屏的隔声系数

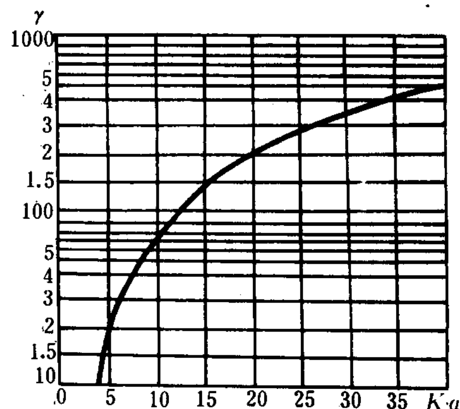


图 6.3.2—106 指向声源轴向聚集系数

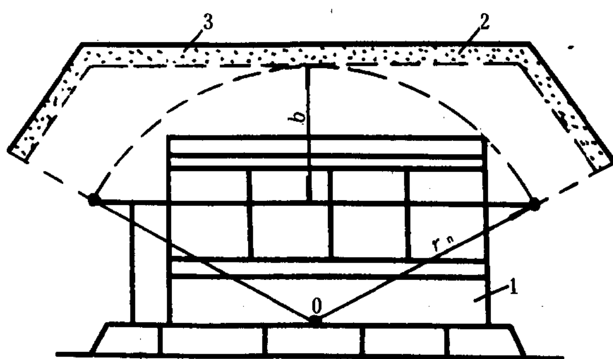


图 6.3.2—107 隔声罩复盖声源示意图

1—发动机；2—隔声屏；3—吸声材料

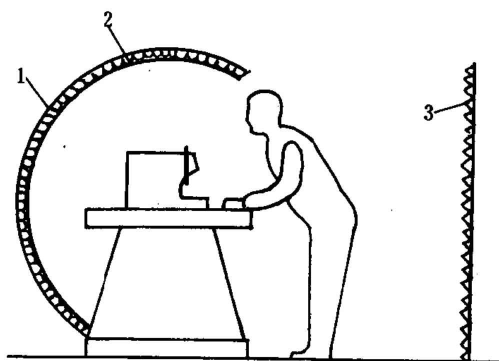


图 6.3.2—108 容积式隔声屏示意图

1—隔声屏；2—吸声材料；3—隔声板

无指向性声源容积式隔声屏效果为：

$$IL=IL_1+10\lg\frac{1}{1-\cos\theta} \quad (6.3.2—158)$$

式中：IL ——平板隔声屏的效果，dB，由图 6.3.2—102 确定；

θ ——隔声屏的角度，见图 6.3.2—103。

指向性声源容积式隔声屏的效果为：

$$IL=IL'+10\lg\frac{1}{1-\cos\theta} \quad (6.3.2—159)$$

式中：IL′——平板隔声屏的效果，按式(6.3.2—154)计算。

4)舱室内容积式隔声屏

无指向性声源容积式隔声屏的效果为：

$$IL=10\lg\frac{s\bar{\alpha}(QR+50r^2)}{50r^2S_0}\qquad(6.3.2—160)$$

式中：S ——包括开口在内的隔声屏面积，m^2；

S_0——开口面积，m^2；

$\bar{\alpha}$ ——隔声屏平均吸声系数，计算时取：开口，$\bar{\alpha}=1$；木质表面，$\bar{\alpha}=0.1$；金属表面 $\bar{\alpha}=0.07$；玻璃表面，$\bar{\alpha}=0.04$；

R ——房间常数。

指向性声源容积式隔声屏的效果为：

$$IL=10\lg\frac{(\gamma R+50r^2)\cdot 10^{0.1TL}+S\bar{\alpha}}{50r^2(S'+S_0\cdot 10^{0.1TL})+\gamma S'R}\qquad(6.3.2—161)$$

式中：TL ——隔声屏壁材料的隔声量，dB；

S′ ——隔声屏壁面面积，m^2。

容积式隔声屏的开口对着整有吸声材料的反射壁面时，声学效果将增加，增大值为：

$$\Delta L=-10\lg\frac{4a_k(1-\alpha_k)(a_k-t)}{(2a_k-t)^2}\qquad(6.3.2—162)$$

式中：α_k ——反射壁面的吸声系数；

$a_k t$——线性尺度，见图 6.3.2—109。

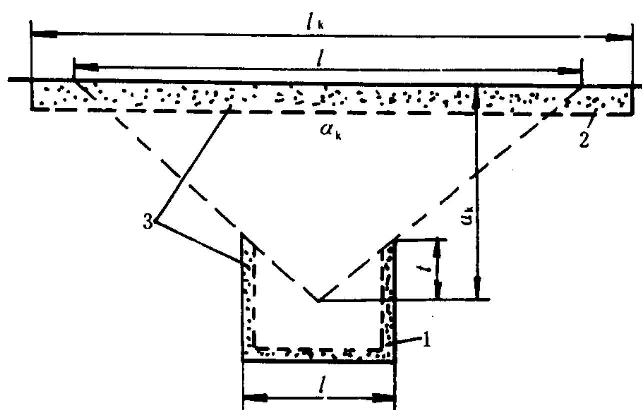


图 6.3.2—109　隔声屏开口朝向反射壁

1—隔声屏围壁；2—反射壁；3—吸声材料

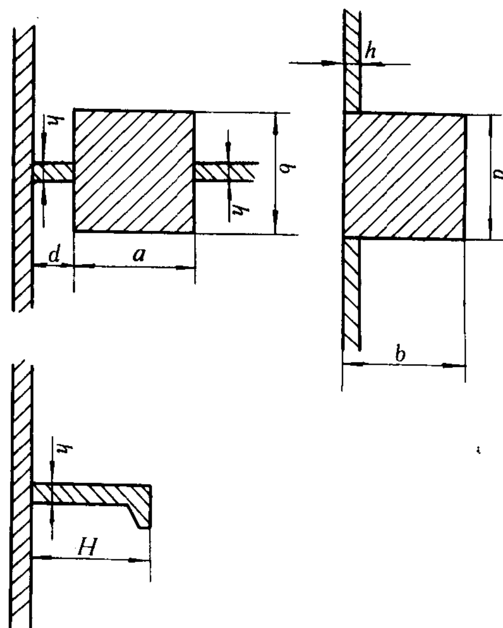


图 6.3.2　110　阻振质量和刚性助材

1—直线连接；2—T 型连接；3—板上的刚性助材

10　船舶固体声的隔离

降低船舶固体声的措施有：机器和机械的振动隔离，船体结构的振动隔离。前者见4.3.1的内容。船体结构的隔振是指船体防振结构阻碍振源的弹性波振动能量的传播能力。在扩散声场的条件下，隔振值为：

$$VI = -10\lg(T^2)_\theta \quad (6.3.2\text{—}163)$$

式中：$(T^2)_\theta$——按声波入射角度平均的振动能量通过系数。

船体防振结构有：附加元件(阻振质量、弹性垫等)，破坏船体结构均一性元件(刚性助材，改变惯性一刚度参数等)。

10.1 阻振质量和刚性肋材的隔振值

阻振质量是截面为正方形的金属梁，它安装在船体板结构的连接处，其目的是利用阻抗的改变来防止声振在板结构中传播。阻振质量常用在直线连接的板和T形连接的板中。

刚性助材中，当其截面高度小于弯曲波波长的1/6时，即满足条件：$k_{bw}H<1$时，可视为阻振质量。k_{bw}为厚度等于刚性助材厚度t的板中的弯曲波波数，H为刚性助材的高度。图6.3.2—110为装有阻振质量和刚性助材的板连接的结构。

10.1.1 直线连接板上阻振质量的隔振值

隔振值按式(6.3.2—163)计算。式中的弯曲波能量通过系数<T²>为：

$$(T^2) \approx \frac{m_2[k_{m_1}+k_{m_2}(1+k_{bw}\cdot a/2)k_{bw}^{-2}r^2]}{m_1K_{bw}^2} \quad (6.3.2\text{—}164)$$

式中：$m_1=ab\rho_1$，$m_2=t_2\rho_2$：ρ_1和ρ_2为阻振质量和板和密度；

k_{bw}——板中弯曲波波数；

k_{m_1}——阻振质量中的弯曲波波数；

k_{m_2}——阻振质量中的扭转波波数；

$r=\sqrt{\frac{5}{12}}b$——阻振质量的惯性半径；

a、b、t_2见图6.3.2—110。

k_{m_1}值由垂直于板的阻振质量的弯曲振动来确定，a、b值由下式确定：

$$a=b\geqslant 0.213\sqrt{\frac{10t^4}{f_u}} \quad (6.3.2\text{—}165)$$

式中：t——板厚，m；

f_u——低频段频率，Hz；阻振质量在该率时能有效工作(VI≥5dB)。

10.1.2 T型连接板中阻振质量的隔振值

隔振值按式(6.3.2—163)计算。式中的<T²>值为：

$$(T^2) \approx \frac{8k_{m_2}(1+k_{bw}\cdot a/2)^2 m_2}{3k_{bw}^4 m_1 r^2} \quad (6.3.2\text{—}166)$$

式中：$m_2=t_2\rho_2$；

$r=[\frac{a^2}{6}+(\frac{a}{2}+d)^2]^{1/2}$—阻振质量的惯性半径。

计算时，若得VI<0 dB，则取VI=0 dB，则取VI=0 dB。

增加d值，可使VI值增加，但d值不能大于1/6弯曲波波长，即d值应满足条件：

$$\frac{t_1'}{d^2}\geqslant\frac{3.6f_{ob}}{10^3} \quad (6.3.2\text{—}167)$$

式中：t_2'——d这一段结构的宽度，m；

f_{ob}——要求阻振质量有效工作的高频段频率，Hz。

当不满足式(6.3.2—167)的要求时,T 型连接板的阻振质量的隔振值与直线连接板的阻振质量的隔振值相等。取 d≥0.3a 较为合宜,此时的 VI≥3dB。阻振质量的截面尺寸为:

$$a=b\geqslant 10^3\sqrt{\frac{10t_2^3}{f_u}} \qquad (6.3.2—168)$$

式中:t ——板厚,m;

f_u ——使阻振质量 VI≥5dB 时的下限频率,Hz。

10.1.3 刚性助材的隔振值

隔振值按式(6.3.2—163)计算。高于频率 f_0 时,弯曲波能量通过系数$(T^2)=0.2$,即有 7dB 的隔振值。

$$f_0=\frac{0.08C_Lt}{H^2} \qquad (6.3.2—169)$$

式中:C_L——刚性助材中的纵波速度;

t、H 见图 6.3.2—110。

当频率 $f<f_0$ 时,(T^2)值按式(6.3.2—164)计算。

当频率 $f>f_1$ 时,隔振值下降;$f_2=2f_1$ 时,隔振值等于零。$f>2f_1$ 时,刚性助材对弯曲波的传播影响不大,无隔振效果。

$$f_1=\frac{C_L}{4H} \qquad (6.3.2—170)$$

10.1.4 阻振质量和刚性助材同船板弹性连接时的隔振值。

图 6.3.2—111 为阻振质量和刚性助材弹性连接的示意图。

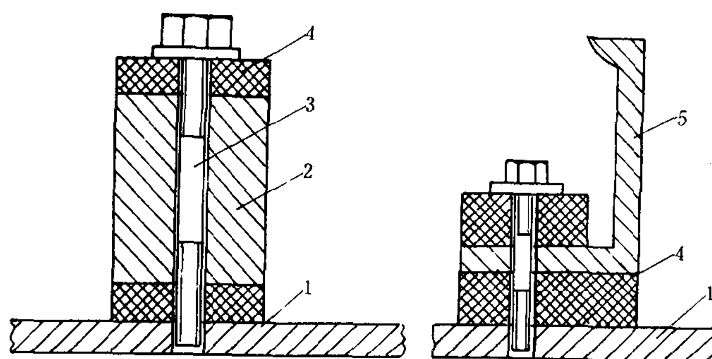


图 6.3.2—111 阻振质量、刚性助材弹性连接示意图。

1—船体结构;2—阻振质量;3—螺栓;4—弹性垫层;5—刚性助材

在频率 $f_3\leqslant f\leqslant f_4$ 时,阻振质量的隔振值为:

$$VI=-10\lg|\langle T^2\rangle+0.025| \qquad (6.3.2—171)$$

式中:(T^2)按式(6.3.2—164)计算。

$$f_3=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{E_yb_y^3}{12h_y\rho J_M}} \qquad (6.3.2—172)$$

$$f_4=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{E_yb_y^3}{mh_y}} \qquad (6.3.2—173)$$

式中:E_y、b_y、h_y ——弹性垫层的杨氏模量、宽度和厚度;

m、ρJ_M ——阻振质量单位长度的质量和惯性矩;

f_3 ——弹性垫层上面阻振质量扭转振动的共振频率；

f_4 ——阻振质量横向振动的共振频率。

当频率在 f_3 和 f_4 之外一个倍频程时，阻振质量的效果趋近于零。

弹性垫层吸收弯曲波能量系数 α_T 较大，若弹性层的内损耗系数 $\eta=1$，那么在频率 f_3 时，$\alpha_T \approx 0.15$；在频率 f_4 时，$\alpha_T=0.45$，因此，弹性层对降低船体结构的振动十分有效。

10.2 板连接的隔振值

船舶结构中，板格的各类型式的连接破坏了结构的均一性，阻碍弯曲波的传播，其隔振值用两块板上的振级之差来表示。表 6.3.2—51 为各种连接形式的板的隔振值 ΔL_v、dB。表中序号 1～4 为普通连接，序号 5～8 为双角形连接。当两板之间的距离在 300～1000mm 范围内时，作为双角形连接；距离小于 300mm 时，作为普通形连接；距离大于 1000mm 时，作为两块单独的板来处理。舭部的板连接按序号 4 计算。普通角连接中，板 1 和 2 的厚度用 δ_1 和 δ_2 表示，在双角型连接中，$\delta_2=(\delta'_2+\delta_3')/2$，$\delta'_2$ 和 δ'_3 为分叉板 2 和 3 的厚度。

表 6.3.2—51　　**振级落差 ΔL_v**　(dB)

序号	角联结型式	振动传递顺序	板厚比 δ_2/δ_1								
			0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
1		1—1	4	4	5	7	8	8	11	12	14
		1—2	8	7	5	7	7	8	9	10	11
2		1—1	4	5	7	9	11	13	16	18	20
		1—2	8	8	8	9	10	12	13	14	16
3		1—2	3	4	5	7	8	10	12	14	15
4		1—2	2	2	2	3	4	6	7	9	10
5		1—2	11	9	8	8	8	9	10	11	13
		1—3	14	13	12	13	15	17	19	22	23
		1—4	7	9	10	13	16	19	22	24	26
6		1—2	10	9	8	8	8	9	10	11	13
		1—3	11	9	9	12	15	18	20	23	26
7		1—2	13	11	9	11	13	16	16	20	22
		1—3	12	9	9	12	15	18	20	23	26
8		1—2	6	6	7	8	10	12	13	14	16
		1—3	11	11	12	16	18	22	24	28	30
		1—4	8	9	10	16	22	26	30	34	38

10.3 阻振质量的布置

阻振质量应安装在从振源出发的振动传播途径上以及在需要隔振的舱室的四周，图 6.3.2—112为布置示意图。

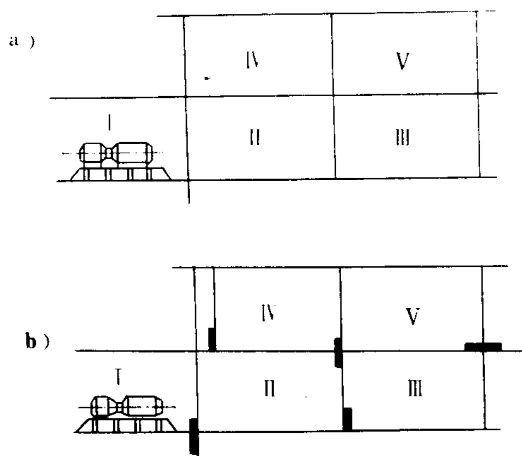


图 6.3.2—112 阻振质量布置图
a)舱室布置示意图；b)阻振质量布置图

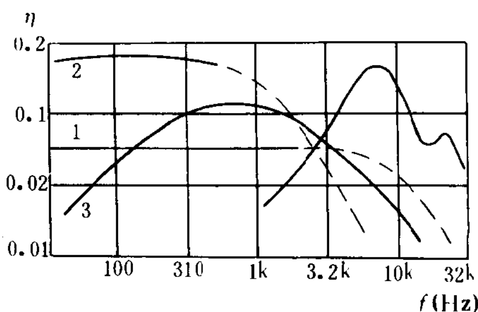


图 6.3.2—113 各类吸振涂层的损耗因子(钢板 6mm)
1—刚性吸振涂层；2—约束吸振涂层；3—夹心板；4—柔性吸振涂层

11 船舶吸振降噪

船舶构件的表面涂上阻尼涂层后，可增大损耗因子，降低振动、应力和噪声。阻尼涂层是用粘弹性材料(高分子聚合物)制成的。涂层的类型有四种：刚性吸振涂层、柔性吸振涂层、约束吸振涂层和夹心板。它们的损耗因子与频率的关系见图 6.3.2—113。刚性吸振涂层用于宽频带振动区域较好，但损耗因子值较小；柔性吸振涂层用于高频振动；约束吸振涂层损耗因子较大，适用于低频振动；夹心板适用于中频区。

11.1 刚性吸振涂层

刚性吸振涂层是在需要减振的结构上涂上一层硬塑料，弯曲振动能量靠涂层平面方向上的拉伸和压缩变形吸收。图 6.3.2—114 是刚性吸振涂层及其变形特性。

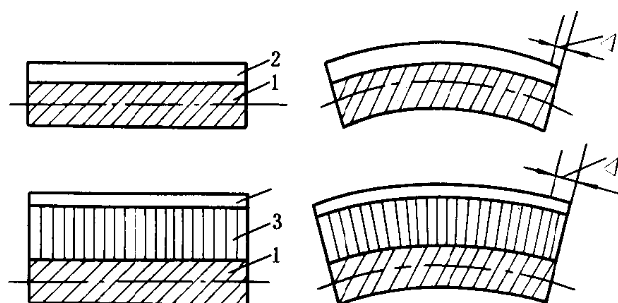


图 6.3.2—114 刚性吸振涂层结构(左)和变形特性(右)
a)刚性涂层；b)带中间衬垫的刚性涂层
1—需减振的板；2—吸振材料；3—中间衬垫；4—吸振层变形

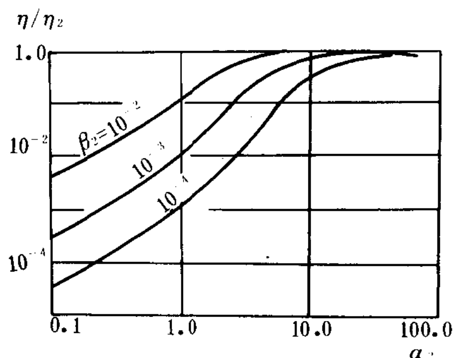


图 6.3.2—115 α_2、β_2 和 η/η_2 的关系图

板上覆盖刚性涂层后的损耗因子 η 为：

$$\eta=\frac{\eta_2\alpha_2\beta_2(\alpha_2{}^2+12\alpha_{21}^2)}{1+\alpha_2\beta_2(\alpha_2{}^2+12\alpha_{21}^2)} \qquad (6.3.2—174)$$

式中：η_2 ——涂层材料的损耗因子；

$$\alpha_2=\frac{t_2}{t_1};\quad \beta_2=\frac{E_2}{E_1};\quad \alpha_{21}=\frac{t_{21}}{t_1}=1+\frac{\alpha_2}{2};$$

t_1、t_2 ——板和涂层的厚度；

E_1、E_2——板和涂层的杨氏模量；

t_{21} ——板和涂层的中性平面之间的距离；

当 $\alpha=1.5\sim2$，$\beta_2\ll1$ 时，上式计算是正确的，图 6.3.2—115 为不同的 α_2、β_2 值时的 η/η_2 的值。

在板与硬塑料层之间加一层轻而硬的材料作为衬垫，可使硬塑料层变形加大，从而增加结构的损耗因子，中间衬垫的剪切模量应满足下式的要求：

$$G_3\geqslant10E_2\cdot t2.t_1\cdot k_{dw}^2 \qquad (6.3.2—175)$$

式中：E_2、t_2 ——硬塑料的杨氏模量和厚度；

t_1 ——板的厚度；

k_{dw} ——板中的弯曲波波数。

11.2 柔性吸振涂层

柔性吸振涂层是在板上敷设一层沿着厚度方向易压缩的粘弹性材料。当弹性波沿粘弹性材料厚度方向传播时，涂层产生变形而消耗振动能量。

复盖柔性吸振涂层的板的损耗因子为：

$$\eta=\frac{\eta_2[2sh(\nu_2\eta_2)-\eta_2\sin(2\nu_2)]}{2x\eta_2\nu_2[\cos(2\nu_2)+ch(\nu_2\eta_2)]+\eta_2\sin(2\nu_2)+2sh(\nu_2\eta_2)} \qquad (6.3.2—176)$$

式中：η_2 ——涂层材料的损耗因子；

$$x=\frac{m_1}{m_2};\nu_2=k_2t_2;k_2=\omega/C_2;$$

m_1——板的面质量；

m_2——涂层的面质量；

C_2——涂层厚度方向上的弹性波速度；

ω ——圆频率；

t_2 ——涂层的厚度。

图 6.3.2—116 为按式(6.3.2—176)计算的损耗因子的典型曲线。图中在频率为：

$$f_{pn}=\frac{2n-1}{4t_2}C_2 \qquad (n=1\cdot2\cdot3\cdots\cdots) \qquad (6.3.2—177)$$

时，损耗因子达极大值，而当 n=1 时达最大值。这些频率相当于长度为 t_2 的棒中的纵波振动共振频率（$C_2=C_{rL}$，C_{rL}为纵波共振时的速度），在 $f=f_{pn}$时，

$$\eta_{pn}=\frac{\eta_2}{1+x\eta_2\nu_{pn}ty(\frac{\nu_{pn}\eta_2}{2})} \qquad (6.3.2—178)$$

最大值为：

$$\eta_{max}=\eta_{p1}=\frac{\eta_2}{1+1.23x\eta_2{}^2} \qquad (6.3.2—179)$$

在反共振频率

$$f_{arn}=\frac{nC_2}{2t_2}\ (n=1\cdot 2\cdot 3\cdots\cdots) \qquad (6.3.2—180)$$

$$\eta_{arn}=\frac{\eta_2}{1+X\eta_2\nu_{arn}cth(\frac{\nu_{arn}\eta_2}{2})} \qquad (6.3.2—181)$$

在低频时($\nu_2\ll 1$)

$$\eta\approx\frac{\eta_2\nu_2{}^2}{3(1+x)} \qquad (6.3.2—182)$$

在高频时。

$$\eta\approx\frac{\rho_2 C_2}{\omega m_1} \qquad (6.3.2—183)$$

式中：ρ_2——涂层材料的密度。

当 η_2 值为

$$\eta_2=\frac{0.9}{\sqrt{x}} \qquad (6.3.2—184)$$

时，η 值达最大值，板中各种振动能量都被吸收。

增加涂层厚度 t_2 和减少 C_2 值，可降低 f_{p1} 值。在涂层材料中设置空气小穴或在材料中加入重金属微粒，即可使 C_2 减小、小穴或金属粒子的尺度应小于最高频率的波长 $\lambda_2=C_2/f$。

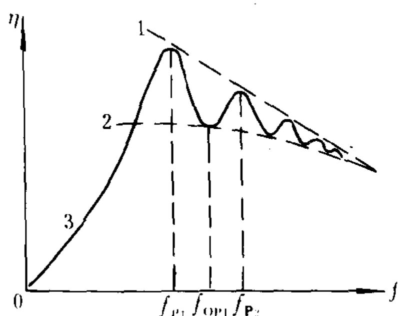


图 6.3.2—116　柔性吸振涂层的损耗因子与频率的关系

1—按式(6.3.2—178)；2—按式(6.3.2—181)；3—按式(6.3.2—176)

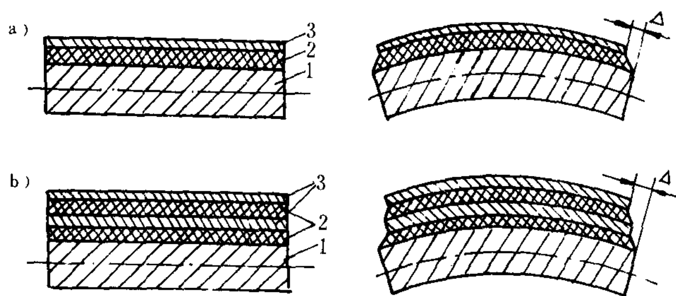


图 6.3.2—117　约束吸振涂层结构(左)和变形特性(右)

a)单层约束涂层；b)多层约束涂层

1—板；2—粘弹性层；3—约束层；Δ—吸振材料的变形

11.3　约束吸振涂层

约束吸振涂层是在粘弹性材料的外面加上一层薄金属皮。图 6.3.2—117 为其结构和变形特性。它是依靠粘弹性材料的剪切变形来吸收能量的，粘弹性材料通常是橡胶或类像胶的塑料。

约束吸振涂层板的损耗因子为：

$$\eta=\frac{\eta_2\gamma g_2}{(1+g_2)^2+\eta_2{}^2g_2{}^2+\gamma g_2[1+g_2(1+\eta_2{}^2)]} \qquad (6.3.2—185)$$

式中：η_2——粘弹性材料的损耗因子；

$$\gamma \approx 12\alpha_{31}^2\alpha_3\beta_3; \quad g_2=\frac{G_2}{E_3t_2t_3k_{dw_1}^2};$$

$$\alpha_3=\frac{t_3}{t_1}; \quad \alpha_{31}=\alpha_2+\frac{\alpha_3}{2}+\frac{1}{2}; \quad \alpha_2=\frac{t_2}{t_1}; \quad \beta_3=\frac{E_3}{E_1};$$

t_1、t_2、t_3 —— 板、粘弹性材料和约束层的厚度；

E_1、E_2、E_3—— 板、粘弹性材料和约束层的杨氏模量；

G_2 —— 粘弹性材料的剪切模量；

k_{dw_1}—— 板的弯曲波波数。

损耗因子 η 与涂层和板厚之间的关系由涂层几何参数 γ 确定；η 值的频率特性由剪切参数 g_2 确定。图 6.3.2—118 为 $\eta_2=1$ 时的 η 值与 g_2 的关系(频率降低时，g_2 增大)。显然，在频率为 f_{0pt}时，η 值达最大，偏离 f_{0pt}时，η 值单调减少。f_{0pt}的计算式为：

$$f_{0pt}=\frac{G_2t_1}{2\pi E_3t_2t_3}\sqrt{\frac{E_1(1+\gamma)(1+\eta_2^{\,2})}{12\rho_1}} \qquad (6.3.2\text{—}186)$$

式中：ρ_1—— 板的密度。

此时的 g_{2opt}和 η_{max}为

$$g_{2opt}=\frac{1}{\sqrt{(1+\gamma)(1+\eta_2^{\,2})}} \qquad (6.3.2\text{—}187)$$

$$\eta_{max}=\frac{\eta_2\gamma}{\gamma+2(1+g_{2ovt}^{-1})} \qquad (6.3.2\text{—}188)$$

图6.3.2—119 为 η_{max}与 γ 的关系。γ 增加，η 值增加，当 $\gamma=10$ 时，γ 再增加，η 值不再增加。

多层吸振涂层的损耗因子比单层涂层的损耗因子大。船舶上常用 0.12～0.2mm 厚的丙烯聚合物作为粘弹性层同 0.06mm 厚的铝箔作为约束层交替复盖在 0.4～0.5mm 厚的轻合舍板上，在 50～10000Hz 频段内，损耗因子近似为 0.1。

橡胶作为粘弹性层时，除应耐油外尚应满足船用要求。

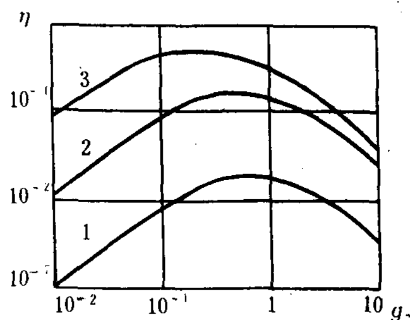


图 6.3.2—118 $\eta_2=1$ 时的 η 与 g_2 的关系

1—$\gamma=0.1$；2—$\gamma=1$；3—$\gamma=10$

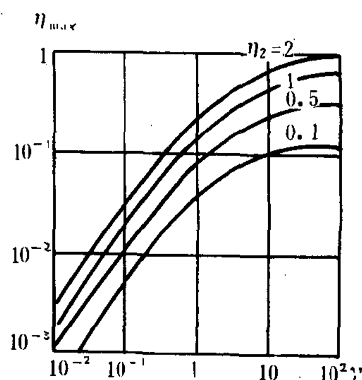


图 6.3.2—119 η_{max}与 γ 的关系

11.4 夹 心 板

夹心板是用两块金属板(厚度通常相等)粘在粘弹性层的两面所构成的结构，这种板又称为三明治板。用它可制成隔声罩，轻型舱壁，舱底铺板和其它受载荷较轻的船体结构，其结构和

变形特性见图 6.3.2—120。

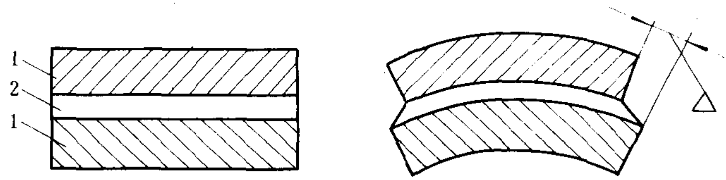


图 6.3.2—120 夹心板结构(左)和变形特性(右)

1—金属板;2—粘弹性层;Δ—粘弹性材料的变形

对称结构夹心板($t_1=t_2$)的损耗因子为

$$\eta=\frac{2\eta_2 gr}{1+2g(2+\gamma)+4g^2(1+\gamma)} \tag{6.3.2—189}$$

式中:$g=G_2(E_1t_1t_2k_{dw}^2)^{-1}$剪切参数;

η_2、G_2 ——粘弹性材料的损耗因子和剪切模量:

$\gamma=3(\frac{t_2}{t_1}+1)^2$——几何参数;

t_1、t_2 ——板和粘弹性材料的厚度;

E_1 ——金属板的杨氏模量;

k_{dw} ——结构的弯曲波数,近似等于板中的弯曲波数 k_{dw_1}。

上式在 $E_1t_1 \gg E_2t_2$ 时,计算是正确的。当频率为

$$f_{opt}\approx\frac{G_2\sqrt{1+\gamma}}{\pi t_2\sqrt{12E_1\rho_1}} \tag{6.3.2—190}$$

时,对应于 g_{opt}的损耗因子达最大值:

$$g_{cpt}=\frac{1}{2\sqrt{1+\gamma}} \tag{6.3.2—191}$$

$$\eta_{max}=\frac{\eta_2\gamma}{2\sqrt{1+\gamma}+2+\gamma} \tag{6.3.2—192}$$

工程上常以 1000Hz 时的 η_{max}为基础,用上面三个计算式的计算来选择夹心板的结构参数。

图 6.3.2—121 为不同的 η_2 值时的 η_{max}与 γ 的关系,当 $\gamma=3$ 时,$\eta_{max}=\frac{1}{3}\eta_2$,此时的结构中 $t_2 \ll 1$。

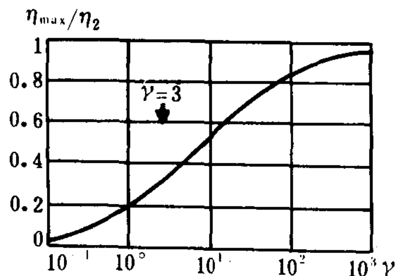


图 6.3.2—121 η_{max}与 γ 的关系

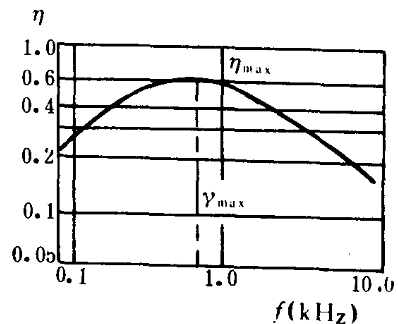


图 6.3.2—122 多层吸振结构的损耗因子频率特性

多层吸振层中的金属薄层可以用铝或钢制成。图 6.3.2—122 为 $G_2=2.10^7 N/m^2$、$\eta_2=1.13$的涂料作为吸振层，金属薄层为 1.5mm 厚的铝的多层结构的损耗因子频率特性，在 800Hz 时 η 值最大，$\eta_{max}=0.6$。

11.5 船舶结构中吸振层敷设位置的选择

敷设吸振层时，要弄清船舶结构中的声源分布及振源至要消声的舱室之间的振动传播途径。选择敷设吸振层位置的原则是：

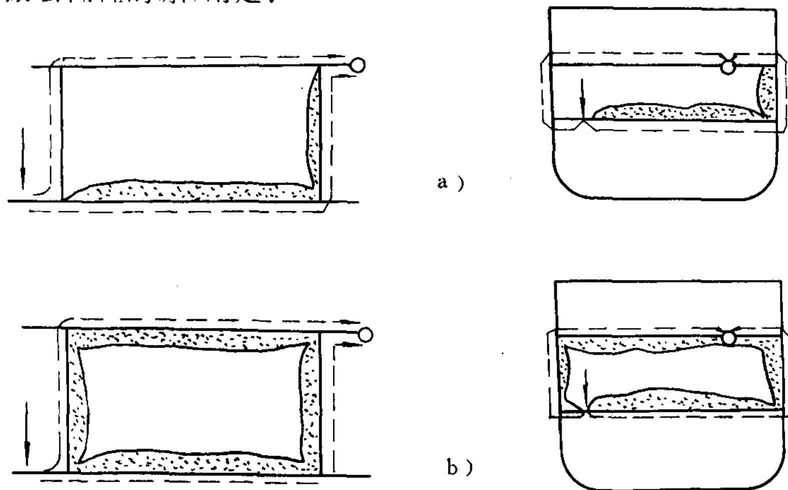


图 6.3.2—123 吸振涂层布置方案

a)不正确；b)正确

……振动传播途径；1－涂层；↓－振源；o－受声点

1)敷设在与振源直接相连接的结构上和有振源的舱室里。

2)振源至受声点的所有传播振动的途径上都应敷设吸振涂层。若某一振动传播途径上的振动衰减值，大于从振源至受声点之间的最短途径上敷设吸振层后的振动衰减值，即在该传播途径上不需要再敷设涂层。

3)舱室内敷设吸振层时，应敷设在振幅最大的围壁上。某一围壁的振幅比振幅最大的围壁敷设吸振层后的振幅值还小，那该围壁不需要再敷设涂层。

4)杆状结构(管子、支柱等)采用柔性涂层，中空结构(基础的框架、空心支柱等)中填充砂粒或其它散粒状的阻振材料。

图 6.3.2—123～128 为涂层布置的几个示意图。

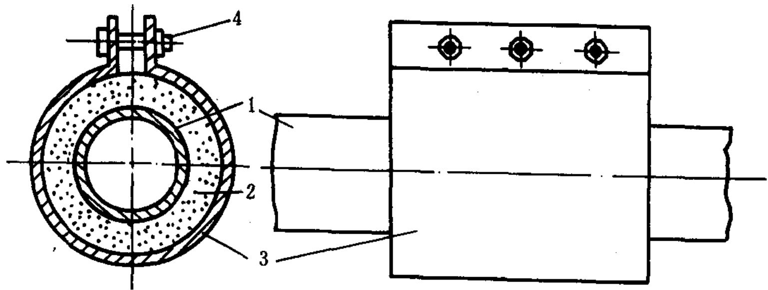


图 6.3.2—124 管路用可拆卸阻尼结构

1－管路；2－橡胶层；3－金属夹环；4－螺栓

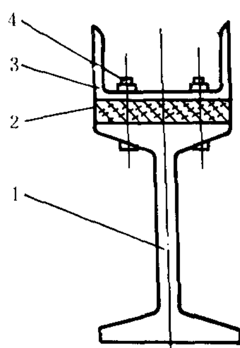


图 6.3.2—125 助骨用可拆卸阻尼结构

1—助骨；2—橡胶层；3—U 型加强构件；4—螺栓

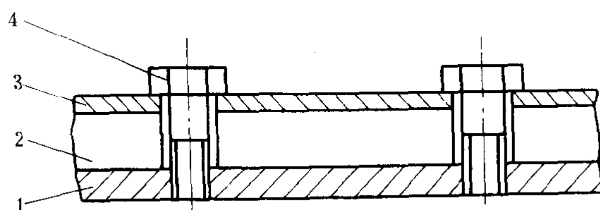


图 6.3.2—126 平板用可拆卸阻尼结构

1—平板；2—橡胶层；3—约束层；4—螺栓

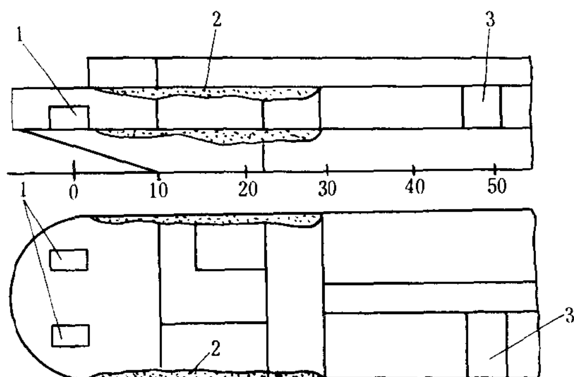


图 6.3.2—127 船舶尾部舱室的涂层方案

两层甲板和两舷侧围壁上涂 10mm 的刚性涂层，面积 400m²，板厚 5mm） 1—备用柴油发电机舱；2—吸振涂层；3—检测舱

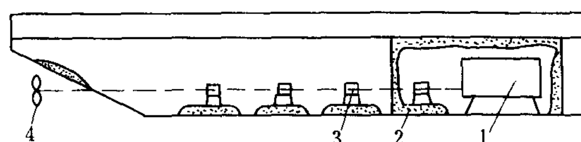


图 6.3.2—128 机舱轴系的涂层方案

1—主机；2—涂层；3—轴承；4—螺旋桨

11.6 船舶结构吸振涂层效果的评定

采用吸振涂层后的效果用振动速度级之差来表示：

$$\Delta L = L_{\dot{x}_1} - L_{\dot{x}_2} \qquad dB \tag{6.3.2—193}$$

式中：$L_{\dot{x}_1}$——采用涂层前的振级，dB；

$L_{\dot{x}_2}$——采用涂层后的振级，dB。

或用下式表示：

$$\Delta L = 10\lg \frac{\eta}{\eta_1} \tag{6.3.2—194}$$

式中：η——采用吸振涂层后结构中的损耗因子；

η_1——未采用吸振涂层时结构中的损耗因子，见表 6.3.2—52。

吸振涂层敷设在振源和考察点之间的各向同性板上时，考察点的振级差为：

$$\Delta L = 13.5(\eta - \eta_1)\frac{l}{\lambda_{dw}} \quad \text{dB} \qquad (6.3.2—195)$$

式中：l ——沿连接源和考察点直线的板上敷设的涂层长度；

λ_{dw} ——板中弯曲波波长。

棒上涂层的效果仍用上式计算，λ_{dw}为棒中的弯曲波波长。

当吸振涂层敷设在凹凸不平的板上时(如有刚性肋材的板)，考察点的振级差为：

$$\Delta L \approx 10.7\sqrt{\frac{l_0}{\lambda_{dw}\alpha}}(\sqrt{\eta} - \sqrt{\eta_1})n \qquad (6.3.2—196)$$

式中：l_0——肋骨的尺度；

n——振源与敷设涂层的考察点之间的肋骨数；

α——弯曲波通过肋骨的能量传递系数，通常取 α=0.25。

表 6.3.2—52　**船体结构的损耗因子 η_1 值**

频　率　Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
钢	0.013	0.009	0.028	0.009	0.009	0.007	0.007	0.009
铝合金	0.019	0.021	0.017	0.012	0.010	0.008	0.008	0.009

国内生产吸振阻尼涂料的工厂有无锡船用减震器厂、常州兰陵橡胶厂、上海开林造漆厂等。

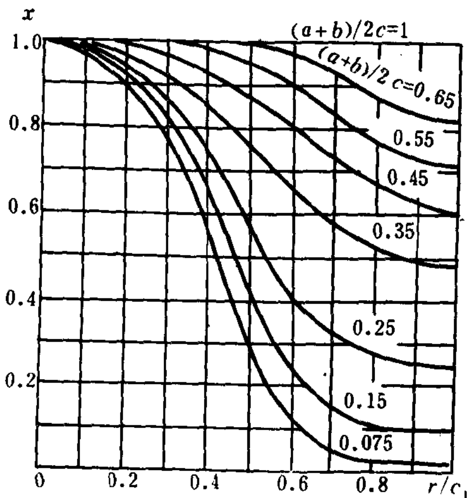


图 6.3.2—129　系数 x 求算图

12　舱室噪声估算与典型防噪声结构

12.1　机舱噪声估算

机舱噪声的估算分两步进行，先按 2.10 中推荐的计算公式，求算机舱中声源的声功率级，然后按表 6.3.2—53 计算舱室中的声压级。表中的系数 x 按图 6.3.2—129 求算，机舱中的吸声系数见表 6.3.2—54。声源的声功率级指机器的中心位置，声压级指离声源中心某一距离处的噪声级。

表 6.3.2—53

机舱噪声声压级计算式

舱室类型	计算公式
	舱室 I $L_p=L_w+10\lg(\frac{1}{S}+\frac{4x_1}{R_1})$ 舱室 II $L_p=L_w+10\lg[\frac{S_0}{4}(\frac{1}{S_{b2}}+\frac{4x_2}{R_2})(\frac{1}{S_1}+\frac{4X_1}{R_1})]$ $R_1=\frac{A_1-D_2}{1-\bar{\alpha}_1}$ $R_2=\frac{A_1-D_1}{(1-\bar{\alpha}_2)C_2}$
	舱室 I $L_p=L_w+10\lg(\frac{1}{S}+\frac{4x_1}{R_1})$ 舱室 II $L_p=L_w+10\lg\left[\frac{S_0}{4}(\frac{1}{S_{b2}}+\frac{4x_2}{R_2})(\frac{1}{S_1}+\frac{4x_1}{R_1})\right]$ 舱室 III $L_p=L_w+10\lg\left[\frac{S_0'}{4}(\frac{1}{S_{b3}}+\frac{4x_3}{R_3})(\frac{1}{S_1}+\frac{4x_1}{R_1})\right]$ $R_1=\frac{B_1-D_2-D_3}{1-\bar{\alpha}_1}$ $R_2=\frac{B_1-D_2-D_3}{(1-\bar{\alpha}_2C_2}$ $R_3=\frac{D_1-D_2-D_3}{(1-\bar{\alpha}_3)C_3}$
	舱室 I $L_p=L_w+10\lg(\frac{1}{S}+\frac{4x_1}{R_1})$ 舱室 II $L_p=L_w+10\lg\left[\frac{S_0}{4}(\frac{1}{S_{b2}}+\frac{4x_2}{R_2})(\frac{1}{S_1}+\frac{4x_1}{R_1})\right]$ 舱室 III $L_p=L_w+10\lg$ $\left[\frac{S_0S_0'}{16}(\frac{1}{S_{b3}}+\frac{4x_3}{R_3})(\frac{1}{S_{b2}}+\frac{4x_2}{R_2})(\frac{1}{S_1}+\frac{4x_1}{R_1})\right]$ $R_1=\frac{A_1(B_2-D_1-D_2)}{(1-\bar{\alpha}_1)(B_2-D_3)}$ $R_2=\frac{B_2-D_1-D_3}{(1-\bar{\alpha}_2)C_1}$ $R_3=\frac{B_2-D_1-D_3}{(1-\bar{\alpha}_3)C_1C_3}$

注：S—舱室 I 中包围声源并经过计算点的表面积，m^2；计算式见式(4—2)；S_1—计算点处于开口平面中心时的包围声源的面积，m^2；$S_{b2}=S_0+\pi r(a_2+b_2)+2\pi r^2$；$S_{b3}=S'_0+\pi r(a_3+b_3)+2\pi r^2$；$S_0$、$S_0'$——开口面积；$a_2$、$a_3$、$b_2$、$b_3$——开中的长度和宽度，m；r——由开口平面到舱室 II、III 计算点的距离，m；x_1、x_2、x_3——舱室 I、II、III 中混响声能密度变化系数，见图 4—1；$A_1=\bar{\alpha}_1S_1+s_0$；$A_2=\bar{\alpha}_2S_2+s_0$；$A_3=\bar{\alpha}_3S_3+S_0'$；$B_1=A_1+S_0'$；$B_2=A_2+S_3'$；$C_1=\frac{S_3}{A_1}$；$C_2=\frac{S_3}{A_2}$；$C_3=\frac{S_0'}{A_2}$；$D_1=\frac{S_0^2}{A_1}$；$D_2=\frac{S_0^2}{A_2}$；$D_3=\frac{(S_0')^2}{A_3}$

表 6.3.2—54　　　　机舱吸声系数

机舱		倍频带中心频率 Hz							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
天棚内布满设备	$\frac{V}{S}<0.6$	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.12	0.14	0.17
	$0.6<\frac{V}{S}<0.7$	0.07	0.08	0.10	0.11	0.13	0.15	0.19	0.23
	$\frac{V}{S}>0.7$	0.10	0.11	0.12	0.14	0.16	0.19	0.23	0.29
天棚内没有布满设备		0.05	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11

注：V—机舱容积；S—机舱表面积。

12.2 舱室噪声估算

舱室噪声由三部分组成：

1)直接由布置在舱室内部的声源辐射出来的噪声；

2)由相邻舱室通过隔舱壁透射过来的噪声；

3)舱室围壁振动时辐射的噪声。

前两部分的噪声主要是空气声，用L_B表示。振动辐射声用L_C表示，它由两部分组成，即一次固体声(由声源的振动经过船体结构传到舱室围壁而直接产生的)L_{cf}和二次固体声(噪声作用在声源舱室的围扩结构上面在船体结构中产生的振动噪声)L_{cs}。上速的三类噪声级都与声源的类型和所研究的舱室离声源的距离大小有关。

螺旋桨的一次固体声L_{cf}大大的大于空气声L_B，同时，二次固体声可忽略不计。

装有隔振器的通风机，出风口有软接管，风道中的空气声大大的大于一次固体声，即$L_B \gg L_{cf}$。通风机的进风道中，$L_B \gg L_{cf}$，它与出风管的区别在于，必须考虑二次固体声(因进风道常与船体刚性连接，且二次声级较大。

发动机的排气系统对于大多数的舱室来讲是空气声源，但对此布置在排气管道附近的舱室，固体声是主要的。

估算时，将舱室分成三类：

1)有噪声源的舱室，空气声是主要的；

2)毗邻舱室，即用隔舱壁直接与声源舱室(吵闹舱室)分隔的相邻舱室；

3)远离舱室，即这种舱室与吵闹舱室之间用一个或若干个中间舱室隔开，$L_B \ll L_C$。

12.2.1 声源舱室中空气声 L_B 的计算

声源舱室中的声级为：

$$L_B = L_w + 10\lg\left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right) \quad \text{dB}$$

或者为：

$$L_B = L_{B1} + 10\lg\left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right) + 11 \quad \text{dB} \qquad (6.3.2—197)$$

式中：L_W ——声源声功率级，dB；

Q ——声源指向性因素，见表 6.3.2—46；

R ——房间常数；$R=\frac{S\bar{\alpha}}{1-\bar{\alpha}}$，α 见表 6.3.2——32；

L_{B_1} ——离声源 1m 处的声压级，dB。

若舱室形状复杂，可参照表 6.3.2—53 计算。

12.2.2 毗邻舱室中空气声 LB 的计算

毗邻舱室中的空气声级为：

$$L_B = L_B' - R + \Delta R_0 + 10\lg\frac{S}{A} \qquad (6.3.2—198)$$

式中：L_B'——吵闹舱室隔舱室 0.5m 处的声级，dB；

R ——隔舱壁的隔声值，dB；

S ——隔舱壁的面积，m^2；

A ——毗邻舱室中的吸声量，m^2

ΔR_0——隔舱壁上孔洞和缝隙对隔声值的影响，dB。

12.2.3 远离舱室中的噪声级计算

远离舱室中的噪声主要是固体声，一块板格振动辐射的噪声级 L_p 为：

$$L_p = L_x + 10\lg\gamma + 10\lg S - 10\lg A + 6 \quad \text{dB} \qquad (6.3.2—199)$$

式中：L_x——板格的振动速度级，dB；

S ——板格的面积，m^2；

A ——舱室内的吸声量，m^2；

γ ——板格的声辐射系数，lgγ 的求算很复杂，可用图 6.3.2—130 近似计算。

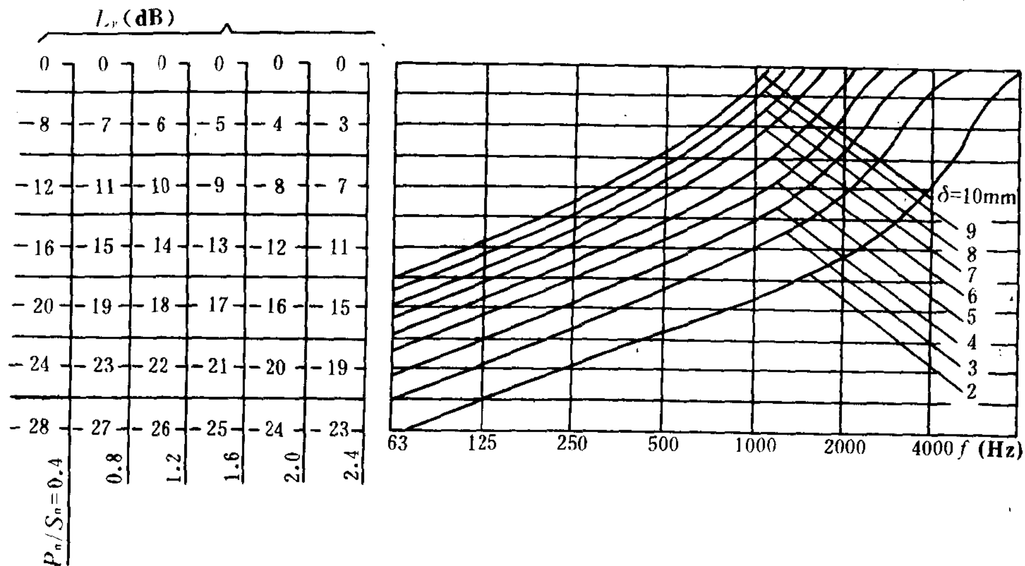


图 6.3.2—130 声辐射系数 lgγ 求算图

δ—板厚度，mm；P_n—板周长，m；S_n—板面积，m^2

若舱室内有几块板格（舱壁），则舱内的噪声级 L_p 为：

$$L_p = 6 - 10\lg A + 10\lg\sum_1^n 10^{0.1(L_{x_i} + 10\lg S_i + 10\lg\gamma_i)} \quad \text{dB} \qquad (6.3.2—200)$$

振动级 L_x 的计算步聚如下：

1）原始板格振级计算。

螺旋桨上方底格的振级按式（6.3.2—115）和表 6.3.2—41 计算。底板的振级作为原始板格振级。

对于柴油机来说，距基础距离为 r_0 的振级为（r_0 通常为 0.5m）

$$L_{xr_0} = L'_x - \Delta N + \Delta \qquad (6.3.2—201)$$

式中：L'_x——机脚处的振动级，dB。由式(6.3.2—23)计算，刚性安装的柴油机、低频时比式(6.3.2—23)的计算结果小3～5dB；

Δ ——根据图6.3.2—131曲线确定的量，dB。它与频率参数$\frac{2f}{f_u+f_{0b}}$有关，f_u和f_{ob}为定位板格上最小板(图6.3.2—132中B)和最大板(板A)的第一谐调频率；

ΔN——隔振器的振级落差，dB，无隔振器时，按下式计算：

$$\Delta N=20\lg\frac{m_1+m_2}{m_2}\quad dB \tag{6.3.2—202}$$

式中：m_1——考虑到构架，附件和鳞接水的质量的板格质量；

m_2——发动机质量。

以L_{xr_0}为基础，距发动机基础距离为r的振级L_{xr}为：

$$L_{xr}=L_{xr_0}-10\lg\frac{r_1+r_2}{a+2r_0}\cdot\frac{1-0.35\varepsilon_r}{1-0.35\varepsilon_0}+0.7\eta\frac{\sqrt{f_c fr}}{C} \tag{6.3.2—203}$$

式中：r_1和r_2——由基础未端到被研究的板中间的距离(图6.3.2—133)；

r——由基础到同一点的距离：

$$\varepsilon_0=\frac{(a-b)(a+b+4k)}{(a+2r_0)^2};$$

$$\varepsilon_r=\frac{(a-b)(a+b+4r_0)}{(r_1+r_2)^2};$$

a和b——基础的长度和宽度；

η_1和f_c——原始板的损耗系数和监界的合频。

2)与原始板格相邻的板的振级计算

与原始板格相邻的板的振级L_x与L_{xr}有一振级差ΔL_x，它按表6.3.2—51计算。即

$$L_x=L_{xr}-\Delta L_x \tag{6.3.2—204}$$

3)辐射声级L_p计算

辐射声级按式(6.3.2—199)计算。

以此类推每一板的振级及其板格的辐射噪声。

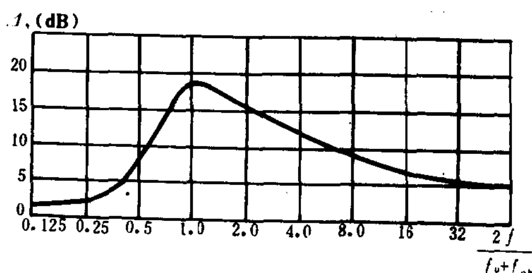


图6.3.2—131 Δ值计算图

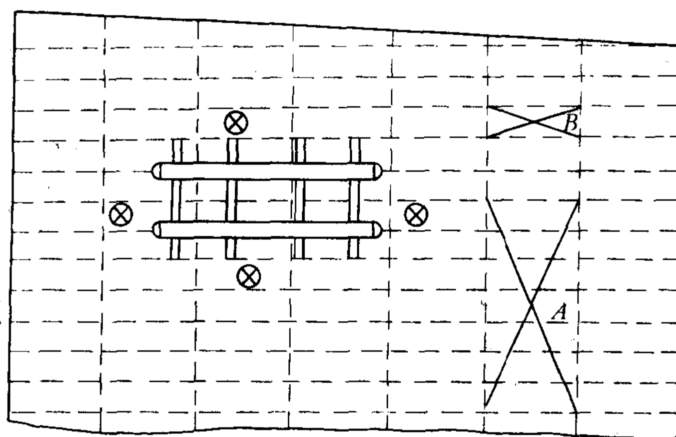


图6.3.2—132 具有振级L_{xr_0}的点和原始板格的布置

12.3 机械设备的降噪结构图例

图 6.3.2—134 至图 6.3.2—147 为船用典型防噪声结构。

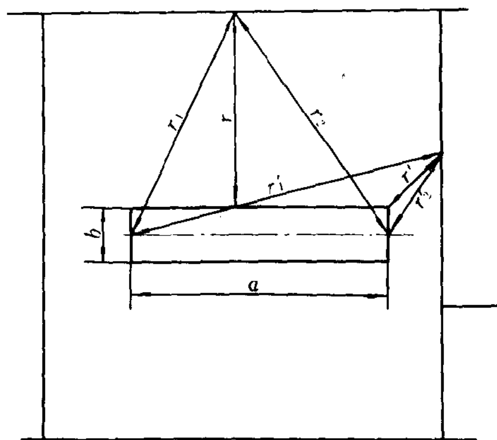


图 6.3.2—133 确定距离 r_1、r_2 和 r 的图

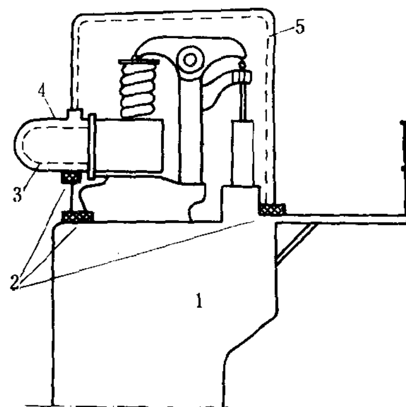


图 6.3.2—134 阀机构的隔声罩

1—主机；2—隔振器；3—敷设有吸声材料和穿孔板的双层管；4—通向鼓风机；5—覆盖有穿孔板的吸声材料

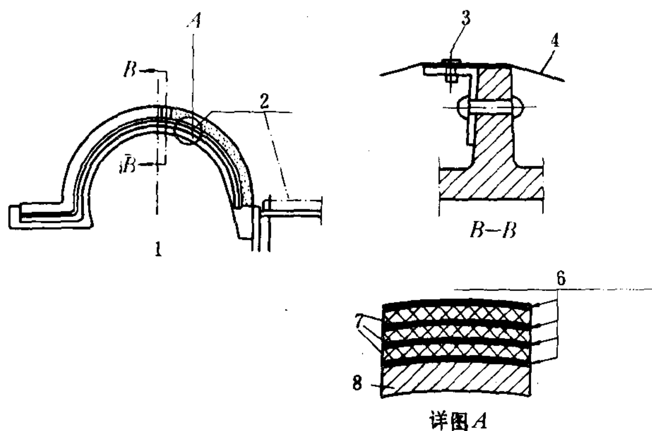


图 6.3.2—135 鼓风机壳的隔声

1—鼓风机壳剖面；2—隔热层；3—弹性夹层；4—1mm 厚的电镀板；5—详图 A；6—2～3mm 厚吸声材料；7—毛毡；8—机壳

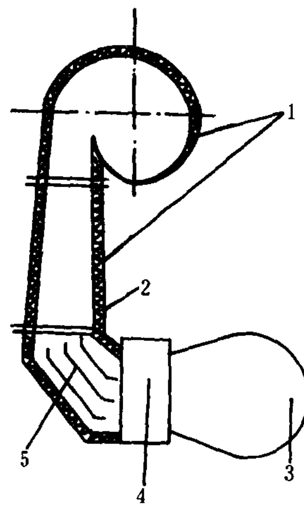
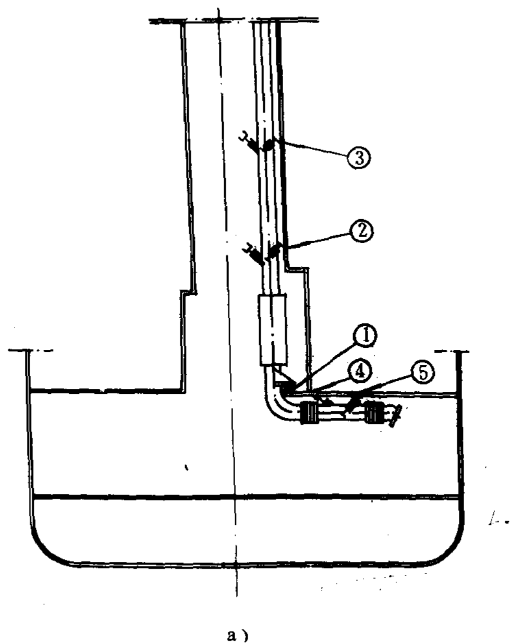


图 4.3.2 136 装于扫气冷却器前的消声器

1—隔声的机壳；2—双层壁扩压器；3—汇集器；4—冷却器；5—带平行阻板的消声器



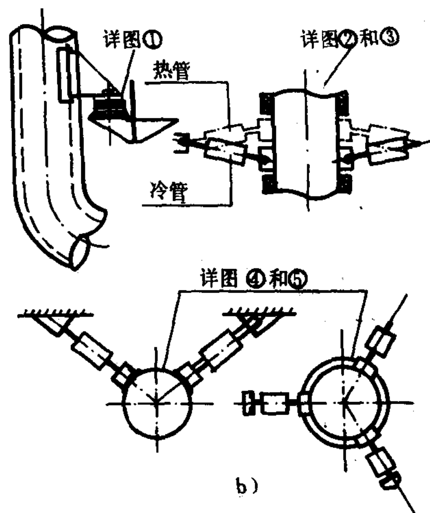


图 6.3.2—137 柴油机排气管道的弹性支承

a)布置图;b)支承部详图

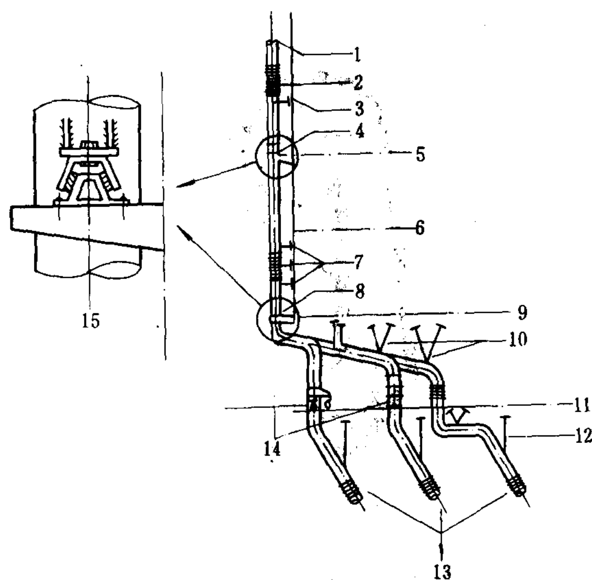


图 6.3.2—138 三台辅机排气管的弹性安装

1—接弹性安装的消声器;2—膨胀波纹管;3—支撑;4—固定点;5—驾驶室;6—桥楼甲板;7—支撑;8—固定点;9—主甲板;10—吊架;11—甲板间;12—吊架;13—接辅机;14—固定点;15—固定点详图

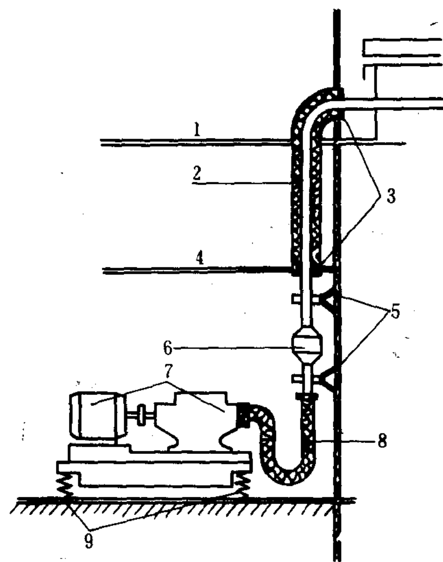


图 6.3.2—139 液压装置的降噪

1—居住舱室;2—隔声罩;3—弹性衬套;4—居住舱室;5—弹性吊架;6—消声器;7—泵机组;8—挠性软管;9—弹性支承

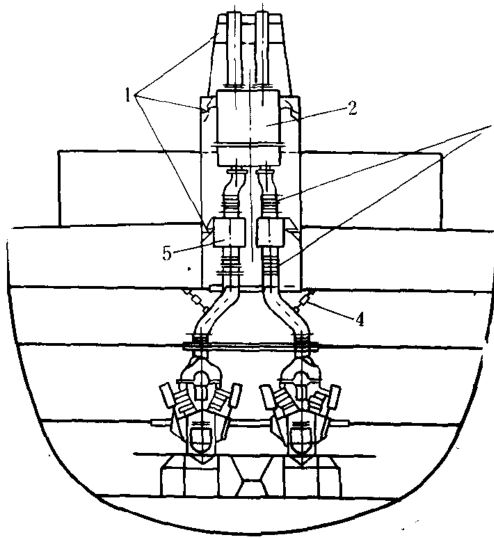


图 6.3.2—140 废气系统的弹性安装

1—全金属隔振器；2—废气消声器；

3—膨胀结头；4—拉力弹簧元件；5—废气锅炉

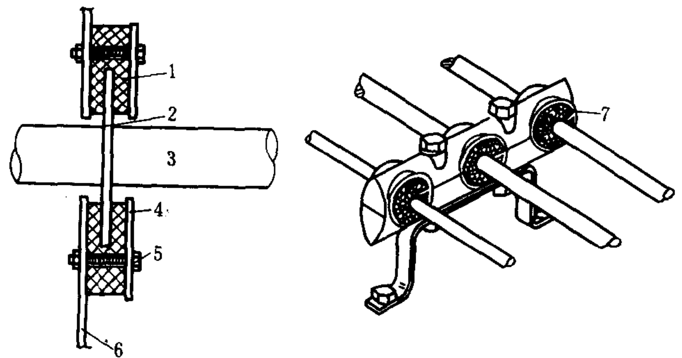


图 6.3.2—141 弹性舱壁管件和管道夹紧件

1—弹性填料；2—法兰；3—管道；4—外板；

5—压紧螺栓；6—钢舱壁；7—弹性填料

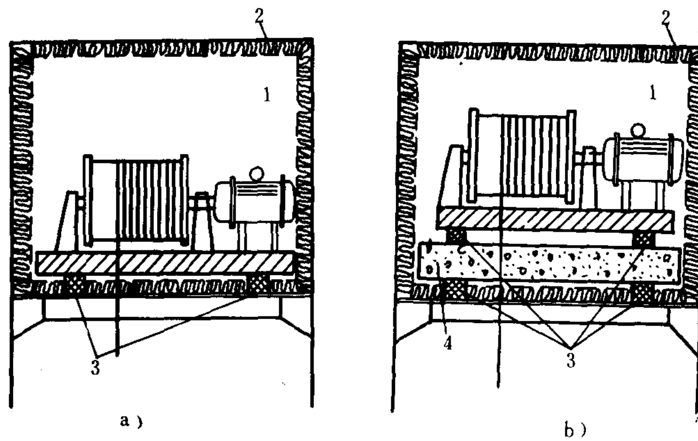


图 6.3.2—142 升降机减噪

1—升降机舱室；2—吸声材料；3—弹性支承；4—混凝土

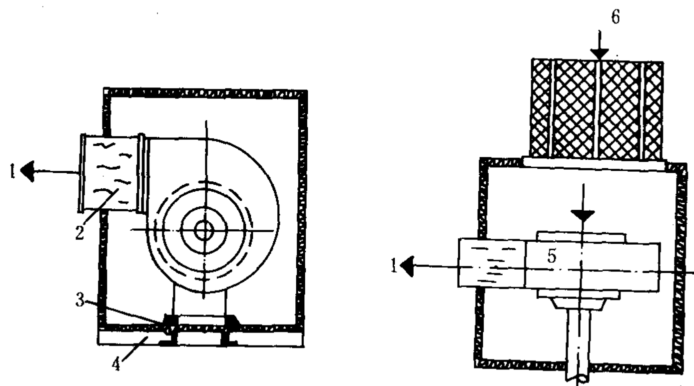


图 6.3.2—143 锅炉通风机的隔声罩

1—出口；2—帆布接管；3—隔振器；4—底座；5—通风机；6—进口

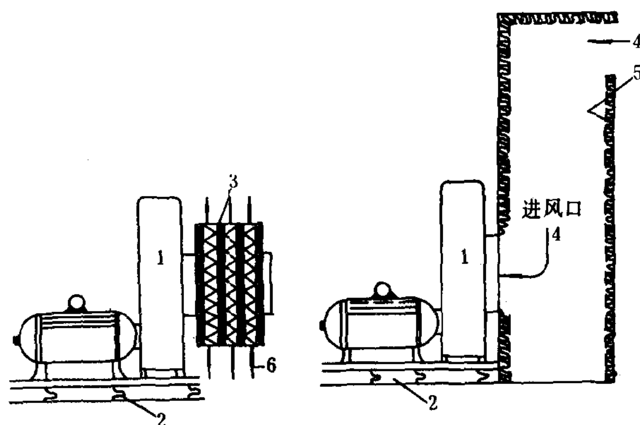


图 6.3.2—144　大型离心通风机进风口降噪

1—通风机；2—隔振器；3—进风滤器；4—进风口；5—50mm 厚矿渣棉（70kg/m³）和穿孔板；6—空气

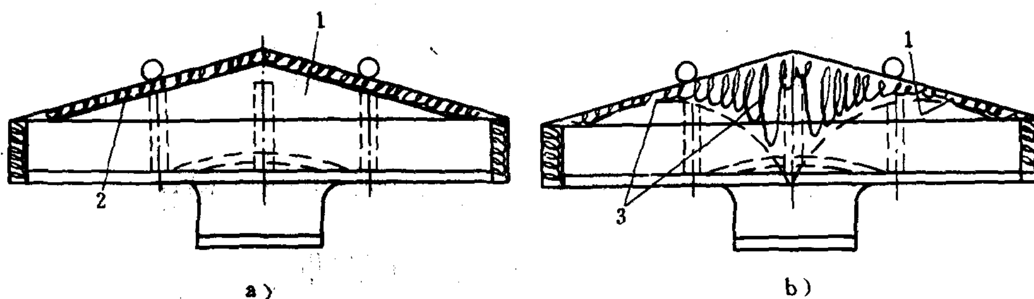


图 6.3.2—145　轴流风机进风口的通风帽降噪

1—穿孔板；2—50mm 厚矿渣棉；3—矿渣棉

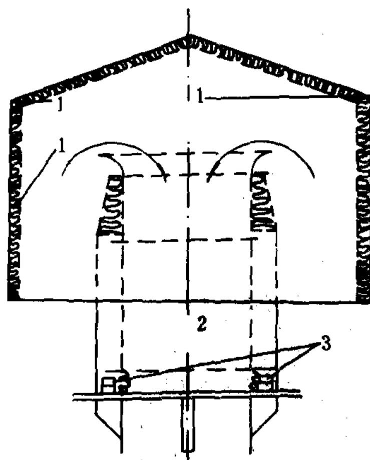


图 6.3.2—146　轴流风机弹性安装及通风帽采用吸声材料

1—50mm 厚矿渣棉（70kg/m³）和穿孔板；

2—轴流风机；3—弹性支承

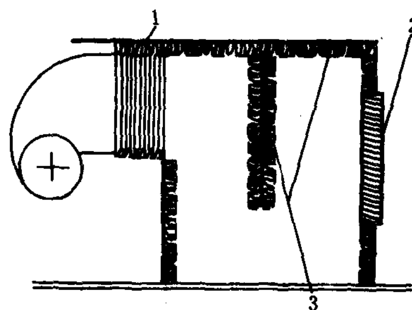


图 6.3.2—147　离心风机进风口装吸声材料和吸声挡板

1—挠性接管；2—通风格栅；

3—矿渣棉（50mm）和穿孔板。

12.4 舱室的降噪结构图例

图 6.3.2—148 至图 6.3.2—157 为常用的舱室降噪结构。

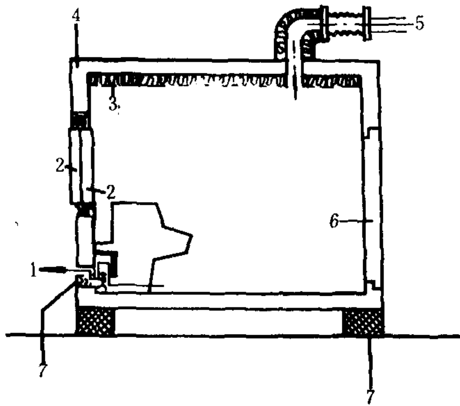


图 6.3.2—148 整体弹性安装的集控室

1—消声器的回流空气；2—玻璃窗；3—穿孔板；4—双层墙，内填矿渣棉；5—接空调消声器；6—双层门；7—弹性元件

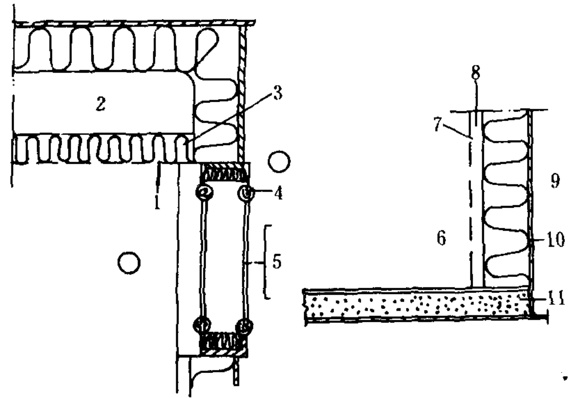


图 6.3.2—149 集控室围壁结构

1—穿孔板；2—空气夹层 200mm；3—50mm 矿渣棉；4—橡胶元件；5—2×8mm 的玻璃的双层窗，间距 100mm；6—集控室；7—穿孔板；8—空气夹层 25mm 矿渣棉 100mm；9—机舱；10—7mm 厚钢板；11—50mm 轻质水泥

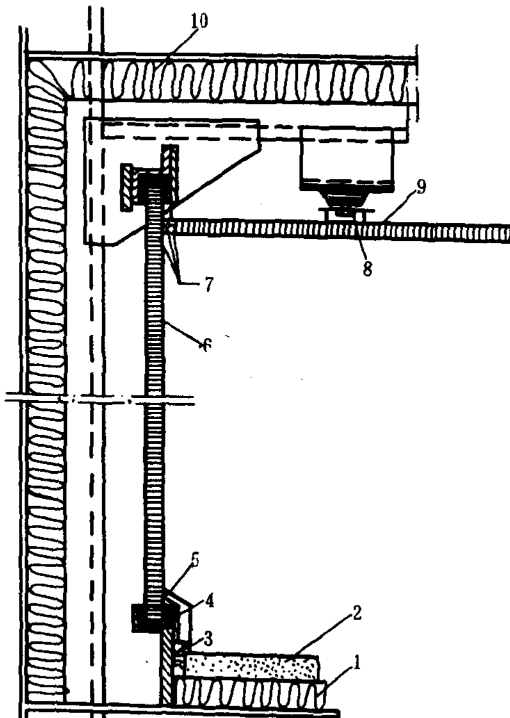


图 6.3.2—150 生活舱室的隔声结构

1—矿渣棉；2—浮筑地板；3—橡胶；4—橡胶图；5—壁脚板；6—内墙；7—橡胶；8—弹性元件；9—天花板；10—隔热材料（吸声）

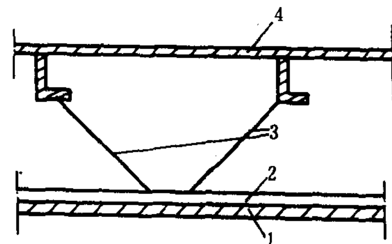


图 6.3.2—151 用金属网弹性吊装天花板

1—天花板；2—型钢；3—带状金属丝网；4—甲板

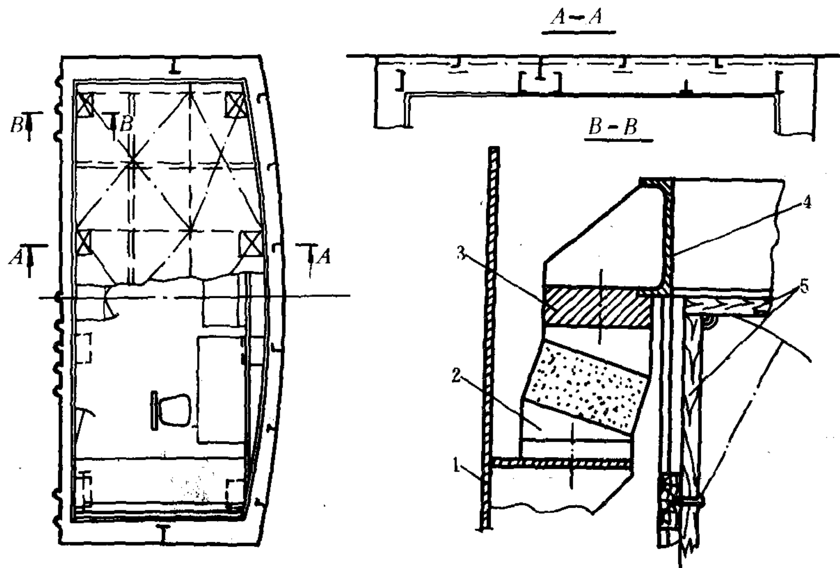


图 6.3.2—152　浮动舱室面板隔振连接结构图

1—上层建筑的主结构；2—隔振器；3—阻振质量；4—固定面板的骨架；5—面板

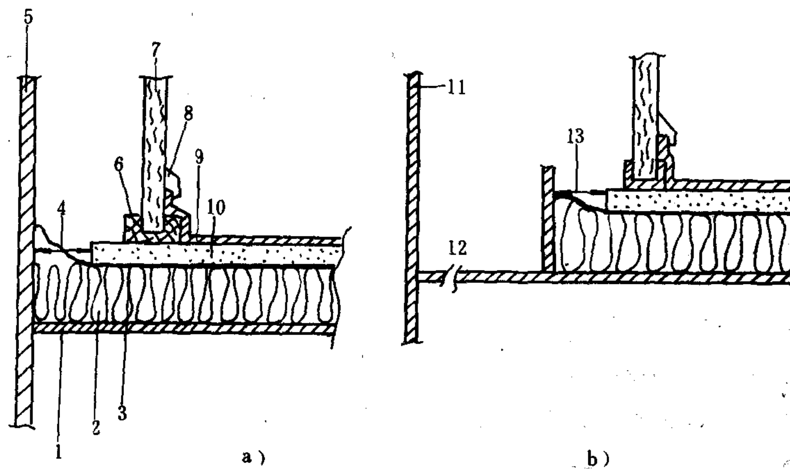


图 6.3.2—153　浮动地板结构

1—钢甲板；2—矿渣棉；3—防湿层；4—间隙；5—钢质舱壁；6—橡胶；7—墙壁；8—壁脚板；9—乙烯基扩板；10—浮筑地板；11—外舱壁；12—排水孔；13—间隙

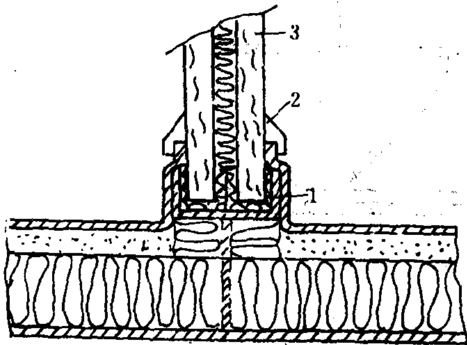


图 6.3.2—154　双层结构下面的浮筑地板

1—橡胶；2—壁脚板；3—墙壁

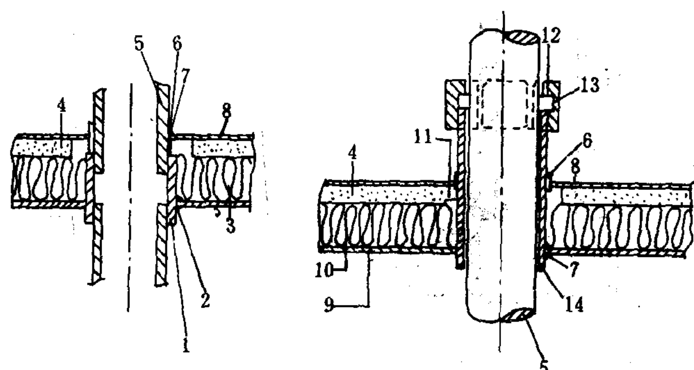


图 6.3.2—155　管道通过浮筑地板的隔振处理

1—焊接套管；2—焊缝；3—钢甲板、矿渣棉；4—浮筑地板；5—管道；6—乙烯基环；7—焊缝；8—乙烯基扩板；9—钢甲板；10—矿渣棉；11—间隙；12—氯丁橡胶密封环；13—螺母；14—隔离套管

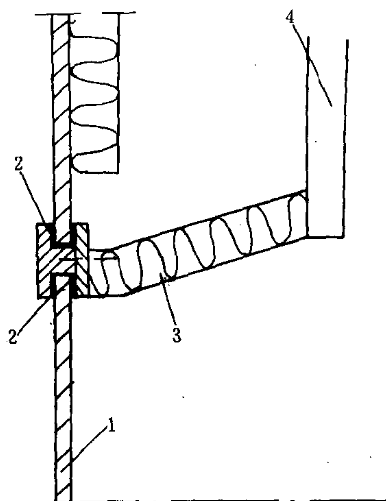


图 6.3.2—156 窗结构

1—外部窗；2—橡胶；3—窗框；4—内墙

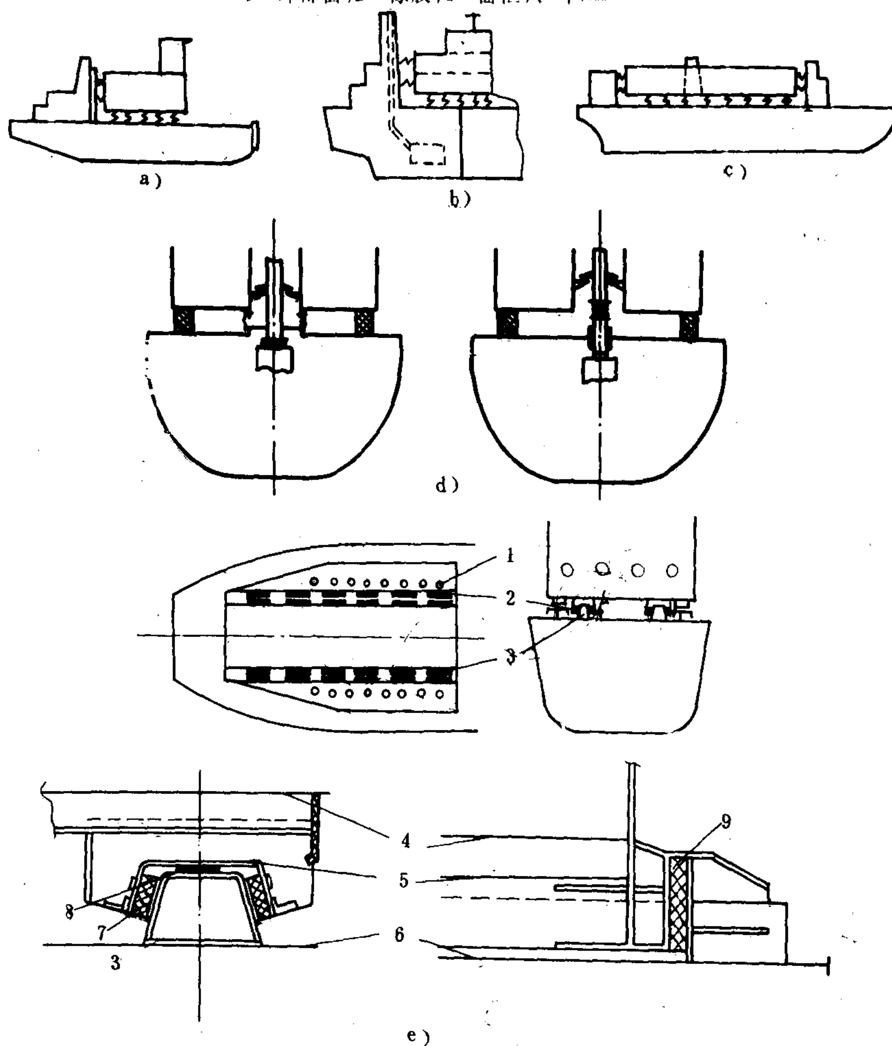


图 6.3.2—157

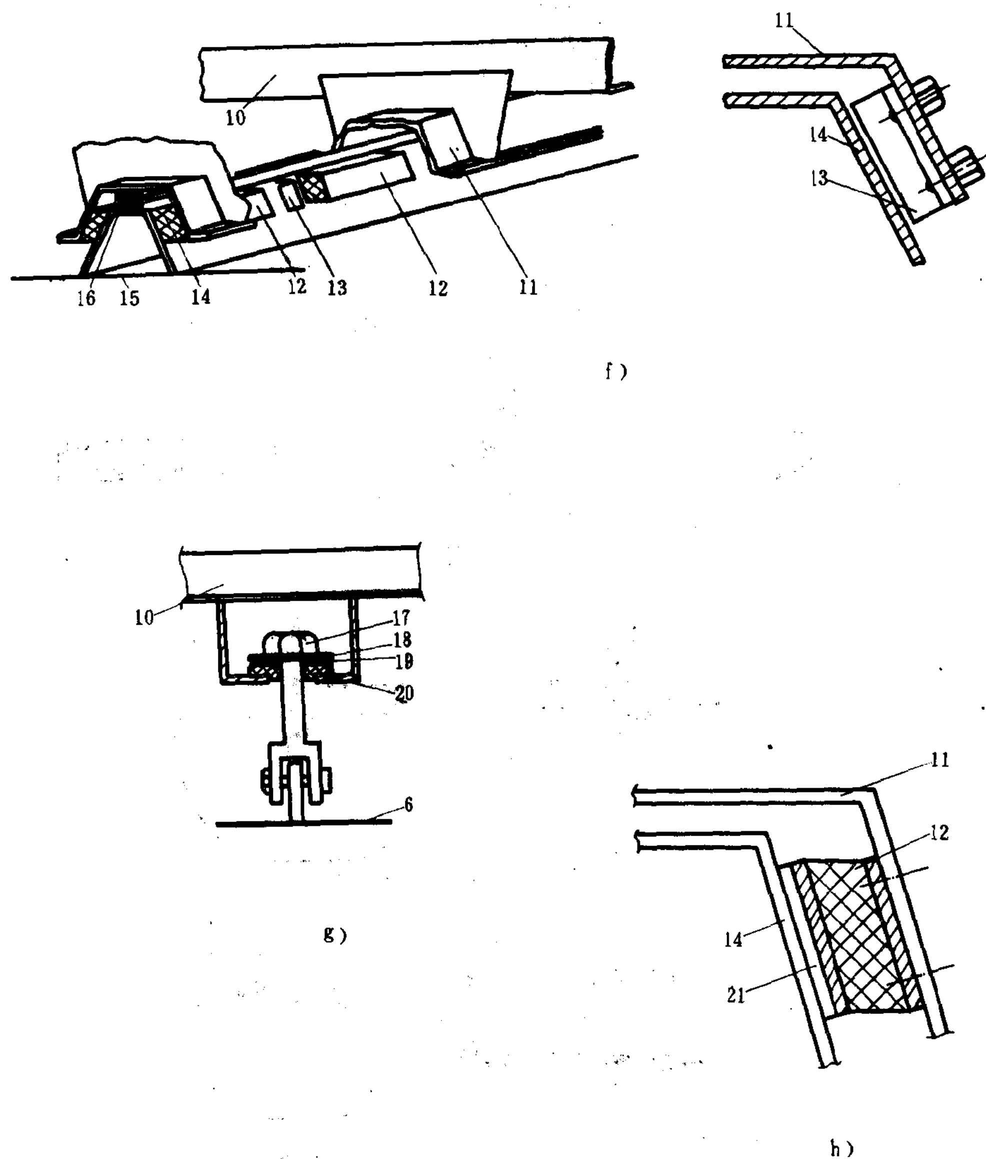


图 6.3.2—157　弹性甲板室示意图

a)、b)为烟囱与居住舱室分离的支承形式;c)、d)为烟囱穿过居住舱室的支承形式;e)有两根箱形轨道的弹性支承;f)安全装置;g)限位器;h)隔振器的固定

1—保险螺栓;2—橡胶元件;3—下部箱形轨道;4—上层建筑的下部甲板;5—上部箱形轨道;6—主甲板;7—隔振器;8—橡胶垫块;9—纵向保险橡胶元件;10—上层建筑;11—上轨道;12—隔振器;13—角钢;14—下轨道;15—主甲板;16—橡胶垫块;17—螺母;18—垫圈;19—间隙;20—橡胶元件;21—粘结剂

13　船舶噪声测量

船舶噪声测量的目的有：评定舱室和其它场所的噪声级、检验船舶声学处理的效果，为噪声控制提供数据、测定舱室吸声系数、测定舱室围壁的隔声量、评价船舶噪声对周围环境的影响等。

13.1　测量仪器

常用的测量仪器有声级计、频率分析仪、自动记录仪和磁带记录仪等。

13.1.1　声级计

声级计是一种测量噪声级大小的仪器，是噪声现场测量中最基本的仪器。把电容传声器换成加速度计后可测量振动加速度、速度和振幅。同倍频带或1/3倍频带滤波器配合后可对噪声进行频谱分析。

按功能可分为普通声级计、精密声级计、脉冲声级计和积分声级计。

按精度可分为：0级声级计、1级声级计、2级声级计和3级声级计。其分类表见表6.3.2—55。

表6.3.2—55　**声级计分类表**

型　号	0　级	1　级	2　级	3　级
精　度	±0.4　dB	±0.7　dB	±1　dB	±1.5　dB　(IEC) ±2　dB(我国)
名　称	测量放大器	精度声级计	普通声级计	普通声级计
示　例	红声厂　NF－6 长城厂　NF－6 丹麦BŒK公司 2636 2610	红声厂　ND_1 ND_2 ND_6 湖南衡阳厂JS－1 丹麦B8K公司 2203 2209 2210 2230 美国GR1993 日本住友NA－56	红声厂　ND_{10} ND_{12} 上海风雷厂RSJ－2 长城厂SJ－2 丹麦B&K公司 2219 美国GR1551－C 英国1400型 日本住友NA－09	长城厂SJ－1

船舶噪声测量规定用1级计或2级声级计。

ND_2型声级计外形图见图6.3.2—158。声级计由传声器、前置放大器、衰减器、放大器、频率计权网络以及有效值指示表头组成，其方框图见图6.3.2—159。

声级计的工作原理是：声压信号由传声器转换成电压信号，馈入放大器成为具有一定功率的电信号，再通过具有一定频率响应的计权网格，经均方根检波器在指示表头上给出噪声级数值。

声级计表头阻尼特性分“快”、“慢”两档，快档用于测量声级随时间波动不大于 4dB 的稳定噪声，“慢”档用于波动大于 4dB 的场合。

声级计一般用干电池供电，使用前应检查电压是否满足声级计正常工作的要求。

声级计应定期校准，中国规定一年校准一次。

用声级计测量噪声时，为了不使仪器中的滤波器过载或超过额定电压，应先用线性档或 C 档测量其声级，然后测 A 档或分频档，即先测总声压级，然后测带频声压级。

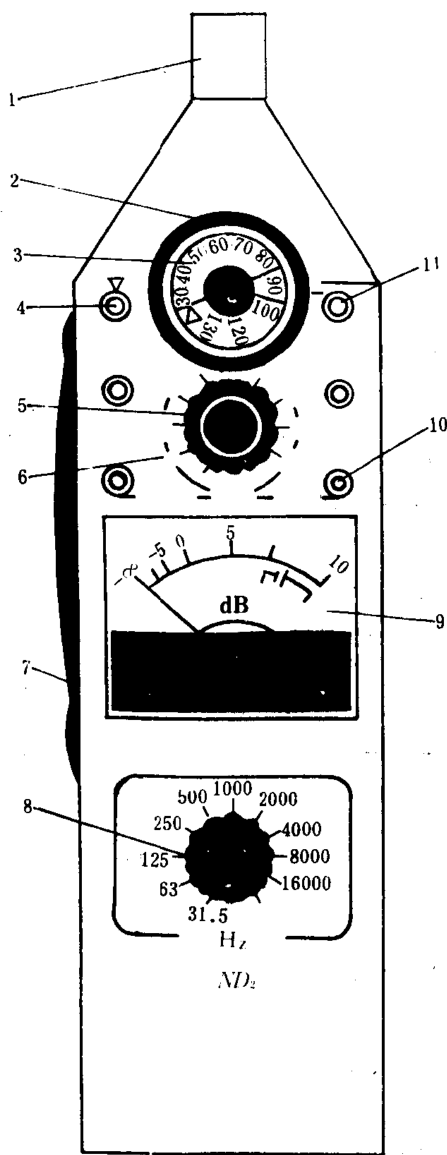


图 6.3.2－158　ND_2 型声级计和倍频带滤波器
1－电容传声器；2－黑色旋钮（输入放大器）；3－透明旋钮（输出衰减器）；4－校正电位器；5－计权网格开关；6－开关；7－电池盖板（背面）；8－滤波器旋钮；9－电表；10－外接电源插孔；11－指示灯

13.1.2　频率分析仪

频率分析仪是用来分析噪声频谱的仪器，它主要由测量放大器和滤波器组成。噪声通过一组倍频带带通滤波器，就得到倍频带噪声频谱；若通过一组 1/3 倍频带带通滤波器，则昨到 1/3 倍频带噪声频谱，若通过一组窄带滤波器，则得到窄带噪声频谱。

用声级计与倍频带或 1/3 倍频带滤波器，即可对噪声进行倍频带或 1/3 倍频带频谱分析。

将传声放大器或声级计与滤波器组合成一体的仪器称为频谱仪，可作声级测量和频谱分析。ND_2 型倍频程声级计即是便携式的频谱仪。

13.1.3　自动记录仪

在现场测量中，为了迅速而准确地测量、分析和记录噪声频谱，频率分析仪与自动记录仪联用，可自动把频谱记录在坐标纸上。如国产 NJ_3 型电平记录仪与 ND_2 型精密声级计和倍频带滤波器配合组成一套便携式噪声和振动现场测量分析仪。

13.1.4　磁带记录仪

磁带记录仪又称录声机，在现场测量中，如没有频谱仪和自动记录仪时，可先用录声机把被测试的噪声记录下来，然后在实验室用适当的仪器进行频谱分析。利用示波器还可以对被录制在磁带上的脉冲声和间歇声进行波形观察分析。

使用的录声机应当在需要的频率范围内具有较好的频率响应，较宽的动态范围和较大的信噪比，并应具有长期的稳定性，以免失真。

13.1.5　标准声功率源

标准声功率源是一种已知声功率输出的稳定的宽频带噪声源。

目前采用的标准声源有：撞击式标准声源，空气动力式标准声源和电动式标准声源。我国的 ARSS 型空气动力式标准噪声源如图 6.3.2—160 所示，其输出声功率级为 96.9dBA。

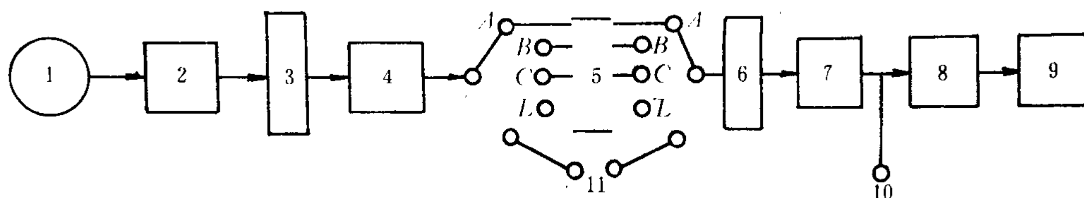


图 6.3.2—159 声级计方框图

1—传声器；2—前置放大器；3—衰减器；4—放大器；5—计权网格；6—衰减器；7—放大器；8—均方根极波器；9—指示表头；10—外接记录器；11—外接滤波器

13.2 舱室吸声系数测量

舱室吸声系数测量方法较多，这里仅介绍标准声源法。

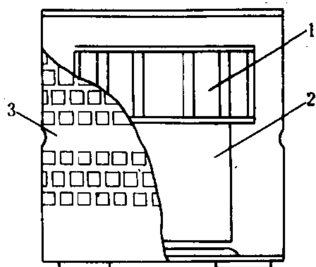


图 6.3.2—160 空气动力式标准声源结构图

1—风机；2—电动机；3—网罩

在房间中放置经过标定的标准声源，其倍频带（或 1/3 倍频带）声压级 L_{wi} 为已知，测定离声源较远处的倍频带声压级 L_{pi} 得房间常数 R_i：

$$R_i = 4 \times 10^{0.1(L_{wi}-L_{pi})} \qquad (6.3.2\text{—}205)$$

壁面的平均吸声系数 $\bar{\alpha}$ 为：

$$\bar{\alpha}=\frac{R_i}{S+R_i} \qquad (6.3.2\text{—}206)$$

式中：S——舱室的内表面面积，m^2。

测量时应注意下面几点

1）标准声源的声功率级必须稳定不变；

2）标准声源在现场的设置条件必须与在实验室标定时的装置条件相同；

3）测点位置应离声源 1.5m 以上，距反射壁面 1m 以上，测点相互距离 1m 以上；

4）为保证实验结果的精度，对同一测点应读取较长时间（例如 10S 以上）的声压级平均值，并应取得多点测量，最后声压级平均值的标准偏差小于 0.5dB 以内。

13.3 舱室围壁隔声量的测量

隔声量 R 的测量方法通常有实验室测量和现场测量，前者仅与板的质量有关，后者还同板的安装条件有关，一般来讲，由于侧向传声的影响，现场测量值小于实验室测量值。

现场测量得到的隔声量 R′为：

$$R'=L_s-L_R+10\lg\frac{S'}{A_R} \quad dB$$

式中：L_s ——声源室的声压级，dB；

L_R ——受声室的声压级，dB；

S' ——声源室与受声室之间隔舱壁的面积，m^2；

A_R—— 受声室中的吸声量，m^2，$A=\overline{S\alpha}$，$\bar{\alpha}$ 为受声室中的吸声系数，按 13.2 中的方法测量，S 为受声室内总表面积，m^2。

图 6.3.2—161 为隔声量现场测量的仪器布置。

13.4 船舶噪声测量

按国家标准“船上噪声测量”GB4595－81 进行。

测量仪器用 1 级或 2 级声级计。

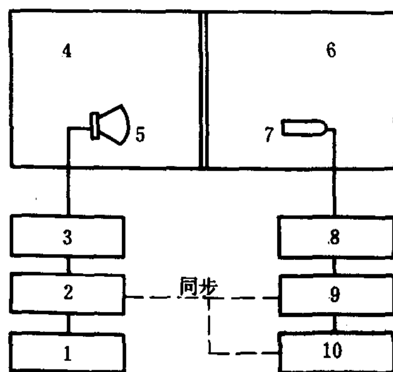


图 6.3.2—161 隔声量现场测量的仪器布置
1—噪声发生器；2—1/3 倍频带滤波器；3—放大器；4—传声室；5—扬声器；6—受声室；7—传声器；8—传声放大器；9—分析仪 1/3 倍频带滤波器；10—电平记录仪

测量值读数时，动态特性采用慢档，每次测量至少持续 5S，读数取整数。

测量条件包括：船舶运行状态，机器的工作状态，环境条件和舱室状态。

1)船舶运行状态。

船舶运行状态为满载或压载状态，也允许试航状态。对内河船舶，交船验收试验应在逆水或静水中测量，营运船舶的检验可在须水时测量。测量时应尽可能使船舶保持直线航行。对拖(推)船，应在交船验心状态或带驳状态下测量。对其它非运输船舶，应在正常作业状态和自航状态下测量。

2)机器的工作状态

对交船验收试验，主机应在额定转速的 95％以上运行。对营运船舶的检测，主机可在常用工况转速下运行，但需在测量报告中注明。可调桨或平旋推进器应处于最大负荷状态。正常航行或作业时所必需的各种辅机及其它连续使用的机器都应正常运转。对间断使用的机器，如每班工作不超过 0.5h，可停止工作。空调通风系统应处于正常工作状态，按设计风量送风。

3)舱室状态

门、窗原则上应关闭，不能关闭的应在测量报告中注明。驾驶室的门、窗如在航行时长期开着的，应开着测量。舱室内的阵设和家具应配置齐全。

4)环境条件

风力不超过 4 级，浪不超过 3 级，其它测量条件不应对测量值有较大的影响，否则应在测量报告中说明。人员和干扰源不应对测量值产生明显的影响。

背景噪声至少应比测量值读低 3dBA。

5)传声器位置

离站立面和高度一般为 1.2～1.5m，距舱室周界和其它反射面至少为 0.5m，距机器或设备约 1m，达不到时应在测量报告中说明。传声器一般朝向声源，在气流进排气管口测量时，传声器应位于气流外距管口边缘 1m 处，其朝向与气流方向成 30℃角，如图 6.3.2—162 所示。

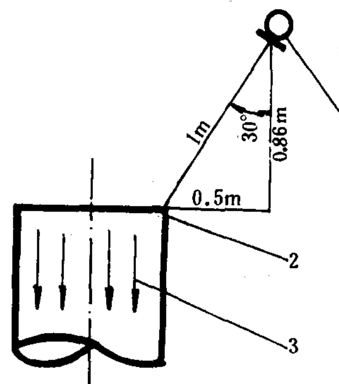


图 6.3.2—162 传声器在进(排)气口处的位置
1—传声器；2—进排气管；3—气流

6)测量位置

机舱，机舱控制室，工作间，驾驶室，桥楼两翼，海图室，报务室，全部卧室(噪声条件相同的可以抽测)，医务室，病房，餐厅，厨房，办公及休息等舱室和人员经常驻留的场所。

表 6.3.2—56 为某些船舶需要加测的场所。

表 6.3.2—56　　　　**某些船舶加测噪声的场所**

船舶类型测量所

船舶类型	测量场所
油　船	货油泵舱及锅炉舱
渔船及冷藏加工船等	冷冻机舱，辅机舱，渔业作业所及车间
工程船（包括各种挖泥船，起重船、打桩船等）	各种作业机机房及操纵控制室，辅机舱，泵舱，各种作业机械附近的露天工作所
钻井平台船和采油平台船	钻机房，钻台，泥浆泵舱，固井泵舱，泥浆配料间，净化室气测室，实验室，直升机不台及测井绞车附近工作所
其它船舶	各种机房，控制室，加工室（车间），实验室等及露天工作场所

测量舱室噪声时，一般在舱室中央测量，舱室较大时，相邻测点的距离应不小于 2m 和不大于 7m。如需要时，可增加测点。机舱和主要机械室及其控制室的主要测点是主机和机械操纵处，船员主要工作和通话处以及强噪声部位。驾驶室内一般测量三点，其中包括船员经常工作的位置，对小船驾驶室，可以测量一点；各助航设备应处于工作状态。桥楼两翼均应在背风时测量。报务室测点应在报务员的工作部位，测量时通讯设备处于工作状态，但不收发讯号。在甲板上，测量应在人员经常驻留的地方（特别在机舱的天窗、空调系统的进排风口和各种机械附近）。

测量报告的格式见表 6.3.2—57。测量位置见图 6.3.2—163。

表 6.3.2—57　　　　**船上噪声测量报告**

船名__________类别__________航区__________

所属单位__________制造厂__________出厂日期__________

船长________m，型宽________m，型深________m，设计吃水________m

满载排水量________t

主推进机型号________台数________额定功率________kW，额定转速________r/min

增压器型号________转速________r/min

螺旋桨类型________桨数________叶数________额定转速________r/min

主要辅机　（包括作业机械）

名　称	型　号	台　数	功　率	转　速	备注　（其他性能及工况等）
发电原动机					
发　电　机					
空　压　机					
机舱风机					
空调设备					

续上表

测量性质____________ 测量时航区____________

水深____________ m，船舶运行状态____________

首吃水____________ m，尾吃水____________ m，航速____________ kn(km/h)

天　气____________ 风力(风速)____________ 浪级____________ 水流方向____________ 气温____________ ℃

主机实际转速____________ r/min，功率____________ kW

有关情况说明

测量仪器____________ 型号____________ 标定日期____________

测量单位____________ 见证单位____________

测量人____________ 见证人____________

测量日期____________ 报告日期____________

A声级测量记录表

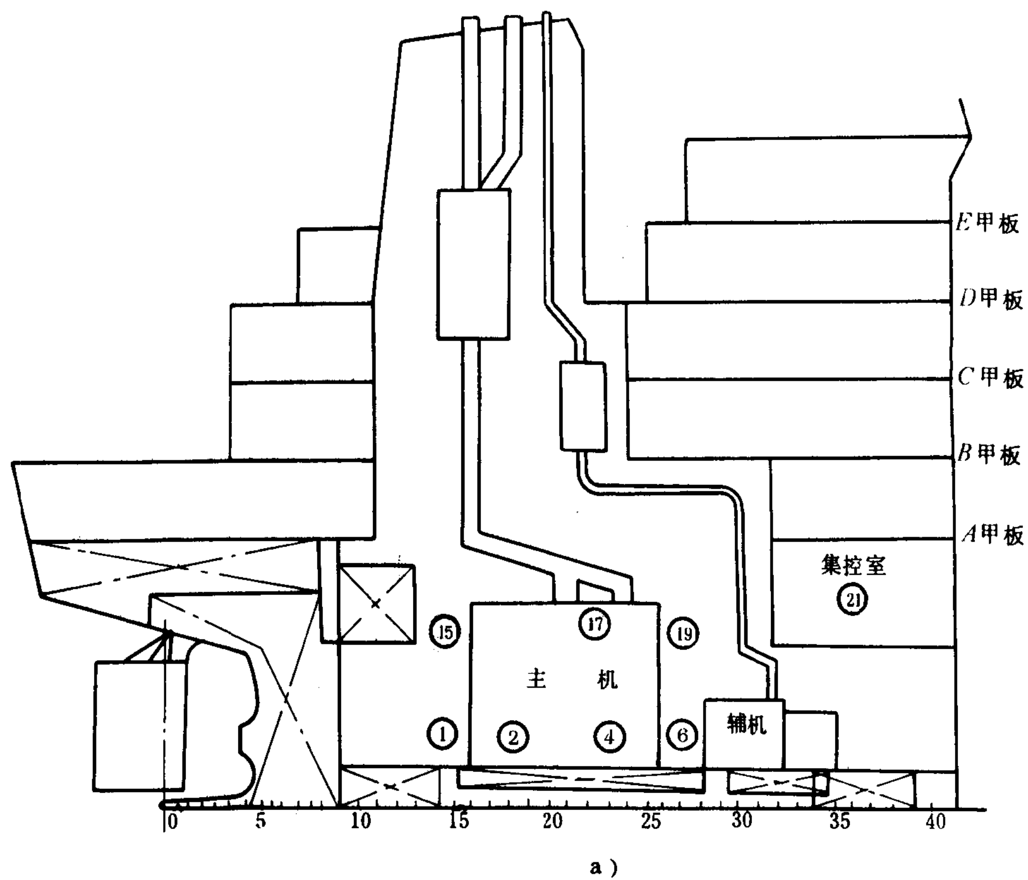
船　名		测量时间	年　月　日　时
测量工况			

测点号	测量场所	L_A dB	备　注	测点号	测量场所	L_A dB	备　注

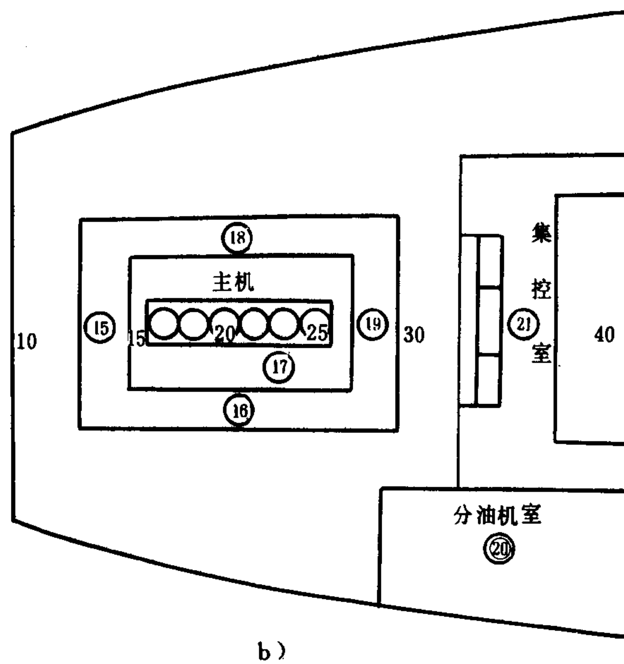
续上表

1/3 倍频程频谱测量记录表

船名											测量工况													测量时间			年 月 日 时				
测点号	测量场所	L_A dB	L_P dB	1/3 倍频程中心频率 Hz																											备注
				25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	

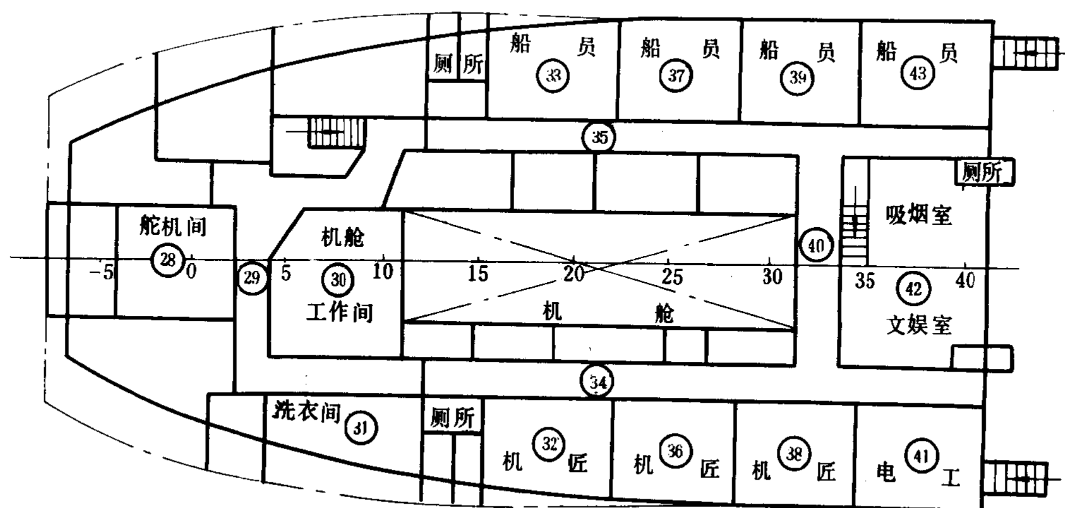

E甲板
D甲板
C甲板
B甲板
A甲板
集控室
21
15
17
19
主　机
1
2
4
6
辅机
0
5
10
15
20
25
30
35
40

a）

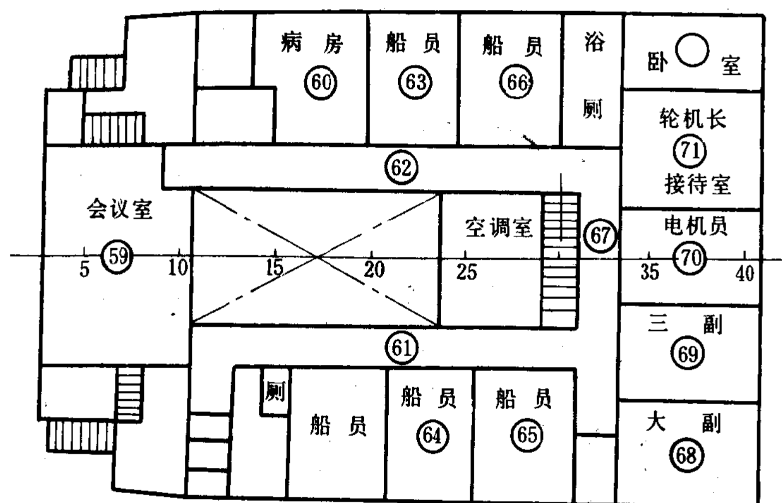

18
主机
15
15
20
25
19
30
17
16
10
集
控
室
21
40
分油机室
20

b）

图　6.3.2—163


厕所
船 员
33
船 员
37
船 员
39
船 员
43
35
厕所
舵机间
28
机舱
30
工作间
29
吸烟室
40
42
文娱室
机 舱
34
洗衣间
31
厕所
机 匠
32
机 匠
36
机 匠
38
电 工
41
-5
0
5
10
15
20
25
30
35
40

c）


病 房
60
船 员
63
船 员
66
浴
厕
卧 室
轮机长
71
接待室
62
会议室
59
空调室
67
电机员
70
5
10
15
20
25
35
40
三 副
69
61
厕
船 员
船 员
64
船 员
65
大 副
68

d）

图 6.3.2—163

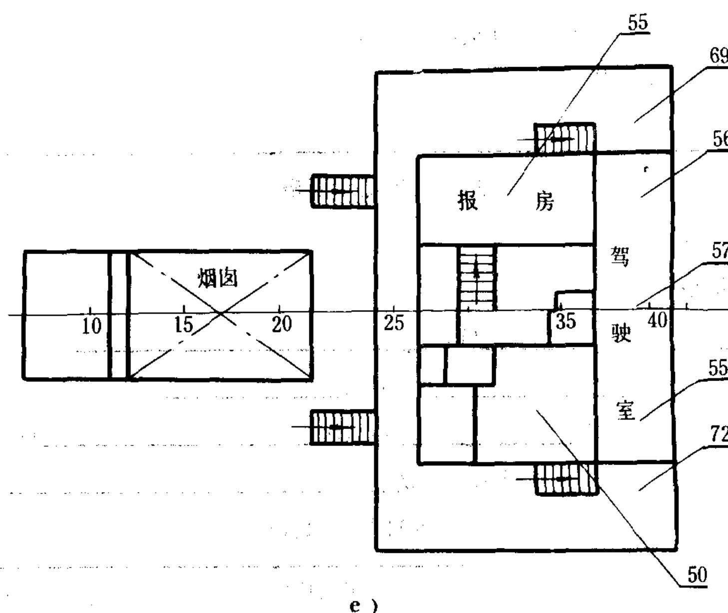


图 6.3.2－163　船舶噪声测量位置简图

a)××号尾端测点(纵剖示意图);b)××号机舱气缸平台测点;c)××号 A 甲板测点;d)××号 C 甲板测点;e)××号 E 甲板,测点和噪声级;0 代表测点,其内数字代表测点编号;·代表测点,所注数据表示测得 dBA 值。

13.5　船舶辐射噪声测量

测量方法按国家标准“内 13 航道及港口内船舶辐射噪声的测量”GB4964－85 进行。

测量仪器同 13.4 的要求。

1)环境条件

测量场所应具备自由声场条件,传声器周围不应有扰乱声场的障碍物;测量时风速应小于 5m/s(相当于 3 级风),下雪时不宜测量,在有风影响的场所传声器应带风罩;背景噪声应比测量对象的辐射噪声低 10dB。

2)测量时船舶的操作条件

主机在额定转速 95%以上运转;可调桨和平旋式螺旋桨应在全功率状态下运转;门窗按习惯使用的状态开启或关闭。

停泊船舶的主辅机按正常状态运转或关闭。

传声器位置应放在码头,岸边或测量船上,高度距站立面 1.2～1.5m,高出水面最好大于 3m,小于 6m。传声器方向要垂直于船舶的航向,传声器与船的舷侧的基准距离为 25m,偏离此值时按下式修正。

$$L_{A25} = L_{A\cdot d} + 20\lg\frac{r}{25} \qquad (6.3.2—207)$$

式中：L_{A25}——相当于距离 25m 的 A 声级，dB；

L_{Ar}——距离为 r 时测得的 A 声级，dB；

r——测量时传声器距舷侧的实际距离，m。

测量记录格式是表 6.3.2—58。

表 6.3.2—58

测量报告记录表格

A.1　船舶辐射噪声测量报告

船名__________类别________航区__________

所属单位________制造厂________出厂日期________

两柱间长________m，型宽________m，型深________m

设计吃水________m，满载排水量________t

主机及推进器技术数据

主机型号		台数		额定功率 kW		额定转速 r/min	
增加器型号		台数		转速 r/min			
推进器类型		桨数		叶数			

主要辅机及作业机械（主要噪声源的机械）

名　称	型　号	台　数	功率　kW	转速　r/min	备注（其他性能及工况等）
发电原动机					
发电机					
空压机					
机舱风机					
空调设备					

续上表

测量时的有关数据

测量性质		地点		航速	
装载状态		吃水首　　m,尾　　m,船下水深　　m			

天气		风力		海况		水流		气温	

主机实际转速 r/min		功　率 kW		机舱门窗关闭状态			
背景噪声		声级计支承方法		测距方法		传声器距水面高度　m	
测距仪名称		型号		标定日期			
声级计名称		型号		标定日期			

有关情况

测量单位＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿　见证单位＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

测量人＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿　见证人＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

测量日期＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

续上表

A.2　船舶辐射噪声 A 声级测量记录

船　名		测量地点		日期	
测量工况					

测量号	传声器距船侧舷距离 m	辐射噪声 A 声级　dB		备　　注
		$L_{A,d}$	$L_{A,25}$	

A.3　辐射噪声频谱测量记录

dB

船　名				测量地点			日　期					
测量工况												

测量号	传声器距船舷距离 m	A 声级 L_{PAF}	宽带声压级 L_P	1/1 或 1/3 倍频程中心频率　Hz								
				25 31.5 40	50 63 80	100 125 160	200 250 315	400 500 630	800 1000 1250	1600 2000 2500	3150 4000 5000	6300 8000 10000

第 7 卷

船舶系统

主　　编　方　竹
副 主 编　马家骥
主　　审　邵祖德　陆赞能　柯永久
执 笔 人　马家骥　方　竹　王复德　荣肇夏
　　　　　刘荣钧　刘　琴　吴甲斌　邵祖德
　　　　　周宗仪　荣次仙　钟学添　殷佩海
审 稿 人　李玉瑜　盛百正
特约编辑　柯永久

主 要 符 号 表

符号	名称	单位
A	通道的横断面积	m^2
a	传播速度	m/s
B	船宽	m
C	燃油耗量	t/d
c	余量值	mm
D	型深	m
D	管子直径	mm
d	—¨—	—¨—
d	含湿量	g/kg
dm	吃水	m
E	材料的弹性模量	MPa
e	焊接系数	—
F	面积	m^2
G	质量	kg
G	质量流量	kg/s,kg/h
G_F	耗油量	kg/h
G_f	耗油率	$kg/(\overline{kW}\cdot h)$
g	重力加速度	m/s^2
H	静水压头	$Pa(mH_2O)$
H	热焓	kJ/kg
h	压头损失	$Pa(mH_2O)$
h	对流换热系数	$\overline{W}/(m^2\cdot ℃)$
i	水力坡度	$MPa(mH_2O)/m$
K	传热系数	$\overline{W}(m^2\cdot ℃)$
L	船长	m
l	长度	m
N	功率	$\overline{kW}$
p	压力	MPa
P	压力	MPa
Q	热流量	J/h
Q_D	排放率	m^3/h,L/n mile
Q	体积排量	$m^3/h,m^3/s$
q	散热量	$kJ/(h\cdot m^2),kJ/(h\cdot \overline{kW})$
R	半径	
T	物体的绝对温度	K
t	物体的摄氏温度	℃
$\overline{V}$	容积	m^3
v	比容积	m^3/kg.

v	流速	m/s
$\overline{W}$	材料质量	kg
δ	厚度	mm
δs	伸长率	%
ζ	阻力系数	—
ζ	局部阻力系数	—
λ	摩擦阻力系数	—
ρ	质量密度	kg/m^3
σ	许用应力	MPa
σ_b	抗拉强度	MPa
σ_s	—屈服限	MPa
$\sigma_{0.2}$	—0.2%残余变形时后屈服限	MPa
τ	—时间	
ε	热湿比	

下标

d	设计值
i	内部
l	液体
m	平均值
N	公称值
o	外部
s	试验值

第1篇 通用附件

第1章 概 论

船舶系统是保证船舶不沉性、安全性、防火、防污和航行性能，以及为满足船舶运行和旅客生活上需要的全船性的管路系统。它包括管子及其附件、机械、器具和仪表等等。它是为船舶正常营运创造条件而与船舶动力装置工作无关。

船舶系统所包括的构件和加工，安装工艺极其复杂。船上的管路纵横交错，四通八达，满布全船。在现代化大型船舶上共有**50～60**种全船系统；一艘大型油船，全船管子数量计**1500**余件，总长达**25～35km**，管子制造在整个舾装工程中，人工占**20%～25%**，费用占**23%～30%**；从事故统计看，事故率占**12.4%～18.6%**(每年每艘船的维修工时约**200～500h**，备件费用为各项费用之冠)

船舶管系的管子及其附件数量虽多，但通用性大，具有系列化和标准化的优越条件。我国船舶管系的管子和附件的标准有**400**余项(包括CBM外贸部标准)，约占船舶标准**32%**，居船舶工业**9**类标准的首位。

1 有关名词术语

几个基本名词，即管子、附件、管路，系统和管系。管子是构成管路系统的基本元件之一；附件是指装置在管路上的制件；管路主要是由管子和附件两类单件构成的线路；系统包括管路及其它有关设备等组合成的整体；管系是一个更广泛而通用的名称。

1.1 公称通径

又名公称直径、名义直径、法定直径，规定直径、呼称直径等。为使管子及其附件归纳为统一的商品标称，引用“公称通径(D_N)”这个概念。凡公称通径相同的管子和附件均可相互配套和组装在一起。管子的直径用外径作为基准，其内径随输送介质参数((温度、压强等)而定，这可由表7.1.1—1和图7.1.1—1说明之。

7.1.1—1 **管子内径和厚度变化情况**

名 称	符 号	单 位	变 化 情 况
公称通径	D_N	mm	D_N 不变
管子外径	D_o		D_o 不变
管子内径	D_i		$D_{i1}>D_{i2}>D_{i3}>D_{i4}$
管壁厚度	δ		$\delta_1<\delta_2<\delta_3<\delta_4$

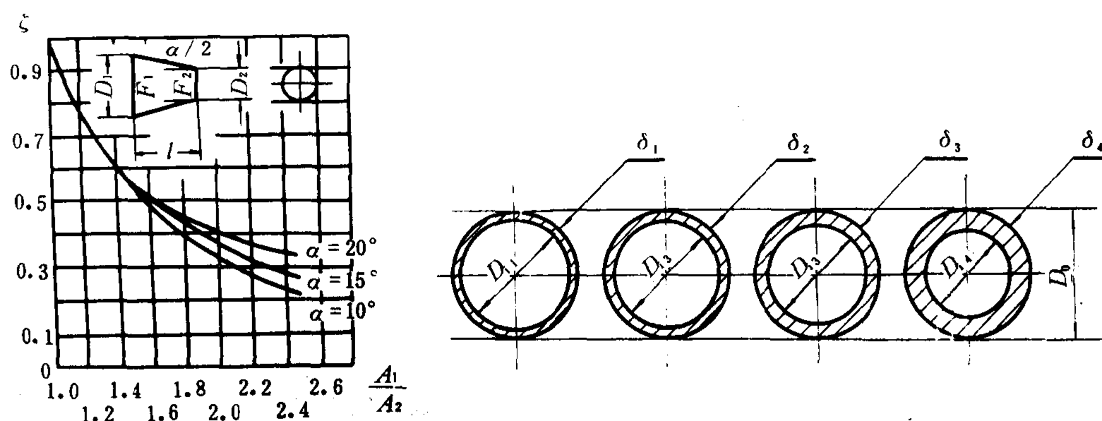


图 7.1.1—1 管子内径和厚度变化情况

公称通径不等于外径,也不一定等于内径,但在一般介质参数(2MPa 压力以下)条件下,有时接近或等于内径,即 $D_N \cong D_i$。

1.2 公称压力

为便于选用相同质量商品的标准附件,则引用"公称压力(P_N)"这个概念。公称压力与试验压力(P_s)的关系,见 GB1048 管子和管系附件的公称压力和试验压力标准。

1.3 设计压力

系统的设计压力是系统中最大的许用工作压力。一般管路的设计压力,即保险阀最高调整压力;离心式泵排出端管路的设计压力,取泵的性能曲线上的最高压力,(即封闭压力)。如果在排出管路上设有保险阀时,这时的设计压力,可取保险阀的最高调整压力。

1.4 试验压力

试验压力分强度试验压力和密性试验压力,前者是用来检查管子、附件和容器等受液(气)压后,是否破裂或永久变形,以及材料的紧密程度所规定的试验压力;后者是用来检查附件和紧密构件(阀盘与阀座、阀体与阀盖及法兰与法兰连接处等)受液(气)压后,是否密封或有无渗漏所规定的试验压力。船舶系统的管子和附件,一般在装船前车间试验压力为 1.5 倍设计压力。

1.5 设计温度

管路内的最高温度,但不得取低于 50℃。

1.6 薄壁管和厚壁管

在工程上规定 $D_w/D_i=k=1.1$ 作为厚壁管与薄壁管的界限值。当 $k<1.1$ 时为薄壁管,$k>1.1$ 时为厚壁管。

1.7 管路等级

为了确定管子试验要求、连接形式以及热处理和焊接工艺规程,不同用途的压力管路,按

其设计压力和设计温度分为三级，见表7.1.1—2。

表7.1.1—2 **管路等级**

等级 参数 管路	Ⅰ级		Ⅱ级		Ⅲ级	
	设计压力 MPa	设计温度 ℃	设计压力 MPa	设计温度 ℃	设计压力 MPa	设计温度 ℃
蒸汽管路	>1.6	或>300	≤1.6	和≤300	≤0.7	和≤170
燃油管路	>1.6	或>150	≤1.6	和≤150	≤0.7	和≤60
其他	>4.0	或>300	≤4.0	和≤300	≤1.6	和≤200

注：①当管路的设计压力和设计温度，其中一个参数达到表中Ⅰ级规定时，即定为Ⅰ级管路；当设计压力和设计温度2个参数均达到表中Ⅱ级或Ⅲ级规定时，即定为Ⅱ级管路或Ⅲ级管路；

②其他是指空气、水、滑油和液压油管路等；

③不受压力的开式管路，如放泄管、溢流管、透气管和锅炉放汽管路也为Ⅲ级管路。

2 系统分类

船舶系统可按管路输送的介质或根据其用途、执行的功能性质来分类。现按功能分类，见表7.1.1—3。

表7.1.1—3 **船舶系统的分类**

序号	总类	分类	构成属类的系统
1	卫生水系统	供水系统	舷外水系统、洗灌水系统、饮用水系统
		排水系统	粪便水系统、生活污水系统、甲板落水管
2	舱底、压载系统	舱底水系统	疏水系统、排水系统 压载水系统、横倾系统、纵倾系统
3	空气调节系统	通风系统	自然通风系统、机械通风系统
		取暖系统	蒸汽取暖系统、热水取暖系统、电取暖系统、热风取暖系统
		空调系统	低压空调系统、高压空调系统
		干燥系统	货船及油船货舱干燥系统
4	消防系统	固定式灭火系统	水灭火系统、水雾灭火系统、蒸汽灭火系统、CO_2灭火系统、卤代烷灭火系统、泡沫灭火系统、干粉灭火系统、自动喷水系统等
		失火报警和探火系统	电动失火报警系统、烟气失火报警系统、自动烟气失火报警系统
5	特种系统	货油装卸系统	货油系统、清舱系统
		货油舱辅助系统	洗舱系统、透气系统、蒸汽洗舱系统、货油加热系统

续上表

序号	总类	分类	构成属类的系统
6	其他系统	压缩空气系统	高压、中压及低压压缩空气系统
		施救系统	
		液压系统	
		空气管	
		测量管	
		注入管	
		传话管	

3 布置原则

1)船舶系统的管路，必需尽可能成直线布置，弯头尽可能少，管子弯曲半径尽可能大，附件数量应为最少，同时要符合有关船舶建造规范、公约、国内外港口的特殊规则与制度，并应有足够的可靠性和经济性，力求满足船员使用要求。

2)对船舶所有的系统，要求有大的生命力，纵使在不利的条件下，仍能维持一般航行要求。

3)管路及其附件的布置，应保证在营运期间能方便地操作和维修，在适当的场所装置隔离阀，尤其是客船应考虑系统能分区管理，同时，能有效地避免碰撞和影响行人通过。

4)所有系统的管路，每隔一定距离(一般为3～5m)应装支架或吊架妥为系固，防止作任何方向的移动，但又不得妨碍管子因船舶航行变形的随动或因温度变化所引起伸缩。

5)管路必须防止因受温度变化而产生伸长或缩短和船体某些变形而引起的附加应力，消除方法是合理布置管路和在适当地方装置膨胀接头或补偿器。

6)甲板生活污水及疏水系统的排出口宜布置在同一舷侧，如不可能，其机舱进水海水箱与相邻之排水口的距离应大于1.5m。排水口一般装在干舷甲板以上，尽可能在海水箱的尾部，具体系统的排出口位置，参见表7.1.1—4。

7)独立专用的压载水舱和清洁压载水舱的水，如在港内，也可以在水线以下排出。

8)从救生艇前端和后端分别画一夹角10°至轻载水线，在此救生艇下放区域内不得设置排水口。舷梯附近的排水口应设在正常压载水线以下，如不可能，则应注意排出的水不得喷浇到舷梯上。

表7.1.1—4　　**污、疏水排出口位置**

序号	系统	排出口位置
1	一般系统的排出口	干舷甲板以上
2	舱底水的排出口	重载水线以上约300mm处
3	冷却器冷却水排出口	正常压载水线以上约300mm处
4	货油舱内脏压载水和废油水的排出口	深压载水线以上约1000mm处
5	惰性气体系统的甲板水封用泄水排出管的排出口	应在船舶的轻载水线以下约500mm处

9)甲板冲洗管和生活用水舱的供水管，不得通过货舱。

10)淡水管不得通过油舱，油管也不得通过淡水舱，不可避免时，应在油密管隧或套管内通过。其他管子或管路通过油舱时，管壁应加厚，且不得有可拆接头。

11)各种管路的下陷或最低处应设放泄塞或阀、旋塞、口径为10～20mm，以便随时放掉其中凝水或残水。

12)凡输送热介质和暴露在甲板的水管，均应有绝热保温材料包扎。在货舱、煤舱、锚链舱和沿甲板面布置的管路，应加可靠的便于拆装的钢质或木质防护罩。相邻管路或管子与设备之间的距离应大于15mm，与船体钢板间的距离不应小于50mm，输送热介质的管路或管子包扎后的表面温度不超过60℃。对可拆接头或阀门附件等的绝热包扎物应做成便于拆装和调换。

13)在通过水密、油密或气密舱壁、甲板或船体其他水密部分处，应采用相应的通舱管件(CB* 198、CB* 199、CB* 201、CB* 202等标准)或座板，穿过的管子根数应以不妨碍操作和削弱船体强度为原则。

14)系统中具有压力的排出管上，必须装设保险阀，其调整压力为管路内介质工作压力的1.10～1.25倍。

15)燃油舱(柜)的透气管、溢流管和测量管，均应避免通过居住舱室，如有困难，该类管子或管路在舱室范围内不得有可拆接头。

16)由机舱接至甲板系统的管路，尽量避免在配电板(上方或后方)附近通过。油管不宜沿锅炉壳体、烟道、蒸汽管、排汽(气)管及消声器壳体安装。

17)船舶系统的管路，可以采用认可型的塑料管，但需符合"规范"的使用范围规定，另外，在设计和安装时，需有允许塑料管胀缩的设施。当塑料管穿过水密舱壁、防火舱壁或甲板时，应在塑料管损坏后，需具有不致破坏这些舱壁和甲板完整性的措施。塑料管一般不得用于介质温度高于60℃或低于0℃的管路。

18)油船的装、卸油管路的连接法兰处，以及可能发生溢漏油的地方，均应设置集油池或盘，防止造成油类对水域的污染事故。

19)镀锌钢管(白铁管)不宜热弯或冷弯，也不宜采取焊接方法，应采用各种形式的镀锌钢管专用的松套伸缩接头或惯用的螺纹管接。

20)通过温度低于0℃舱室(如冷库)的管子，应与该舱室的钢结构件作绝热分隔。

21)船舶系统的排水管的安装，需具有一定斜度，一般要求如表7.1.1—5所示。

表7.1.1—5 **排水管路安装斜度**

序号	管路位置	斜度	比例
1	向舷侧方向排出管路	1°10′以上	20/1000
2	向船首方向排出管路	2°30′以上	40/1000
3	向船尾方向排出管路	1°10′以上	20/1000
4	歧管系统	3°	52/1000

注：①角度是以船基线为基准的夹角；

②要考虑船的一般纵倾为2°，如果纵倾大于2°，应作相应的修正；

③一般船舶甲板拱度约为(40～50)/1000。

4 基础计算公式

本节只介绍管路计算的通用公式。

4.1 流 速

管路中的流体流速，可按下式求得：

$$V=4.43\sqrt{\frac{D_i\cdot i}{\lambda}}=1.27\frac{q_v}{D_i^2}=3.45\sqrt[5]{\frac{q_{vi}^2}{\lambda^2}}\ ,m/s \qquad (7.1.1—1)$$

式中：V ——流体流速，m/s；

i ——水力坡度，mH_2O*/m（见 4.4）；

q_v ——体积流量，m^3/s；

λ ——摩擦阻力系数。

4.2 管 径

管路中的管子内径(D_i)可按下式求得：

$$D_i=1.128\sqrt{\frac{q_v}{V}}=0.607\sqrt[5]{\frac{q_v\lambda}{i}}=0.051\lambda\frac{V^2}{i},m \qquad (7.1.1—2)$$

4.3 流 量

管路中的体积流量，可按下式求得：

$$q_v=3.48\sqrt{\frac{D_i^5 i}{\lambda}}=0.785D_i^2V=0.0203\frac{\lambda^2V^5}{i^2},m^3/s \qquad (7.1.1—3)$$

$$q_m=0.785\rho D_i^2V,kg/s \qquad (7.1.1—4)$$

式中：ρ ——质量密度，kg/m^3；

q_m——质量流量，kg/s。

4.4 水力坡度

每米管子长度的流体沿程压头损失，称为水力坡度(i)，水力坡度可按下式计算：

$$i=0.083\lambda\frac{q_v^2}{D_i^5}=0.051\lambda\frac{V^2}{D_i}$$

$$=0.045\lambda\sqrt{\frac{V^2}{q_v}},\quad mH_2O/m \qquad (7.1.1—5)$$

4.5 壁 厚

受内压的钢管，其最小壁厚(δ)应不小于按下式计算值：

4.5.1 我国《钢质海船入级与建造规范》公式：

$$\delta=\delta_0+b+c,mm \qquad (7.1.1—6)$$

* $1mH_2O=9806.65Pa$

式中：δ_0 ——基本计算壁厚，mm；

b ——弯曲附加余量，mm；

c ——腐蚀余量值，mm，由表 7.1.1—6 查得。

$$\delta_0=\frac{p_d D_w}{2[\sigma]_e+p_d}=\frac{p_d D_i}{2[\sigma]\cdot e-p_d}$$

式中： p_d——设计压力，MPa，其规定如下：

(1)锅炉蒸汽管取锅炉设计压力；

(2)锅炉给水管和上、下排污管取设计压力 1.25 倍，但不小于锅炉设计压力加 0.7MPa；

(3)空压机和往复式活塞泵(位移泵)排出侧管路，取保险阀开启压力；离心式泵取性能曲线上最高压力；

(4)管路中设有保险阀，取保险阀的开启压力；其他管路，取管内的工作压力，但锅炉的压力燃油管路至少取 1.6MPa；

D_0、D_i——管子外径、内径，mm；

l——焊接有效系数或焊缝系数，对无缝钢管、电阻焊和高频焊钢管取 1，其他方法制造的管子取 0.8。

表 7.1.1 6 **钢管腐蚀余量值(c)**

管路用途	c，mm	管路用途	c，mm
过热蒸汽管路	0.3	滑油管路	0.3
饱和蒸汽管路	0.8	燃油管路	1.0
货油舱蒸汽加热管路	2.0	货油管路	2.0
锅炉开式给水管路	1.5	制冷剂管路	0.3
锅炉闭式给水管路	0.5	淡水管路	0.8
锅炉排污管路	1.5	海水管路	3.0
压缩空气管路	1.0	冷藏货舱排水管路	2.0
液压油管路	0.3		

$[\sigma]$——钢管的许用应力(MPa)如下：

当管路内输送的介质温度<100℃时，$[\sigma]=\frac{\sigma_b}{2.7}$或$\frac{\sigma_s}{1.8}$，取其中的小值；

当管路输送的介质温度>100℃时，$[\sigma]=\frac{\sigma_{0.2}}{1.7}$或$\frac{\sigma_D^t}{1.7}$，取其中的小值。

式中： σ_b ——材料在常温下的抗拉强度下限值，MPa；

σ_s ——材料在常温下的屈服限下限值，MPa；

$\sigma_{0.2}$ ——材料在设计温度下屈服限或产生 0.2%残余变形时的屈服限下限值，MPa；

σ_D^t ——材料在设计温度下，经 10^5h 导致发生破断的平均应力，MPa。

在各种工作温度情况下无缝钢管的许用应力$[\sigma]$,也可按表 7.1.1—7 选用。

表 7.1.1—7　**碳钢无缝钢管和许用应力$[\sigma]$**

钢号	标定抗拉强度下限值,MPa	许用应力 $[\sigma]$,MPa															
		设计温度,℃															
		50	100	150	200	250	275	300	325	350	375	400	410	420	430	440	450
10	333	117	110	104	98	92	89	86	83	78	76	75					
20	392	140	132	127	121	112	107	101	97	92	89	86	85	79	70	62	53

弯曲附加余量 b,应不小于按下式计算值:

$$b=0.4\frac{D_o}{R}\delta_0$$

式中:R——平均弯曲半径,mm,通常不得小于 $3D_o$。

因上面的最小计算壁厚 δ 未考虑管子制造负偏差,所以,当有制造负偏差时,管子的公称壁厚(δ_N)不得小于按下式计算值:

$$\delta'_N=\frac{\delta}{1-\frac{a}{100}} \qquad (7.1.1\text{—}7)$$

式中:δ'_N——负偏差修正后的最小壁厚,mm;

a——制造负偏差与管子壁厚之比的百分数,船用无缝钢管(GB5312)负偏差与壁厚比值,见表 7.1.1—8。

表 7.1.1—8　**无缝钢管负偏差与壁厚比值**

钢管种类	管子壁厚 δ,mm	a,%	
		普通级	高级
热轧管	$3<\delta<20$	−15	−10
	$\delta>20$	−12.5	−10
	D>325 的热扩管	−15	
冷拔管	1.5~3.0	−10	−10
	$\delta>30$	−10	−10

4.5.2　英国劳氏(LR)船级社公式:

$$\delta=\left(\frac{pD_o}{2[\sigma]+p}+C\right)\frac{100}{100-c_1} \qquad (7.1.1\text{—}8)$$

式中:$[\sigma]$——钢管的许用应力(MPa)如下:

$$[\sigma]=\frac{\sigma_{0.2}}{1.6};\frac{\sigma_b}{2.7};\frac{\sigma_D^t}{1.6}。$$

弯曲加工的管子壁厚,则按下式计算:

$$\delta=\left(\frac{pD_o}{2[\sigma]+p}+c+c_2\right) \qquad (7.1.1\text{—}9)$$

$$c_2=\frac{1}{2.5}\cdot\frac{D_o}{R}\left(\frac{pD_o}{2[\sigma]+p}\right)$$

式中:R——从管子轴中心线的弯曲半径(平均弯曲半径),mm 通常不得小于 3Do;

c_2——弯管工艺变薄量，mm。

4.5.3 美国ABS(AB)船级社公式：

$$\delta=\delta_0+c_3$$

$$\delta_0=\frac{pD_o}{2[\sigma]+0.8p} \quad (7.1.1-10)$$

式中：c_3——附加余量，mm。$D_o<17mm, c_3=1.27mm; D_o>17mm, c_3=0.8\times$管端螺距，mm；$D_o<115mm, c_3=1.65mm; D_o>115mm, c_3=0$。

4.5.4 苏联和东欧国家等船级社公式：

$$\delta=\delta_0+c+c_2 \quad (7.1.1-11)$$

$$\delta_0=\frac{pD_o}{2[\sigma]+p}$$

$$c_2=\frac{1}{2.5}\cdot\frac{D_o}{R}\cdot\delta_0$$

式中：钢管的许用应力σ(MPa)如下：

$$\frac{\sigma_b}{2.7};\frac{\delta_{0.2}}{1.8};\frac{\sigma_D^t}{1.8};\frac{\sigma_c^t}{1.0}$$

σ_c^t——材料在设计温度下，经10^5h出现1%的总蠕变变形量时的平均应力，MPa。

4.6 局部阻力损失计算公式

管路附件的局部阻力损失，按下式计算：

$$h_j=0.5\zeta v^2\rho\left(=\zeta\cdot\frac{v^2}{2g}\right) \quad Pa(mH_2O) \quad (7.1.1-12)$$

式中：h_j——一个附件局部阻力压头损失Pa(mH^2O)；

ζ——局部阻力系数，见本章4.10.2节；

g——重力加速度，$9.81m/s^2$；

ρ——质量密度，kg/m^3。

4.7 直管摩擦阻力损失计算公式

1)圆管沿程压头损失ht，按下式计算：

$$h_t=0.5\cdot\lambda\cdot\frac{l}{D_i}v^2\rho\left(=\lambda\frac{l}{D_i}\cdot\frac{v^2}{2g}\right) \quad Pa(mH_2O) \quad (7.1.1-13)$$

式中：λ——管子摩擦阻力系数；

l——管子或管路长度，m。

2)正方形管沿程压头损失，按下式计算：

因为正方形管的$R_H=s/4$，则：

$$h_t=0.5\cdot\lambda\frac{l}{s}\cdot v^2\cdot\rho\left(=\lambda\cdot\frac{l}{s}\cdot\frac{v^2}{2g}\right) \quad Pa(mH_2O) \quad (7.1.1-14)$$

式中：S——正方形管的边长，m。

3)矩形管沿程压头损失，按下式计算：

因为矩形管的$R_H=\frac{ab}{2(a+b)}$，则

$$h_t=0.5\lambda\frac{l(a+b)}{a\cdot b}\cdot v^2\rho\left(=\lambda\cdot\frac{l(a+b)}{ab}\cdot\frac{v^2}{2g}\right) \quad Pa(mH_2O) \quad (7.1.1-15)$$

式中：a——矩形管的短边，m；

b——矩形管的长边，m。

4.8 当量长度和当量局部阻力系数

1）当量长度 l_e：

$$\because \frac{\lambda l_e}{D_i}\cdot\frac{v^2}{2g}=\sum\zeta\frac{v^2}{2g}$$

$$\therefore l_e=\frac{\sum\zeta D_i}{\lambda} \qquad (7.1.1-16)$$

$$\begin{aligned}\sum H &=\sum\frac{\lambda l}{D_i}\cdot\frac{v^2}{2g}+\sum\zeta\frac{v^2}{2g}\\ &=\sum l\cdot\frac{\lambda}{D_i}\cdot\frac{v^2}{2g}+\sum l_e\frac{\lambda v^2}{2gD_i}\\ &=\sum(l+l_e)\frac{\lambda v^2}{2gD_i}\\ &=\sum l_{re}\frac{\lambda v^2}{2gD_i}\end{aligned}$$

式中：l_{re}——折算长度，m；

D_i——管子内径，一般概算可用 D_N 代替。

2）当量局部阻力系数 ζ_e：

$$\because \sum\frac{\lambda l}{D_i}\cdot\frac{v^2}{2g}=\zeta_e\frac{v^2}{2g}$$

$$\therefore \zeta_e=\sum\frac{\lambda l}{D_i} \qquad (7.1.1-17)$$

$$\begin{aligned}\sum_H &=\sum\zeta_e\frac{v^2}{2g}+\sum\zeta\frac{v^2}{2g}\\ &=\sum(\zeta_e+\zeta)\frac{v^2}{2g}\\ &=\sum\zeta_{re}\cdot\frac{v^2}{2g}\end{aligned}$$

式中：ζ_{re}——折算局部阻力系数，即各种附件局部阻力系数总值与当量局部阻力系数之和。

4.9 各种阻力损失的累加原则

累加原则的实质，是总压力损失 H 为各种阻力所引起的损失的算术和，即直管段中的摩擦阻力压头损失之和 $\sum ht$ 与该区段内各局部阻力压头损失之和 $\sum hj$ 的算术和。

$$H=\sum ht+\sum hj=Kq_v^2,\text{Pa} \qquad (7.1.1-18)$$

式中：$K=\sum Ktl+\sum\zeta Kj$；

$Kt=\frac{16\times10^3\lambda}{2\pi^2D_i^5}$；

$Kj=\frac{16\times10^3}{2\pi^2D_i^4}$。

4.10 系数和允许流速

1）摩擦阻力系数（λ）的计算

表 7.1.1—9 **圆管摩擦系数λ的计算公式**

流体状态				λ的计算公式	
区段			Re的范围	光滑管 $\Delta=0$	粗糙管 $\Delta\neq0$
层流区			$Re<2320$	$\lambda=64/Re$(图 7.1.1—2);$\lambda=75/Re$①	
过渡区			$Re>2320$	$\lambda=1.01(\lg Re)^{-2.5}$	$\lambda=0.1\left(1.46\frac{\Delta}{D_i}+\frac{100}{Re}\right)^{0.25}$ $\varepsilon=\frac{\Delta}{D_i}=0.00008\sim0.0125$
紊流	流动光滑区	$Re\leqslant26.943\varepsilon^{-1.143}$	$3\times10^3<Re<10^5$	$\lambda=0.3164Re^{-0.25}$ $\lambda=(1.8\lg Re-1.64)^{-2}$ (图 7.1.1—3b)及(图 7.1.1—4A)	
			$10^5<Re<10^7$		$\lambda=0.3164Re^{-0.25}$,(图 7.1.1—3a) $\lambda=(1.8\lg Re-1.64)^{-2}$, (图 7.1.1—3b)及(图 7.1.1—4a)
			$Re>10^5$	$\lambda=0.0032+0.221Re^{-0.237}$ $\lambda=0.1387Re^{-0.18}$ $\frac{1}{\sqrt{\lambda}}=-2\lg(Re\sqrt{\lambda})-0.8$②	
	流动粗糙区	过渡区	$26.943\varepsilon^{-1.143}<Re\leqslant\frac{191.2}{\sqrt{\lambda}}\cdot\frac{1}{\varepsilon}$ 或$\frac{15}{\varepsilon}<Re<\frac{560}{\varepsilon}$		$\lambda=1.42(\lg\frac{Re}{\Delta}D_i)^{-2}$ $\lambda=0.1(1.46\frac{\Delta}{D_i}+\frac{100}{Re})^{0.25}$ $\lambda=\left[-2\lg\left(\frac{\Delta}{3.7D_i}+\frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}}\right)\right]^{-2}$ 或$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}=2\lg\left(\frac{\Delta}{3.7D_i}+\frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}}\right)$⑤
		阻力平方区	$Re>\frac{191.2}{\sqrt{\lambda}}\cdot\frac{1}{\varepsilon}$ 或 $Re>\frac{560}{\varepsilon}$		$\lambda=\left(1.74+2\lg\frac{D_i}{2\Delta}\right)^{-2}$ $=\left(1.74-2\lg\frac{2\Delta}{D_i}\right)^{-2}$ $\lambda=\left(1.14+2\lg\frac{D_i}{\Delta}\right)^{-2}$ $=\left(1.14-2\lg\frac{\Delta}{D_i}\right)^{-2}$ $\lambda=0.25\left[\lg\left(\frac{3.7D_i}{\Delta}\right)\right]^{-2}$

① 常用于油管或液压传动管路计算；

② 适用于 Re 接近于 4×10^6 更大的流动状态；

③ 经研究分析和实验比较，认为对光滑管的λ计算最佳公式为：当 $Re<2320$ 层流状态时，用 $\lambda=64Re^{-1}$公式；当 $2320<Re<10^5$ 紊流状态时，用 $0.3164Re^{-0.25}$公式；当 $Re>10^5$ 紊流状态时，用 $0.0032+0.221Re^{-0.237}$公式；

④ 船舶管系中的水管几乎都是粗糙管，而且在管中的流动状态均为紊流状态。粗糙管的λ计算最佳公式：过渡区用 $\lambda=0.1(1.46\varepsilon+100Re^{-1})^{0.25}$公式；阻力平方区用 $\lambda=(1.14+2\lg\varepsilon)^{-2}$公式；

⑤ 为计算方便，可简写成 $\lambda=-2\lg\left(\frac{\Delta}{3.8D_i}+\frac{5.1}{Re^{0.89}}\right)$，误差一般在 0.5%左右，其计算结果，列于表 7.1.1—[illegible]中；

⑥ 各种材料管子的Δ，见表 7.1.1—13

(1)圆形管的 λ：在 Re＝10^5～10^8 时，λ 与 Re 无关。

$$\lambda=f\left(Re\cdot\frac{\Delta}{D_i}\right) \tag{7.1.1—19}$$

当 Δ≠0 时，λ＝f(Re)

式中：Δ ——管子的绝对粗糙度，mm；

Re——雷诺数。

圆管的 λ，可按表 7.1.1—9 中公式计算或由实管试验结果的图 5.1.1—2～4A）直接查得。

表 7.1.1—10　**两公式计算结果比较**

Re	$\varepsilon=\frac{\Delta}{D_i}$	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}=-2\lg\left(\frac{\Delta}{3.7D_i}+\frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}}\right)$	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}=-2\lg\left(\frac{\Delta}{3.8D_i}+\frac{5.1}{Re^{0.89}}\right)$	误差%
		λ	λ	
1×10^4	0.001	0.032417	0.032398	−0.06
	0.0001	0.031078	0.030901	−0.57
	0	0.030924	0.030726	−0.64
1×10^5	0.001	0.022179	0.022243	−0.29
	0.0001	0.018530	0.018426	−0.56
	0	0.018009	0.017850	−0.88
1×10^6	0.001	0.019939	0.019917	−0.10
	0.0001	0.013445	0.013494	0.37
	0	0.011655	0.011650	−0.04
1×10^7	0.001	0.013659	0.019562	−0.49
	0.0001	0.012163	0.012168	0.03
	0	0.008109	0.008198	1.09
1×10^8	0.001	0.019630	0.019516	−0.58
	0.0001	0.011995	0.011952	−0.36
	0	0.005931	0.006080	0

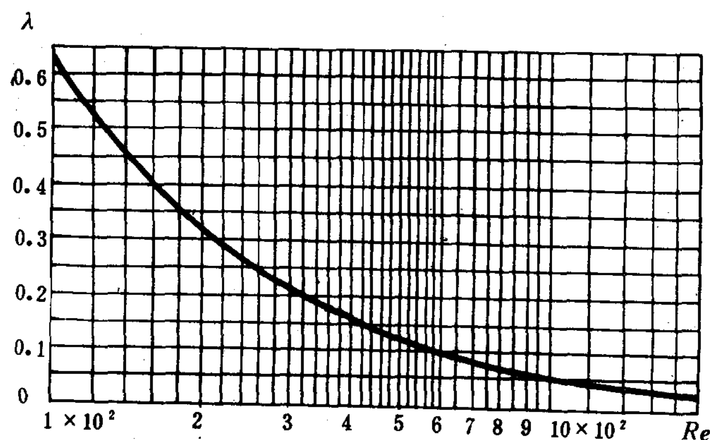


图 7.1.1—2　圆管的 λ 值

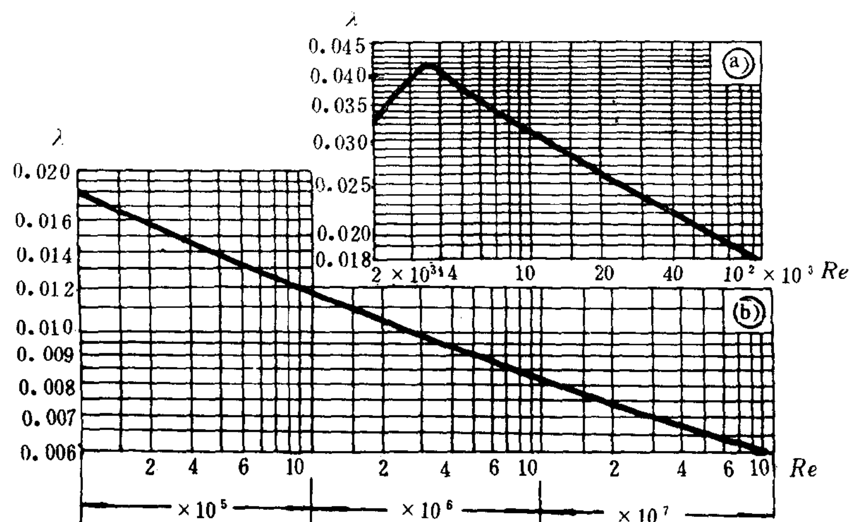


图 7.1.1—3 圆管的λ值

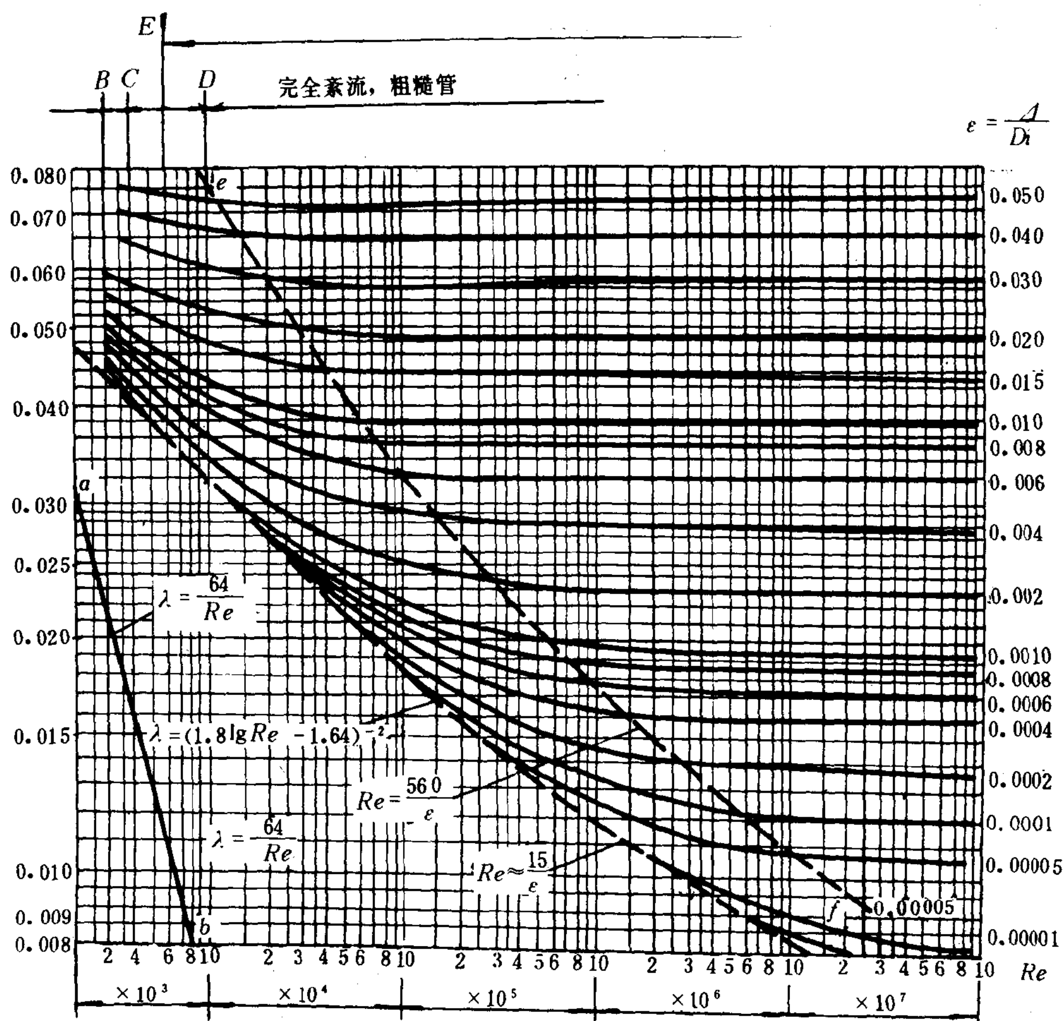


图 7.1.1—4a) 圆管的λ值

B—层流区；BC—临界区；CD—过渡区；E—紊流区

说明：ab 线左方为层流区，该直线方程式为 λ=64/Re；ab 到 ef 两线之间为过渡区和过度粗糙区；ef 线右方为阻力平方区和阻力平方粗糙区。

(2)方形管的 λ：

1 层流：

$$\lambda=k_1\frac{64}{Re'} \qquad (7.1.1\text{—}20)$$

式中：R'_e —— 以水力直径(D_H)为特征长度的雷诺数$\left(R'_e=\frac{vD_h}{\upsilon}\right)$；

k_1 —— 形状系数，见表 7.1.1—11。

表 7.1.1—11 **形状系数(k_1)**

截面形状 / 形状系数	正方形管	矩形管
	b_s 15×15 b_s	b 15×25 a
k_1	$2/cb_s$	$8b/c(a+b)^2$

注：表中 C 值，见表 7.1.1—12。

表 7.1.1—12 **C 值**

b/a	1*	1.25	1.5	2	3	4	5	6	7	8	10	12	100	∞
c	2.253	2.749	3.132	3.664	4.230	4.498	4.665	4.777	4.842	4.916	5.000	5.059	5.299	5.333
k_1	0.888	0.898	0.919	0.970	1.070	1.137	1.190	1.230	1.278	1.285	1.322	1.348	1.480	1.498

* b/a=1=bs/bs 即正方形管。

表 7.1.1—13a) **各种材料管子的 Δ 值**

管子	Δ 值
新的工艺光滑紫铜管、黄铜管及塑料管	0.0015~0.01
新的工艺光滑铝合金管和低合金钢管	0.0015~0.06
新的清洁的无缝钢管	0.02~0.1
无缝钢管：	
使用多年后而又清洗过的	<0.04
过热蒸汽管路的	0.1
饱和蒸汽管路的	0.2
水暖系统的	0.2
输油管路的	0.2
定期使用的蒸汽管路的	0.5
压缩空气管路的	0.8
焊接钢管：	
新的和使用过的	0.04~0.1
新的清洁的镀锌的	0.07~0.1
新的粗糙的镀锌的	0.5
使用过而均匀腐蚀的	0.15
新的钢板卷制焊接镀锌的	0.15

续上表

管　　子	Δ　值
铸铁管：	
新的	0.25～1.0
使用过的	1.0～1.5
消防水带：	
橡胶的	0.2～0.4
苎麻涂胶的	0.5～0.8

②紊流：表 7.1.1—9 所列各公式中的 Re 用 Re′代替，即可近似地求得方形管的 λ 值。

2）附件局部阻力系数（ζ）

局部阻力系数的大小，主要与附件形状有关，在某种条件下，同时又与雷诺数和相对粗糙度有关。通常，$Re>10^6$ 时，ζ 与 Re 无关。由于这些原因，各国的试验资料，差异较大，这里收集的 ζ 值，主要来自日本、德国和前苏联等国家的资料，以供计算时之参考。

由局部阻力所产生的压头损失，它有达到系统中总压头损失的 90%～95%，这是船舶系统管路与陆用管路的区别地方。

1）进口和出口

（1）各种形式进口的 ζ 值：

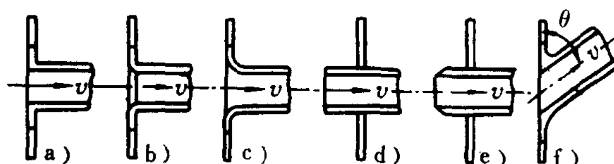


图 7.1.1—4b)(a～f)

a)ζ=0.5；b)ζ=0.25；c)ζ=0.05～0.06；d)ζ=0.56；e)ζ=1.3～3.0；f)$\zeta=0.5+0.3\cos\theta+0.2\cos^2\theta$（见表 7.1.1—13b）

表 7.1.1—13b)　　$\zeta=0.5+0.3\cos\theta+0.2\cos^2\theta$ 值

项　目	$\zeta=0.5+0.3\cos\theta+0.2\cos^2\theta$					
θ°	20	30	45	60	70	80
ζ	0.959	0.910	0.812	0.700	0.626	0.558

g）倒角进口的 ζ 值，见表 7.1.1—14。

表 7.1.1—14　　**倒角进口的 ζ 值**

θ°	b/D_i					
	0.025	0.050	0.075	0.100	0.150	0.600
0	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
10	0.47	0.45	0.42	0.39	0.37	0.27
20	0.45	0.41	0.35	0.32	0.27	0.18
30	0.43	0.36	0.30	0.25	0.20	0.13
40	0.41	0.33	0.26	0.22	0.16	0.11

θ°		b/Di					
		0.025	0.050	0.075	0.100	0.150	0.600
	60	0.40	0.30	0.23	0.18	0.15	0.12
	90	0.41	0.33	0.28	0.25	0.23	0.21
	100	0.42	0.35	0.30	0.27	0.25	0.23
	120	0.43	0.38	0.35	0.33	0.31	0.29
	140	0.45	0.42	0.40	0.38	0.37	0.36
	18	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

注：Re>10⁴。

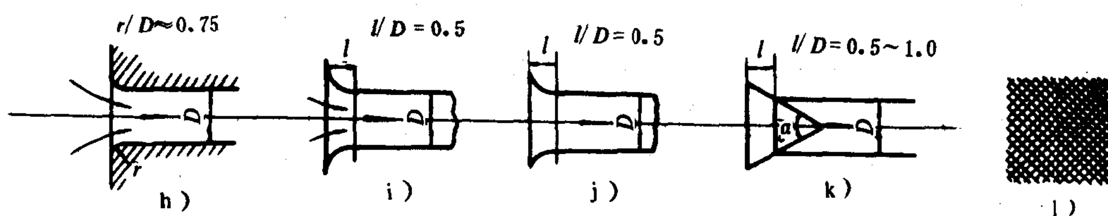


图 7.1.1—4b)(h—l)

h)ζ=0.1；i)ζ=0.02；j)ζ=0.03；k)ζ=0.05；l)ζ=0.1

(2)各种形式出口的ζ值

①扩张圆锥出口的ζ值，见表 7.1.1—15。

表 7.1.1—15　**扩张圆锥出口的ζ值**

$\frac{l}{D_i}$		θ°，Re>2×10³									
		2	4	6	8	10	12	16	20	24	30
	1	1.30	1.15	1.30	0.90	0.80	0.73	0.59	0.55	0.55	0.58
	2	1.13	0.91	0.73	0.60	0.52	0.46	0.41	0.42	0.49	0.62
	4	0.86	0.57	0.42	0.34	0.29	0.27	0.29	0.35	0.47	0.66
	6	0.49	0.34	0.25	0.22	0.20	0.22	0.29	0.38	0.50	0.67
	10	0.40	0.20	0.15	0.14	0.16	0.18	0.26	0.35	0.45	0.60

②收缩圆锥出口的ζ值，见表 7.1.1—16

表 7.1.1—16　**收缩圆锥出口的ζ值**

	$\zeta=1.05\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^4$，Re>2×10³										
	D_1/D_2	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
	ζ	2.18	4.03	6.88	11.02	16.80	24.60	34.80	47.98	64.54	85.05

③锐边孔出口的ζ值，见表 7.1.1—17。

表 7.1.1—17　　　　　　　　　　　　**锐边孔出口的ζ值**

A_2/A_1	0.11	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
ζ	268	66.5	28.9	15.5	9.81	5.80	3.70	2.38	1.56

④渐扩圆管出口的ζ值，见表 7.1.1—18。

表 7.1.1—18　　　　　　　　　　　　**渐扩圆管出口的ζ值**

D_2/D_1	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.40	1.45	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00
ζ_1	0.05	0.07	0.10	0.12	0.15	0.17	0.20	0.22	0.24	0.27	0.31	0.34	0.36	0.38
ζ_2	0.07	0.13	0.21	0.31	0.43	0.58	0.77	0.97	1.22	/	/	/	/	/

注 ζ_1 是 1—1 截面内在 V_1 下的阻力系数；ζ_2 是 2—2 截面内在 V_2 下的阻力系数。

⑤渐缩圆管出口的ζ值，见表 7.1.1—19。

表 7.1.1—19　　　　　　　　　　　　**渐缩圆管出口的ζ值**

D_1/D_2	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.40	1.45	1.50	>1.5
ζ_1	0.06	0.08	0.10	0.12	0.15	0.18	0.22	0.26	0.31	/
ζ_2	0.04	0.045	0.05	0.05	0.055	0.055	0.06	0.06	0.065	0.07

⑥流入大舱(柜)出口的ζ值，见表 7.1.1—20。

表 7.1.1—20　　　　　　　　　　　　**流入大舱出口的ζ值**

$\zeta=1$

⑦突然扩大出口的ζ值，见表 7.1.1—21。

表 7.1.1—21　　　　　　　　　　　　**突然扩大出口的ζ值**

$$\zeta=\left(\frac{A_1}{A_2}-1\right)^2$$

A_1/A_2	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
ζ	0.81	0.64	0.49	0.36	0.25	0.10	0.09	0.04	0.01

⑧突然缩小出口的ζ值，见表 7.1.1—22。

表 7.1.1—22　　　　　　　　　　　　**突然缩小出口的ζ值**

$$\zeta=0.5\left(1-\frac{A_2}{A_1}\right)$$

A_2/A_1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
ζ	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

⑨渐缩短管的ζ值，按下式计算和查曲线：

$$\alpha=2\tan'\left(\frac{D_1-D_2}{2l}\right)$$

2)各种弯头

(1)焊制弯头

焊制弯头的ζ值，见表 7.1.1—23。

表 7.1.1—23 **焊制弯头的ζ值**

0°	10°	15°	22.5°	30°	45°	60°	90°
$\zeta s=0.016$ $\zeta r=0.024$	$\zeta s=0.034$ $\zeta r=0.044$	$\zeta s=0.042$ $\zeta r=0.062$	$\zeta s=0.066$ $\zeta r=0.154$	$\zeta s=0.103$ $\zeta r=0.165$	$\zeta s=0.236$ $\zeta r=0.320$	$\zeta s=0.471$ $\zeta r=0.684$	$\zeta s=1.129$ $\zeta r=1.265$
$\zeta s=0.112$ $\zeta r=0.284$	$\zeta s=0.150$ $\zeta r=0.268$	$\zeta s=0.143$ $\zeta r=0.227$	$\zeta s=0.108$ $\zeta r=0.236$	$\zeta s=0.188$ $\zeta r=0.320$	$\zeta s=0.202$ $\zeta r=0.323$	$\zeta s=0.400$ $\zeta r=0.534$	$\zeta s=0.400$ $\zeta r=0.601$

45°—45°：

a/D	ζ_s	ζ_r
0.710	0.507	0.510
0.943	0.350	0.415
1.174	0.333	0.384
1.420	0.261	0.377
1.500	0.280	0.376
1.860	0.289	0.390
2.530	0.356	0.429
3.140	0.356	0.426
3.72	0.356	0.460
4.89	0.389	0.455
5.59	0.392	0.444
6.28	0.399	0.444

22.5°×4：

a/D	ζ_s	ζ_r
1.186	0.120	0.294
1.40	0.125	0.252
1.50	—	0.250
1.63	0.124	0.266
1.86	0.117	0.272
2.325	0.096	0.317
2.40	0.095	—
2.91	0.108	0.317
3.49	0.130	0.318
4.65	0.148	0.310
6.05	0.142	0.313

30°×3：

a/D	ζ_s	ζ_r
1.23	0.195	0.347
1.44	0.196	0.320
0.167	0.150	0.300
1.70	0.149	0.299
1.91	0.154	0.312
2.37	0.167	0.337
2.96	0.172	0.342
4.11	0.190	0.354
4.70	0.192	0.360
6.10	0.201	0.360

30°—30°：

a/D	ζ_s	ζ_r
1.23	0.157	0.300
1.67	0.156	0.378
2.37	0.143	0.264
3.77	0.160	0.242

① 注脚 s 表示光滑管焊接的，r 表示粗糙管焊接的；

② 表格中的ζ值为最小的 a/D 时的数值；

③ $Re\approx2.25\times10^5$；

④ 或用 $\zeta=0.946\sin^2(\frac{2}{\theta})+2.047\sin^4(\frac{\theta}{2})$ 计算，其得出值比图表中的值略小。

(2)焊制对称中间弯头的ζ值，见表 7.1.1—24～26。

表 7.1.1—24 **中间弯头的ζ值**

	a/D		0.25	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
焊制对称中间单接弯头	ζ_s	光滑	0.90	0.67	0.35	0.28	0.30	0.34	0.35	0.38	0.40
	ζ_r	粗糙	0.95	0.71	0.40	0.37	0.39	0.41	0.44	0.45	0.46

表 7.1.1—25 **中间弯头的ζ值**

	a/D		1.2	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	≥4
焊制对称中间双接弯头	ζ_s	光滑	0.20	0.16	0.15	0.16	0.17	0.18	0.18
	ζ_r	粗糙	0.35	0.31	0.32	0.34	0.35	0.35	0.35

表 7.1.1—26 **中间弯头的ζ值**

	a/D		1.2	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	≥4
焊接对称中间三接弯头	ζ_s	光滑	0.13	0.12	0.10	0.10	0.11	0.13	0.15
	ζ_r	粗糙	0.30	0.26	0.28	0.32	0.32	0.32	0.32

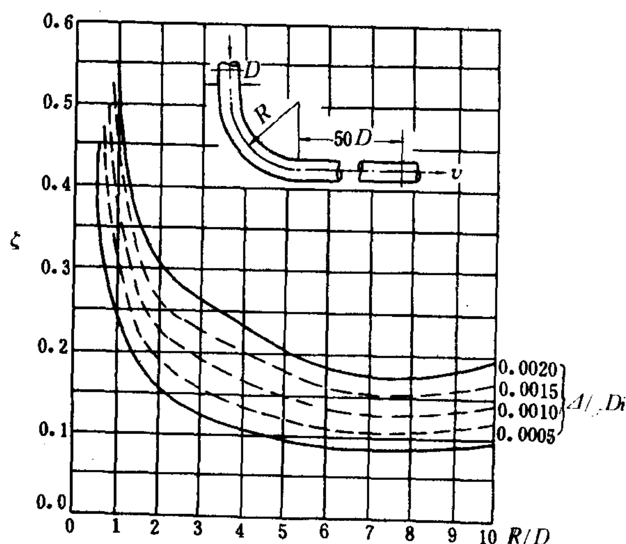


图 7.1.1—5a)

(3)焊制折角弯管,见表 7.1.1—27。

(4)90°弯管的ζ值,可由图 7.1.1—5a)的曲线查得。

表 7.1.1—27　　　　　　　　　　**焊接折角弯管的ζ值**

	θ°	20	30	40	50	60	80	90	100	120	140
	ζ	0.03	0.07	0.14	0.23	0.36	0.71	0.98	1.26	1.86	2.43

(5)勾滑圆管弯头的ζ值见表 7.1.1—28

表 7.1.1—28　　　　　　　　　　**勾滑圆管弯头的ζ值**

$\zeta=k\zeta 90, Re>105$

θ°	20	30	40	50	60	70	80
k	0.40	0.55	0.65	0.75	0.83	0.88	0.95
$\zeta=k\zeta_{90}, Re>10^5$							
θ°	90	100	120	140	160	180	/
k	1.0	1.05	1.13	1.20	1.27	1.33	/
R/D			1	2	4	6	10
ζ_{90}	光滑管		0.22	0.14	0.11	0.08	0.11
	粗糙管		0.52	0.28	0.23	0.18	0.20

(6)折角弯管的ζ值,可由下面曲线查得:

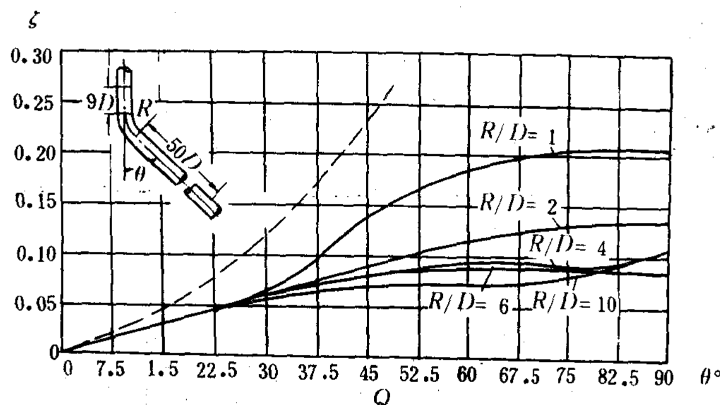


图 7.1.1—5b)

3)分流、汇流三通接管

(1)各种分汇流三通管

$\Delta hj=\zeta\frac{v^2}{2g}$

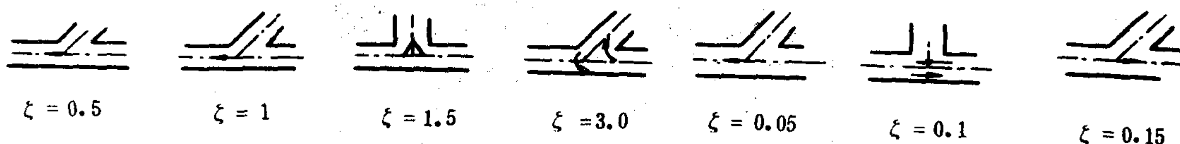


图 7.1.1—5c)

(2)分流三通管

侧支管的压头损失 $\Delta hj_1=\zeta_{1-3}\frac{v_3^2}{2g}$

直支管的压头损失 $\Delta h_{j2}=\zeta_{1-2}\frac{v_3^2}{2g}$

①$F_3+F_2=F_1$，$\alpha=0\sim90°$的分流三通的侧支管的 ζ_{1-3}值，见表 7.1.1—29 及 30。

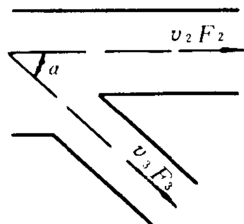


图 7.1.1—5d)

表 7.1.1—29　**三通侧支管的 ζ_{1-3}值**

F_3/F_1 α	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8
15	0.81	0.65	0.51	0.38	0.28	0.19	0.06
30	0.84	0.69	0.56	0.44	0.34	0.26	0.16
45	0.87	0.74	0.63	0.54	0.45	0.38	0.28
60	0.90	0.82	0.79	0.66	0.59	0.53	0.43
90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

表 7.1.1—30　**三通侧支管的 ζ_{1-3}值**

F_3/F_1 α	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	
15	0.03	0.06	0.13	0.35	0.63	0.98	
30	0.11	0.13	0.23	0.37	0.60	0.89	
45	0.23	0.22	0.28	0.38	0.53	0.73	
60	0.36	0.32	0.31	0.33	0.37	0.44	
90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	

②$F_3+F_2>F_1$ 和 $F_3+F_2=F_1$，$\alpha=0\sim90°$ 的分流三通的直通管的 ζ_{1-2}值，见表 7.1.1—31。

第 1 种：$F_3+F_2>F_3$　　第 2 种：$F_3+F_2=F_1$

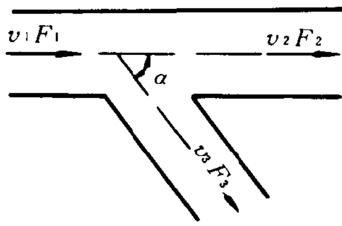


图 7.1.1—5e)

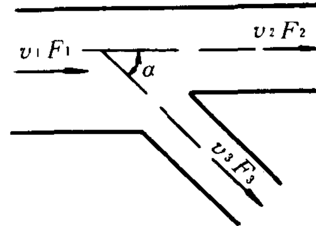


图 7.1.1—5f)

表 7.1.1—31 **三通直通管的ζ_{1-2}值**

α	第1种	第2种					
	15～90°	15～60°	90°				
v_2/v_1	F_2/F_1						
	0～1.0	0～1.0	0～0.4	0.5	0.6	0.7	>0.8
0	0.40	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.1	0.32	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
0.2	0.26	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
0.3	0.20	0.50	0.50	0.52	0.52	0.50	0.50
0.4	0.15	0.36	0.36	0.40	0.38	0.37	0.36
0.5	0.10	0.25	0.25	0.30	0.28	0.26	0.25
0.6	0.06	0.16	0.16	0.23	0.20	0.18	0.16
0.8	0.02	0.04	0.04	0.16	0.12	0.07	0.04
1.0	0.00	0.00	0.00	0.20	0.10	0.05	0.00
1.2	—	0.07	0.07	0.36	0.21	0.14	0.07
1.4	—	0.39	0.39	0.78	0.59	0.49	
1.6	—	0.90	0.90	1.36	1.15	—	—
1.8	—	1.78	1.78	2.43	—	—	—
2.0	—	3.20	3.20	4.00	—	—	—

(3)汇流三通管的ζ值

汇流三通管的ζ值,见表 7.1.1—32。

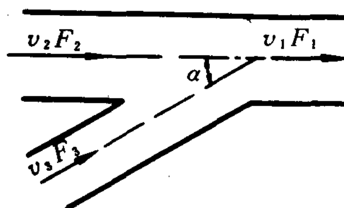


图 7.1.1—5g)

表 7.1.1-32 汇流三通管的ζ值

名称	条件	Q_3/Q_1	F_3/F_1 0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	1.0
侧支管的ζ_{1-3}值	$F_3+F_2>F_1$；$F_2=F_1$；$\alpha=30°$	0	−1.00	−1.00	−1.00	−1.00	−1.00	−1.00	−1.00
		0.1	−0.21	−0.46	−0.57	−0.60	−0.62	−0.63	−0.63
		0.2	3.10	+0.37	−0.06	−0.20	−0.28	−0.30	−0.35
		0.3	7.60	1.50	+0.50	+0.20	+0.05	−0.08	−0.10
		0.4	13.5	2.95	1.15	0.59	0.26	+0.18	+0.16
		0.5	21.2	4.58	1.78	0.97	0.44	0.35	0.27
		0.6	30.4	6.42	2.60	1.37	0.64	0.46	0.31
		0.7	41.3	8.50	3.40	1.77	0.76	0.50	0.40
		0.8	53.8	11.5	4.22	2.14	0.85	0.53	0.45
		0.9	58.0	14.2	5.30	2.58	0.89	0.52	0.40
		1.0	83.7	17.3	6.33	2.92	0.89	0.39	0.27
直通管的ζ_{1-2}值	$F_3+F_2>F_1$；$F_2=F_1$；$\alpha=30°$	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		0.1	+0.02	0.11	0.13	0.15	0.16	0.17	0.17
		0.2	−0.33	+0.01	0.13	0.19	0.24	0.27	0.29
		0.3	−1.10	−0.25	−0.01	0.10	0.22	0.30	0.35
		0.4	−2.15	−0.75	−0.30	−0.05	0.17	0.26	0.36
		0.5	−3.60	−1.43	−0.70	−0.35	0.00	0.21	0.32
		0.6	−5.40	−2.35	−1.25	−0.70	−0.20	0.06	0.25
		0.7	−7.60	−3.40	−1.95	−1.20	−0.50	−0.15	−0.10
		0.80	−10.10	−4.61	−2.74	−1.82	−0.90	−0.43	−0.15
		0.9	−13.00	−6.02	−3.70	−2.55	−1.40	−0.80	−0.45
		1.0	−16.30	−7.70	−4.75	−3.35	−1.90	−1.17	−0.75
侧支管的ζ_{1-3}值	$F_3+F_2>F_1$；$F_2=F_1$；$\alpha=45°$	0	−1.00	−1.00	−1.00	−1.00	−1.00	−1.00	−1.00
		0.1	0.24	−0.45	−0.56	−0.59	−0.61	−0.62	−0.62
		0.2	3.15	0.54	−0.02	−0.17	−0.26	−0.28	−0.29
		0.3	8.00	1.64	0.60	0.30	0.08	0.00	−0.03
		0.4	14.0	3.15	1.30	0.72	0.35	0.25	0.21
		0.5	21.9	5.00	2.10	1.18	0.60	0.45	0.40
		0.6	31.6	6.90	2.97	1.65	0.85	0.60	0.53
		0.7	42.9	9.20	3.90	2.15	1.02	0.70	0.60
		0.8	55.9	12.4	4.90	2.66	1.20	0.79	0.66
		0.9	70.6	15.4	6.20	3.20	1.30	0.80	0.64
		1.0	86.9	18.9	7.40	3.71	1.42	0.80	0.59

续上表

名称	条件	Q_3/Q_1	F_3/F_1						
			0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	1.0
直通管的ζ_{1-2}值	$F_3+F_2>F_1$，$F_2=F_1$；$\alpha=45°$	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.1	0.05	0.12	0.14	0.16	0.17	0.17	0.17
		0.2	−0.20	0.17	0.22	0.27	0.27	0.29	0.31
		0.3	−0.70	−0.13	0.08	0.20	0.28	0.32	0.40
		0.4	−1.65	−0.50	−0.12	0.08	0.26	0.36	0.41
		0.5	−2.77	−1.00	−0.49	−0.13	0.16	0.30	0.40
		0.6	−4.30	−1.70	−0.87	−0.45	−0.04	0.20	0.33
		0.7	−6.05	−2.60	−1.40	−0.85	−0.25	0.08	0.25
		0.8	−8.10	−3.56	−2.10	−1.30	−0.55	−0.17	0.06
		0.9	−10.00	−4.75	−2.80	−1.90	−0.88	−0.40	−0.18
		1.0	−13.20	−6.10	−3.70	−2.55	−1.35	−0.77	−0.42
侧支管的ζ_{1-3}	$F_3+F_2>F_1$，$F_2=F_1$；$\alpha=60°$	0	−1.00	−1.00	−1.00	−1.00	−1.00	−1.00	−1.00
		0.1	0.26	−0.42	−0.54	−0.58	−0.61	−0.62	−0.62
		0.2	3.35	0.55	0.03	−0.13	−0.23	−0.26	−0.26
		0.3	8.20	1.85	0.72	0.40	0.10	0.00	−0.01
		0.4	14.7	3.50	1.55	0.92	0.45	0.35	0.28
		0.5	23.0	5.50	2.40	1.44	0.78	0.58	0.50
		0.6	33.1	7.90	3.50	2.05	1.08	0.80	0.68
		0.7	44.9	10.0	4.60	2.70	1.40	0.98	0.84
		0.8	58.5	13.7	5.80	3.32	1.64	1.12	0.92
		0.9	78.9	17.2	7.65	4.05	1.92	1.20	0.99
		1.00	91.0	21.0	9.70	4.70	2.11	1.35	1.00
直通管的ζ_{1-3}值	$F_3+F_2>F_1$，$F_2=F_1$；$\alpha=60°$	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.1	0.09	0.14	0.16	0.17	0.17	0.18	0.18
		0.2	0.00	0.16	0.23	0.26	0.29	0.31	0.32
		0.3	−0.40	0.06	0.22	0.30	0.32	0.41	0.42
		0.4	−1.00	−0.16	0.11	0.24	0.37	0.44	0.48
		0.5	−1.75	−0.50	−0.08	0.13	0.33	0.44	0.50
		0.6	−2.80	−0.95	−0.35	−0.10	0.25	0.40	0.48
		0.7	−4.00	−1.55	−0.70	−0.30	0.08	0.28	0.42
		0.8	−5.44	−2.24	−1.17	−0.64	−0.11	−0.16	0.32
		0.9	−7.20	−3.08	−1.70	−1.02	0.38	−0.08	0.18
		1.0	−9.00	−4.00	−2.30	−1.50	−0.68	−0.28	0.00

4）膨胀节或补偿器

（1）填料函式膨胀节的ζ值，见表 7.1.1—33a

表 7.1.1—33a　**填料函式膨胀节的ζ值**

图	ζ值
v_0F_0	ζ=0.2

(2)无导向管的波形膨胀节的ζ值，见表 7.1.1—33b。

表 7.1.1—33b　**无导向管的波形膨胀节的ζ值**

波数	公称通径 $D_N$mm								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
单波	1.7	1.5	1.3	1.2	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6
双波	3.4	3.0	2.7	2.3	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3
三波	5.1	4.5	4.0	3.5	3.0	2.6	2.3	2.2	1.9
四波	6.8	6.0	5.2	4.8	4.0	3.5	3.2	2.8	2.5

(3)有导向管的波形膨胀节的ζ值，见表 7.1.1—34

表 7.1.1—34　**有导向管的波形膨胀节的ζ值**

各种波数和口径的ζ=0.1

(4)光滑Ω形膨胀节的ζ值见表 7.1.1—35。

表 7.1.1—35　**光滑Ω形膨胀节的ζ值**

$\frac{R_1}{D_0}\approx6$；$\frac{R_2}{D_0}\approx5$

D_N,mm	50	100	150	200	250	300	400	500
ζ	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.4	2.6

(5)有褶皱Ω形膨胀节的ζ值，见表 7.1.1—36。

表 7.1.1－36　　**有褶皱 Ω 形膨胀节的 ζ 值**

	$\frac{R_1}{D_0}\approx6$；$\frac{R_2}{D_0}\approx6$					
D_N，mm	50	100	200	300	400	500
ζ	2.0	2.2	2.5	2.8	3.1	3.5

(6)波纹管 Ω 形膨胀节的 ζ 值，见表 7.1.1—37。

表 7.1.1—37　　**波形管 Ω 形膨胀节的 ζ 值**

	$\frac{R_1}{D_0}\approx5$；$\frac{R_2}{D_0}\approx3$					
D_N，mm	50	100	200	300	400	500
ζ	3.0	3.3	3.7	4.2	4.6	5.0

(7)冂形膨胀节的 ζ 值，见表 7.1.1—38。

表 7.1.1—38　　**冂形膨胀节的 ζ 值**

D_N，mm	50	100	200	300	400	500
ζ	2.0	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9

(8)S 形膨胀节的 ζ 值，见表 7.1.1—39

表 7.1.1—39　　**S 形膨胀节的 ζ 值**

L/D_0	3	3～5	5～8	>8
ζ	1.8	1.5	1.3	1.0

5)阀件

(1)截止阀和止回阀类，见表 7.1.1—40 和 7.1.1—41。

表 7.1.1—40　**截止阀和止回阀类的ζ值**(原苏联数据)

图形	名称	公称通径 D_N, mm	公称压力 P_N MPa	阀盘开启高度 mm	ζ 从阀盘下往上流	ζ 从阀盘上往下流	备注
	外螺纹式钢、黄铜、青铜截止阀	6	<10	5	5.2	—	当阀体内部光洁度不良或机加工有缺陷时
		10	<10	7	5.4	—	
		15	<10	10	4.8	—	
		20	<10	12	4.9	—	
		25	<10	14	5.4	—	
	外螺纹式黄铜、青铜铜截止阀	10	<0.6	6	2.6	—	表中ζ系数值应增加10%~15%
		15	<4	10	3.4	—	
		20	<4	12	2.3	—	
		25	<4	14	3.1	—	

续上表

图形	名称	公称通径 D_N, mm	公称压力 P_N MPa	阀盘开启高度 mm	ζ		备注
					从阀盘下往上流	从阀盘上往下流	
	外螺纹式钢、黄铜、青铜截止阀	6	<10	5	2.7	—	
		10	<10	7	2.2	—	
		15	<10	10	2.7	—	
		20	<10	12	2.7	—	
	外螺纹式钢、黄铜、青铜截止止回阀	10	<4	7	9	—	
		15	<4	10	6	—	
		20	<4	12	8	—	
		20	<4		—		
		25	<4	14	10	-	

图形	名称	公称通径 D_N，mm	公称压力 P_N MPa	阀盘开启高度 mm	ζ 从阀盘下往上流	ζ 从阀盘上往下流	备注
	青铜截止阀 法兰式钢、黄铜、	20	<4	7	5.1	5.3	表中的ζ值是阀体如材料为黄铜或者铜时、
		25	<4	8	7.1	7.1	
	青铜截止止回阀 法兰式钢黄铜、	30	<4	10	6.8	665	表中的ζ值是阀体材
		50	<4	15	4.7	5.7	
	青铜止回阀 法兰式铸铁、钢、黄铜	50	<4	18	6.1	6.7	表中的ζ值是阀体材料为铸钢时的数值，如材料为黄铜或青铜时，
		65	<4	21	6.3	7.5	
		80	<4	24	5.4	5.6	
		100	<4	30	4.8	5.0	
		125	<4	38	5.2	5.7	
		150	<4	51	5.4	6.0	
		175	<4	52	5.9	6.2	
		200	<4	60	6.0	6.3	
	青铜消防阀 法兰式黄铜、	25	<2.5	8	3.4		
		40	<2.5	1[illegible]	3.5		
		50	<2.5	14	4.6		
		65	<2.5	18	<4.8		
		80	<2.5	21	4.2		

续上表

图形	名称	公称通径 D_N, mm	公称压力 P_N MPa	阀盘开启高度 mm	ζ 从阀盘下往上流	ζ 从阀盘上往下流	备注
	法兰式钢黄铜、青铜直角截止阀	20	<40	7	2.4	3.2	其值应减小20%~25%
		25	<40	8	3.4	4.2	
		32	<40	13	2.4	3.4	
	法兰式钢黄铜、青铜直角截止止回阀	50	<4	15	2.4	3.4	
		65	<4	21	2.7	3.3	
	法兰式钢、黄铜、青铜直角止回阀	80	<4	24	2.5	3.4	
		100	<4	30	2.7	2.9	
		125	<4	38	2.7	2.9	
		150	<4	51	2.6	2.8	
		175	<4	52	2.8	2.9	

续上表

图形	名称	公称通径 D_N, mm	公称压力 P_N MPa	阀盘开启高度 mm	ζ 从阀盘下往上流	ζ 从阀盘上往下流	备注
		200	<4	60	3.0	2.9	
	法兰式钢、青铜直角截止截止阀	50	<2.5	15	2.3	3.3	
		65	<2.5	21	26	3.2	
		80	<2.5	2.4	2.5	3.3	
		100	<2.5	30	2.6	2.8	
	法兰式黄铜、青铜直角截止阀	32	<2.5	15	2.2	2.5	
		40	<2.5	20	1.8	2.8	
		50	<2.5	27	2.0	2.8	
		65	<2.5	32	2.6	3.1	
		80	<2.5	36	2.1	2.4	
		100	<2.5	45	2.2	2.3	
	法兰式黄铜、青铜直角消防阀	25	<2.5	8	1.5		
		40	<2.5	11	1.8		
		50	<2.5	14	1.9		
		65	<2.5	18	2.3		
		80	<2.5	21	2		
	法兰式黄铜、青铜直角截止阀	65	<0.1	15	2.8		
		80	<0.1	24	3		
		100	<0.1		3.3		
		125	<0.1	35	3.3		
		150	<0.1	45	3.5		
		175	<0.1	52	3.9		

续上表

图形	名称	公称通径 D_N, mm	公称压力 P_N MPa	阀盘开启高度 mm	ζ 从阀盘下往上流	ζ 从阀盘上往下流	备注
	由螺纹式黄铜、青铜直通截止阀	15	<1.6	5.5	7.7	8.7	
		20	<1.6	7.5	8.4	8.5	
		25	<1.6	9.5	7.4	7.9	
		32	<1.6	11	7.3	8.4	
		40	<1.6	14	7.4	6.5	
		50	<1.6	17.5	7.3	7.2	
		65	<1.6	25	5.2	7.0	
	法兰式黄铜、青铜直角通海阀	50	0.1	15	2.1	2.2	
		80	0.1	24	4.2	4.4	
		100	0.1	30	4.0	4.2	
		125	<0.1	35	3.0	2.9	
		150	<0.1	4.0	2.5	2.4	
		175	<0.1	46	3.3	3.0	
		200	<0.1	53	3.3	3.0	

图形	名称	公称通径 D_N, mm	公称压力 P_N MPa	阀盘开启高度 mm	ζ 从阀盘下往上流	ζ 从阀盘上往下流	备注
	法兰式黄铜排出通海阀	20	<3.2	10	1.6	1.8	
		25	<3.2	10	1.7	2.0	
		32	<3.2	14	1.7	2.1	
		40	<3.2	20	1.8	2.3	
		50	<3.2	25	1.9	2.5	
		65	<3.2	30	1.9	2.9	
		80	<3.2	33	1.9	2.9	
		100	<3.2	42	2.1	3.5	
		125	<3.2	52	2.1	3.5	
		150	<3.2	56	2.0	3.5	
		175	<3.2	75	2.1	3.3	
		200	<3.2	80	2.2	3.1	
	法兰式黄铜直角通海阀	32	<4	20	3.5	5.3	
		40	<4	23	3.2	5.0	
		50	<4	28	3.0	5.0	
	法兰式铸铁直通「考斯」阀	65			2.70	2.60	即阀座直径为0.7F D_N 阀座收缩30%
		80			2.40	2.30	
		100			2.20	2.10	
		150			1.86	1.80	
		200			1.65	1.57	
		250			1.50	1.43	
		300			1.40	1.30	
		350			1.30	1.24	

表 7.1.1—41　　　　**截止阀和止回阀类的ζ值(德国数据)**

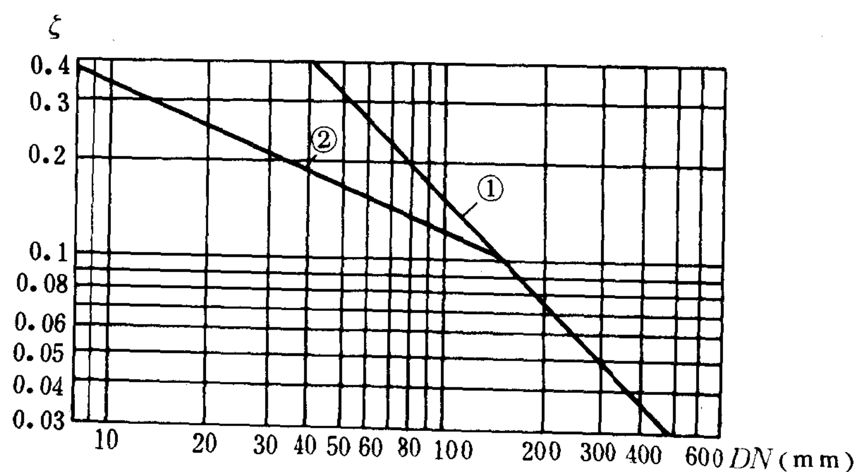
图形	名称	公称通径 D_N,mm																
		局部阻力系数ζ,无因子																
	法兰式直通截止阀	D_N	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	175	200	250	300	350	400
		ζ	2.0	2.1	2.2	2.3	2.3	2.4	2.5	2.4	2.3	2.1	2.1	2.0	2.4	2.6	2.7	2.8
	法兰式直通止回阀	D_N	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	
		ζ	2.6	2.7	2.8	3.0	3.3	3.6	3.9	4.1	3.9	3.3	2.6	3.1	3.4	3.5	3.6	
	内螺纹式青铜直通截止阀	DN	10	15	20	25	32	40	50	65	80	100						
		ζ	10.8	11.0	10.7	10.5	10.4	10.4	10.3	10.6	10.1	10.0						
	法兰式旋启式止回阀、	D_N(mm)	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400				
		V_H(m/s)	4.4	3.1	3.9	2.3	1.6	2.8	1.6									
		V_V/(Lm/s)	4.1	2.8	2.1	2.0	1.6	2.8	1.6									
		ζ V_H	0.5	0.4	0.3	0.7	0.6	1.0	0.9									
		ζ $V_H/2$	0.7	0.9	0.6	1.1	1.2	1.3	1.5									
		ζ $V_H/4$	1.2	2.5	1.4	3.5	4.0	2.3										
		ζ V_v	0.5	0.4	0.3	0.7	0.6	1.0	0.9									
		ζ $V_V/2$	0.6	0.6	0.8	1.1	1.2	1.3	1.5									
		ζ $V_V/4$	0.8	2.0	10.0	12.0	6.0	3.5										
	内螺纹式直通截止阀	D_N	10	15	20	25	32	40	50	65	80							
		ζ	10.8	11.0	10.7	10.5	10.4	10.3	10.6	10.1	10.0							
	内螺纹式立式直通止回阀	D_N	10	15	20	25	32	40	50									
		ζ	3.6	3.7	3.6	3.7	3.7	3.6	3.4									
	法兰式直角截止阀	D_N	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	175	200	250	300	350	400
		ζ	1.6	1.6	1.6	1.7	1.9	2.0	2.0	1.9	1.7	1.5	1.4	1.3	1.6	1.6	1.7	1.7
	法兰式直角止回阀	D_N	20	25	3	40	50	65	80	100	125	150		200	250	300	350	400
		ζ	2.0	2.0	2.1	2.2	2.4	2.5	2.6	2.7	2.5	2.4		2.0	2.1	2.1	2.2	2.2

①V_H、V_V 表示水平或垂直安装的流速；
②$V_H/2$ 表示 1/2 开度时的流速,余类推。

图形	名称	公称通径 D_N,mm														
		局部阻力系数ζ,无因子														
	内螺纹式直角截止阀	D_N	10	15	20	25	32	40	50	65	80	100				
		ζ	2.6	2.8	2.6	2.5	2.7	2.5	2.5	2.6	2.6	2.5				

(2)闸阀和蝶阀类的ζ值,见表 7.1.1—42

表 7.1.1- 42 **闸阀和蝶阀类的ζ值**

图形	名称	公称通径 D_N,mm																备注
		局部阻力系数ζ无因子																
	法兰式闸阀	D_N	50	65	80	100	125	150	175	200								德国资料
		ζ	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3								
		D_N	50	80	100	150	200～250		300～400		500～800							
		ζ	0.5	0.4	0.2	0.1	0.08		0.07		0.06							
		D_N	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600	
		ζ	0.4	0.31	0.26	0.20	0.16	0.13	0.11	0.076	0.06	0.05	0.041	0.037	0.032	0.03	0.028	
	内螺纹式闸阀	D_N	10	15	20	25	32	40	50	65	80	100						德国资料
		ζ	0.34	0.26	0.26	0.23	0.19	0.18	0.17	0.16	0.14	0.12						
① 法兰式闸阀 ② 内螺纹式闸阀																		日本资料

蝶阀的ζ值，查曲线或按公式计算：

$$V=\frac{Q}{A},m/s; \qquad \Delta h_j=9.806\frac{\zeta V^2}{2g} \quad Pa; \qquad (7.1.1-21)$$

$$\zeta=\frac{2g\cdot\Delta h_j}{V^2}$$

式中：Q——蝶阀流量，m^3/s；

A——蝶阀通流面积，m^2；

V——流速，m/s；

Δh_j——局部阻力损失压头，Pa；

g——重力加速度，$9.81m/s^2$。

(3)旋塞的ζ值，见7.1.1—43。

表7.1.1—43　**旋塞的ζ值**

图形	名称	公称通径 D_N，mm 局部阻力系数ζ，无因子									备注
	法兰式黄铜直通旋塞	D_N	15	20	25	32	40	50	65	80	
	内螺纹式直通旋塞	ζ[2]	1.1~1.2	1.3~1.5	1.2~1.4	1.5~1.7	1.5~1.7	1.3~1.4*	1.2~1.3	1.2~1.3	苏联资料
	软管接头式铝合金直通旋塞	D_N	10	15	20	32					
		ζ	1.1	1.5	1.4	1.4					
	法兰式直通旋塞	D_N	15	20	25	32	40	65	80		
		ζ	0.9	0.4	0.5	1.2	1.0	1.1	1·0		

注：1)内螺纹和法兰式直通旋塞，前苏联与德国的一样；

2)其中大的ζ值为内螺纹旋塞的ζ值。

Q 流量 (m^3/s)

10 8 6 5 4 3 2 1 0.8 0.6 0.5 0.4 0.3 0.2 0.1 0.08 0.06 0.05 0.04 0.03 0.02 0.01 0.008 0.006 0.005

α=5° 10° 15° 20° 25° 30° 35° 40° 45° 50° 55° 60° 65° 75° 80° 85° 90°

5 4 3 2 1 mH_2O 0.5 0.4 0.3 0.2 0.1 0.05 0.04 0.03 0.01 0.005 0.004 0.003 0.001

1000 800 700 600 500 450 400 350 300 250 200 150 125 100 80 65 55

阀的直径 (mm)



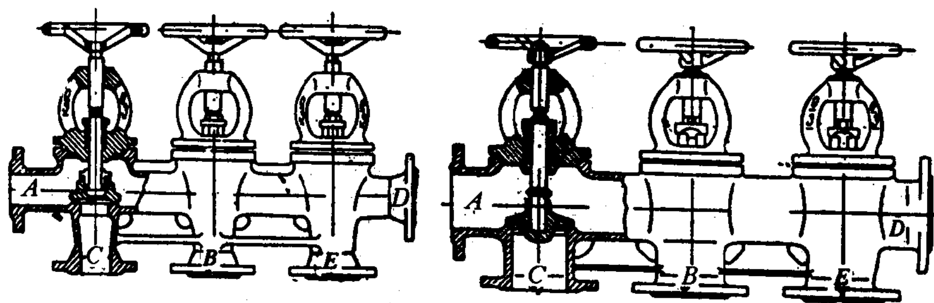
图 7.1.1—5h

(4)阀箱类的ζ值,见表 7.1.1—44

表 7.1.1—44

阀箱类的ζ值

图形及ζ



名称和公称压力 p_N, MPa	公称通径 D_N, mm	阀盘开启高度 mm	介质流向	短管C		短管B		备注
				ζ				
				从阀盘下往上流	从阀盘上往下流	从阀盘下往上流	从阀盘上往下流	
法兰式黄铜、青铜二联吸入截止阀箱 p_N <2.5 MPa	50	14	A→C	—	3.2	—	—	
	60	18		—	3.3	—	—	
	100	30			2.6	—	—	
	50	14	—	—	—		4.2	
	60	18	A→B	—	—	—	4.3	
	100	30		—	—	—	3.6	
	50	14	A→CB	—	4.2	—	2.9	
	60	18		—	4.3	—	3	
	100	30		—	3.5	—	2.4	
	50	14	C→A	2	—	—	—	
	60	18		2.6	—	—	—	
	100	30		2.3	—	—	—	
	50	14	B→A	—	—	2.9	—	
	60	18		—	—	3.5	—	
	100	30		—	—	3.2		
	50	14	CB→A	2.7	—	2	—	
	60	18		3.3	—	2.5	—	
	100	30		3		2.2	—	

名称和公称压力 p_N，MPa	图形及 ζ								备注
	公称通径 D_N，mm	阀盘开启高度 mm	介质流向	短管 C		短管 B		短管 C	
				ζ					
				从阀盘下往上流	从阀盘上往下流	从阀盘下往上流	从阀盘上往下流	经过连通部分（上部）	
法兰式黄铜、青铜二联吸入截止阀箱及截止止回阀箱	50	15	—	—	—	—		3.4	
	65	20	A→D	—	—	—	—	2.6	
	80	24		—	—	—	—	1.8	
	100	30		—	—	—	—	1.7	
	125	38		—	—	—	—	1.6	
	50	15	A→CD	—	4,1	—	—	2.2	
	65	20		—	3.3	—	—	1.5	
	80	24		—	3.7	—		−1.1	
	100	30		—	3	—	—	1	
	125	38		—	3.1	—	—	1	
	50	15	A→BD	—	—	—	6.2	4.6	
	65	20		—	—	—	7.0	4。8	
	80	24		—	—	—	7.7	5.0	
	100	30		—	—	—	6.0	4.5	
	125	38		—	—	—	6.1	4.4	
	50	15	CD→A	3,1	—	—	—	2.2	
	65	20		2.9	—	—	—	1.6	
	80	24		2.7	—	—	—	1.3	
	100	30		2.6	—	—	—	1.1	
	125	38		2.5	—	—	—	1	
	50	15	BD→A	—	—	4.8	—	4.3	
	65	20		—	—	5.2		4.5	
	80	24		—	—	5,6		4.7	
	100	30		—	—	5.3	—	4.2	
	125	38		—	—	5.3	—	3	
	50	15	CBD→A	3.7	—	3.5	—	3	
	65	20		4.2	—	4	—	3.4	
	80	24		4.7	—	4.5	—	3.8	
	100	30		4.5	—	4.1	—	3.5	
	125	38		4.3	—	4	—	3.2	

名称	法兰或黄铜、青铜三联吸入截止阀箱及截止止回阀箱									备注
图形										
公称通径 DN,mm	阀盘开启高度 mm	介质流向	短管 C		短管 B		短管 E		短管 D	
			ζ							
			从阀盘下往上流	从阀盘上往下流	从阀盘下往上流	从阀盘上往下流	从阀盘下往上流	从阀盘上往下流	经过连通部分（上部）	
50	15	A→D	—	—	—	—	—	—	3.4	
80	24	A→D	—	—	—	—	—	—	1.8	
100	30	A→D	—	—	—	—	—	—	1.7	
50	15	A→CD		4.1	—	—	—	—	2.2	
80	24	A→CD	—	3.7	—	—	—		1.1	
100	30	A→CD	—	3	—	—	—	—	1	
50	15	A→BD	—	—	—	6.2	—	—	4.6	
80	24	A→BD	—	—	—	7.7	—		5	
100	30	A→BD	—	—	—	6	—	—	4.5	
50	15	A→ED	—	—	—	—	—	9,7	7.2	
80	24	A→ED	—	—	—	—	—	8,2	7.7	
100	30	A→ED	—	—	—	—	—	8	7.5	
50	15	A→CBD	—	5	—	5.5	—		3	
80	24	A→CBD	—	7.6	—	8,3			3.8	
100	30	A→CBD	—	6.3	—	7.1	—	—	3.5	
50	15	A→BED	—	—	—	10	—	13.5	8,6	
80	24	A→BED	—	—	—	13.5	—	12	9	
100	30	A→BED	—	—	—	11	—	10	9	
50	15	A→CBED	—	5,7	—	5.2	—	6.5	6.2	
80	24	A→CBED	—	5.8	—	8,4	—	5.9	7.8	
100	30	A→CBED	—	5.5	—	7.2	—	5.5	7.5	

续上表

名称	法兰或黄铜、青铜三联吸入截止阀箱及截止止回阀箱									备注
公称通径 D_N,mm	阀盘开启高度 mm	介质流向	短管 C		短管 B		短管 E		短管 D	
			ζ							
			从阀盘下往上流	从阀盘上往下流	从阀盘下往上流	从阀盘上往下流	从阀盘下往上流	从阀盘上往下流	经过连通部分(上部)	
50	15	CD→A	3.1	—	—	—	—	—	2.3	
80	24		2.7	—	—	—	—	—	1.5	
100	30		2.6	—	—	—	—	—	1.3	
50	15	BD→A	—	—	4.8	—	—	—	4.3	
80	24		—	—	5.6	—	—		5.7	
100	30		—	—	5.3	—	—	—	4.2	
50	15	ED→A	—	—	—	—	5.7	—	7.2	
80	24		—	—	—	—	4.2	—	7.7	
100	30		—	—	—	—	4.0	—	7.5	
50	15	CED→A	3.7	—	3.5	—	—	—	5.1	
80	24		4.7	—	4.5	—	—	—	5.1	
100	30		4.5	—	4.1	—	—	—	5.5	
50	15	BED→A	—	—	7.0	—	8,0	—	6.0	
80	24		—	—	8,0	—	7.5	—	6.7	
100	30	—	—		7.3	—	7.0	—	6.5	
50	15	CBED→A	4.7	—	4.8	—	5.4	—	6.2	
80	24		4,8	—	6.4	—	4.9	—	7.8	
100	30		4.5	——	5.2	—	4.5	—	7.5	

注:阀箱的ζ系数是为连通部分流速的阻力系统。

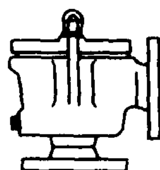
6)其他

(1)泥箱等的ζ值,见表7.1.1—45

表7.1.1—45 **泥箱的ζ值**

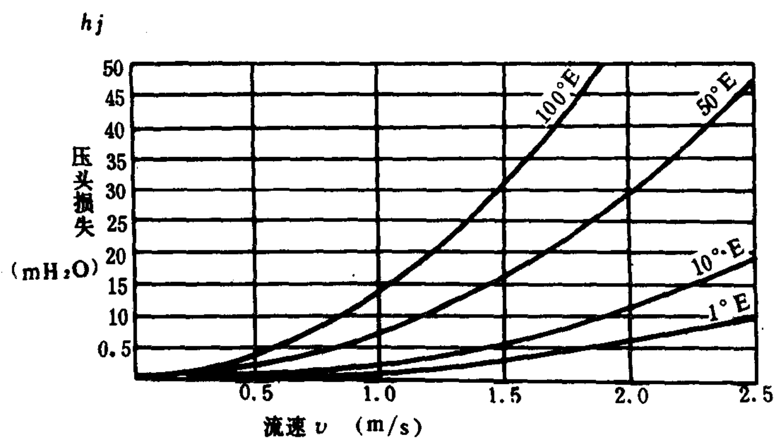
	直通式泥箱	$D_N$mm	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400
		ζ	2.3	2.4	2.6	2.6	2.8	3.0	2.9	2.7	2.6	2.7	2.8	2.9

续上表

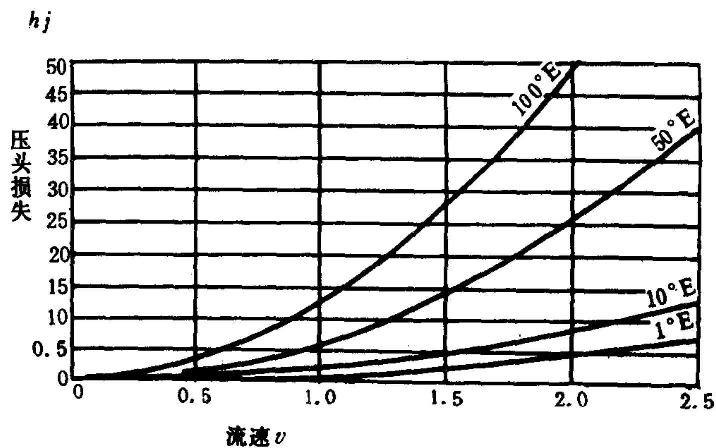
	直角式	泥箱	$D_N$mm	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400
			ζ	2.0	2.1	2.2	2.2	2.4	2.5	2.5	2.4	2.3	2.3	2.4	2.4

(2)滤器

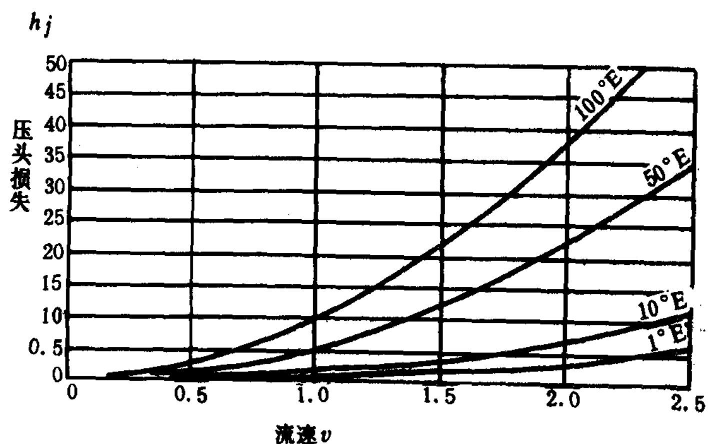
过滤细粒 0.2～0.5mm 的油滤器

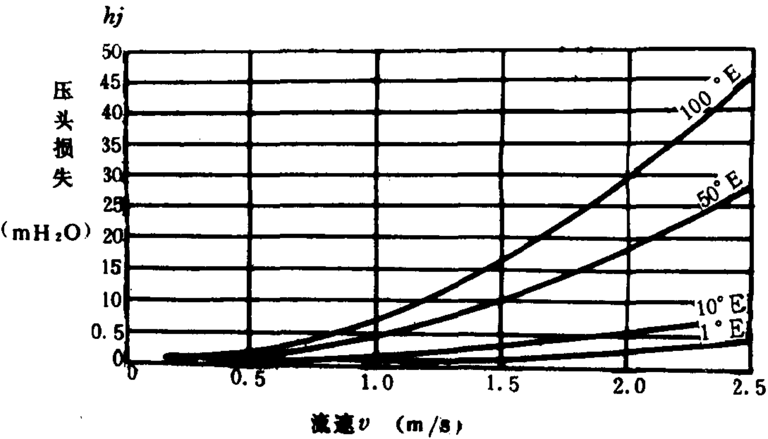
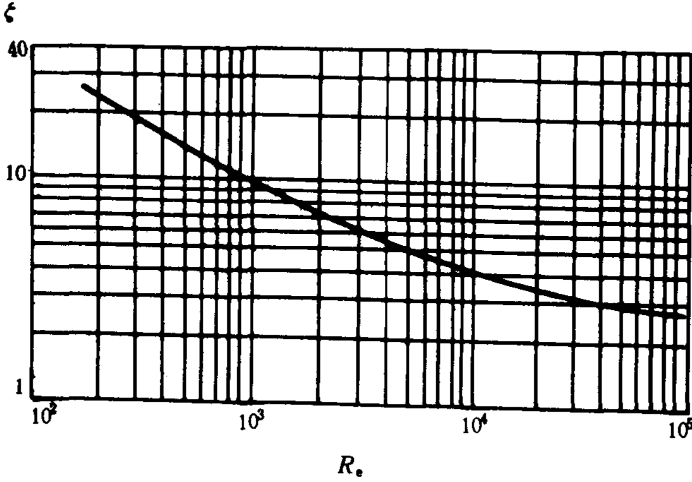
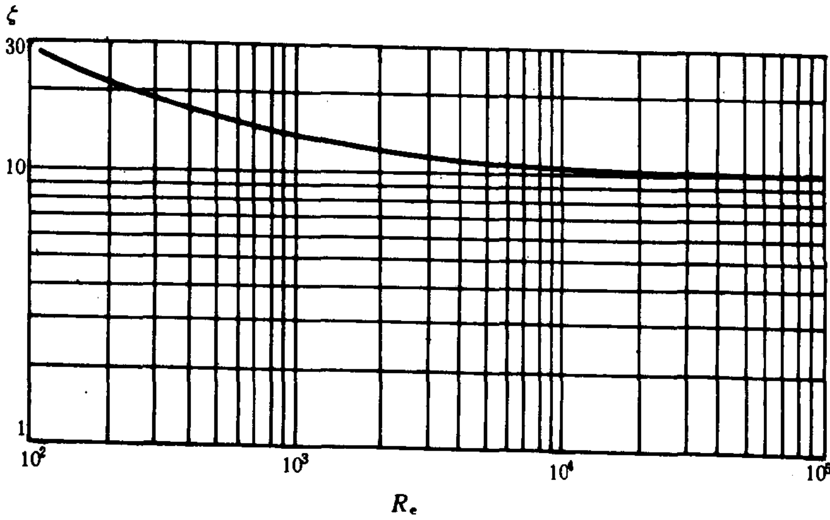


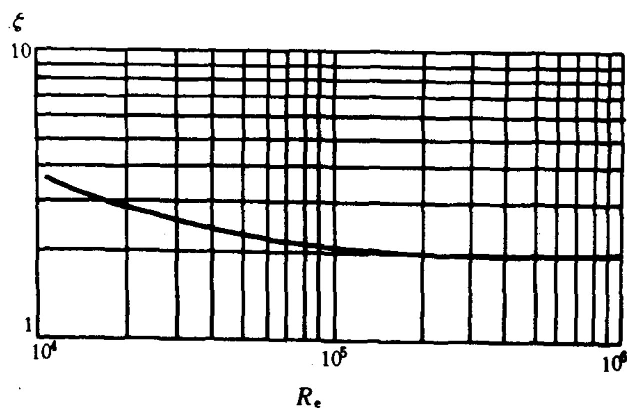
过滤细粒 0.65～1.4mm 的油滤器



过滤细粒 2mm 的油滤箱



过滤细粒 5mm 的油滤器	
单式油滤器	
复式油滤器	

水滤器	

(3)其他

续上表

	吸入滤网	ζ=0.3～0.7 滤网板孔面积为管子截面积1.5～20倍
	海水箱格栅	ζ=0.44
	水分离器 (轴向流入)	DN20～120mm,ζ=2.5
	水分离器 (水平流入)	DN20～125mm; 切向流入 ζ=3.0 水平流入 ζ=5～8

4.10.3 水击压力

1)压力波的传播:单管路水击压力波的传播速度a,按下式计算:

$$a = \frac{1420}{\sqrt{1 + \frac{E_w}{E} \cdot \frac{D_i}{8}}} \quad \text{m/s} \qquad (7.1.1\text{—}22)$$

式中:E_w——水的体积弹性模量,为2310MPa;

E——管子材料的弹性模量,MPa;Ew/E 值当钢管时为～0.01.铸铁管～0.02;可锻铸铁～0.01;聚乙烯塑料管～2.07;

D_i——管子内径,m;

δ——管壁厚度,m,

2)阀门急闭时压力的上升:在 $\tau_1 \leqslant 2l/a$ 的情况下,其上升压力,按下式计算:

$$h_g = 9806.4\frac{aV}{g},\quad Pa, \tag{7.1.1—23}$$

式中:V ——阀门急闭前的水流速度,m/s;

τ_1 ——急闭关断时间,s;

l ——管路长度,m;

g——重力加速度,m/s^2。

3)缓慢关闭时压力的上升:在 $\tau_1 > 2l/a$ 的情况下,其上升压力,按下式计算:

$$h_s = 9806.4 \times \frac{H}{2}(N + \sqrt{N^2 + 4N}),Pa \tag{7.1.1—24}$$

式中:H——总静水压头,Pa;

$N = (\frac{LV}{g\tau_2 H})^2$。

4)阀门急开时压力的下降:在 $\tau_2 \leqslant 2l/a$ 的情况下,其压力下降压头,按下式计算:

$$h_{gd} = 2 \times 9806.4H(\sqrt{M^2 + M} - M),\quad Pa \tag{7.1.1—25}$$

式中:$M = (\frac{aV}{2gH})^2$;

τ_2——阀门开启所需的时间,s。

5)缓慢开启时压力的下降:在 $\tau_2 > 2l/a$ 的情况下,其压力下降压头,按下式计算:

$$h_{sd} = 9806.4 \times \frac{H}{2}(\sqrt{N^2 + 4N} - N),Pa \tag{7.1.1—26}$$

4.10.4 允许流速

管内允许流速(V)是根据流体流动时没有水击、不产生振动、经济(投资、动力、维修和保养等费用)、腐蚀及其他因素决定的。船舶管系管路的允许流速,见表 7.1.1—46。

表 7.1.1—46　**船舶管系管路的允许流速范围**

类别	管路名称	允许流速(m/s)	备注
蒸汽类	过热蒸汽总管 D_N>300mm	45～55	最大 70
	过热蒸汽总管 D_N<300mm	40～45	
	过热蒸汽总管上的支管	35～40	
	饱和蒸汽总管	35～40	
	饱和蒸汽总管上的支管	30～35	
	暖气蒸汽管路	20～30	
	低压杂用蒸汽管路	15～25	
排汽类	过热蒸汽的排汽管路	40～45	最大 50
	饱和蒸汽的排汽管路	35～40	最大 45
	至冷凝器的排汽管	50～100	
	自排汽总管通至大气的放汽管	40～50	
	锅炉安全阀至大气的放汽管	70～80	
	暖气、单管汽水混合排出管	<20	
凝水类	无压力的凝水管(自流的凝水管)	0.1～0.3	
	低压凝水管	0.5～1.0	
	高压凝水管	1.0～2.0	
	暖气凝水管	1.0～3.0	
空气类	低压压缩空气管路	12～15	
	高压压缩空气管路	20～25	
	空压机和柴油机吸气管	10～15	
	空压机排出管	15～20	
	冷凝器的抽气管	5～8	
	蒸汽喷射式空气泵的空气管	10～15	
	油轮油舱透气管	15～20	
废气类	四冲程柴油机废气管	20～25	
	二冲程柴油机废气管	10～15	
吸入类	凝水泵吸入管路	0.3～0.6	
	活塞式水泵吸入管路	0.7～1.0	
	给水泵吸入管路	1.5～2.5	
	注入管	0.5～1.0	
	活塞式燃油泵或滑油泵吸入管路	0.4～0.6	t<20℃
	活塞式燃油泵或滑油泵吸入管路	0.8～1.0	t>20℃

续上表

类别	管路名称	允许流速(m/s)	备注
排出类	高压式离心式泵排出管路	3～4	最大 8
	高压式离心式泵排出管路	1.2～1.5	t<20℃
	低压离心式水泵排出管路	2.5～3.0	
	高压离心式燃油泵或滑油泵排出管路	1.5～2.0	t>20℃
	轴流式水泵排出管路	2.0～2.5	
	货油泵排出管路:		
	原油	2	
	柴油及重柴油	2	
	煤油及汽油	2.0～2.5	
	锅炉燃料油及石腊滑油	1	
	无压力(自流)的滑油回油管	0.25～0.3	
	无压力(自流)的燃油回油管	0.3～0.5	
液压油	液压油主油压管路	0.5～1.0	
	液压油分支油压管路	1.0～1.5	
	液压油吸入管路	1.0～2.0	
	液压油排出管路	2.5～5.0	
	液压油回油管路	1.5～2.5	
冷芷系统类	F—12、F—22 吸入管路	8～15	t=－30～10℃
	F—12、F—22 排气管路	10～18	
	NH_3 吸入管路	10～20	
	NH_3 排出管路	12～25	
	冷凝器到贮液器的液体管路(NH_3)	0.5～1.0	
	贮液器到调节阀的液体管路(F—12、F—22、NH3)	0.5～1.25	不允许有气体
	盐水管路	1.0～2.4	
其他类	泡沫灭火管路	4～8	
	发生泡沫的混合物管路	2～4	
	卫生水排出管	0.6～1.0	
	热水管路	0.3～1.0	
	水灭火管路(干管)	2～3	
	舱底水或压载水吸入管路	1～1.25	
	舱底水或压载水排出管路	2.5～3.5	
	输送泥浆管路	2.5～3.5	

5 管路的绝热保温

5.1 绝热包扎厚度的选择原则

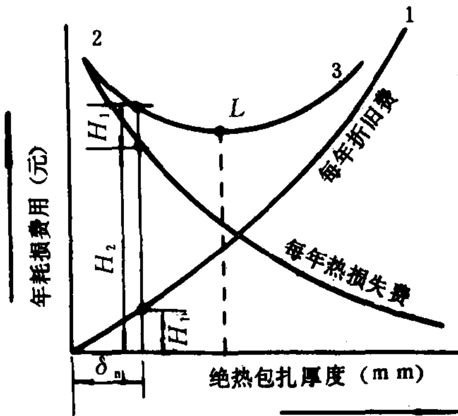


图 7.1.5i） 管子绝热包扎厚度

合理的绝热包扎厚度，应根据管路内介质的性质、温度和绝热物材质、管径大小、环境条件等，结合整体经济效益进行选择。

图 7.1.1—5i）可用来说明选择厚度的原则。当选择厚度时，应考虑减少热损失而节约的费用和材料费用及安装费用（每年此项投资的折旧费）的关系。曲线 1 表示绝热包扎厚度越厚，折旧费就越大，但管路内热介质向外界放出的热量损失自然越少，将此项损失折合人民币，其关系如图中曲线 2 所示。把曲线 1 和曲线 2 叠加，得出各种不同包扎厚度的每年损失费用的总曲线 3。不管选用厚度多厚，两者损失费都同时存在，但曲线 3 上必有一点是年损失费最低的点，即曲线 3 上的 L 点，相当于此点的包扎厚度，即为最经济、最合理的选择厚度。

5.2 裸管的热损失

未作绝热包扎的裸管，室内环境温度为 27℃时的热损失 W/(m·k)，见表 7.1.1—47。

表 7.1.1—47　　**水平裸管的热损失**（室温 27℃）

D_N mm	温度差，℃						
	55	110	220	230	440	560	670
15	52.9	130.3	378	787.4	1418.9	2353.9	3727.4
20	64.4	160.5	462.9	973.4	1762.0	2942.4	4628.7
25	78.7	197.7	572.2	1201.4	2180.6	3663.5	5768.5
32	98.2	247.7	711.7	1618.9	2773.1	4593.9	7251.3
40	110.6	278.0	760.6	1709.6	3116.8	5221.9	8315.5
50	134.9	340.8	992.0	2395.8	2861.2	6489.5	10269.3
65	161.7	407.1	1192.1	2535.3	4745.0	7629.3	12386.0
80	194.2	487.3	1436.3	3349.4	5623.1	10141.4	15037.6
(90)	230.3	551.3	1622.4	3471.6	6379.1	10769.4	17096.1
100	245.4	616.4	1814.3	4352.0	7175.7	12095.2	19189.5
125	297.7	750.1	2221.3	4768.3	9083.0	14886.4	23434.5
150	338.4	883.9	2616.8	5524.3	10420.5	18956.9	28144.6

续上表

D_N mm	温　度　差,℃						
	55	110	220	230	440	560	670
200	447.8	1128.1	3419.2	7268.8	13432.7	22774.8	36518.2
250	550.1	1389.8	4140.3	8990.0	16630.9	28319.1	45240.7
300	644.3	1625.2	4884.6	10583.3	19712.9	31168.4	53614.3
350	700.1	1785.2	5326.5	11513.7	21457.4	36634.5	38382.6
400	790.8	2006.2	6059.2	13125.6	24423	41577.3	66523.6
450	876.9	2256.2	6803.6	14793.4	27446.8	46985.2	74780.9
500	980.4	2483.0	7501.4	16340.2	30354.3	51869.8	82921.9
600	1163	2954.0	8931.8	19422.1	36343.8	61987.9	98855.0

5.3 绝热包扎厚度

厚度计算公式

规定绝热包扎后表面温度的情况下，其包扎厚度，可按下式求得：

$$\frac{D_{is}}{2}\ln\frac{D_{is}}{Do}=\frac{K_{is}}{h_{is}}\left(\frac{t_p-t_a}{t_{is}-t_a}\right) \qquad (7.1.1-27)$$

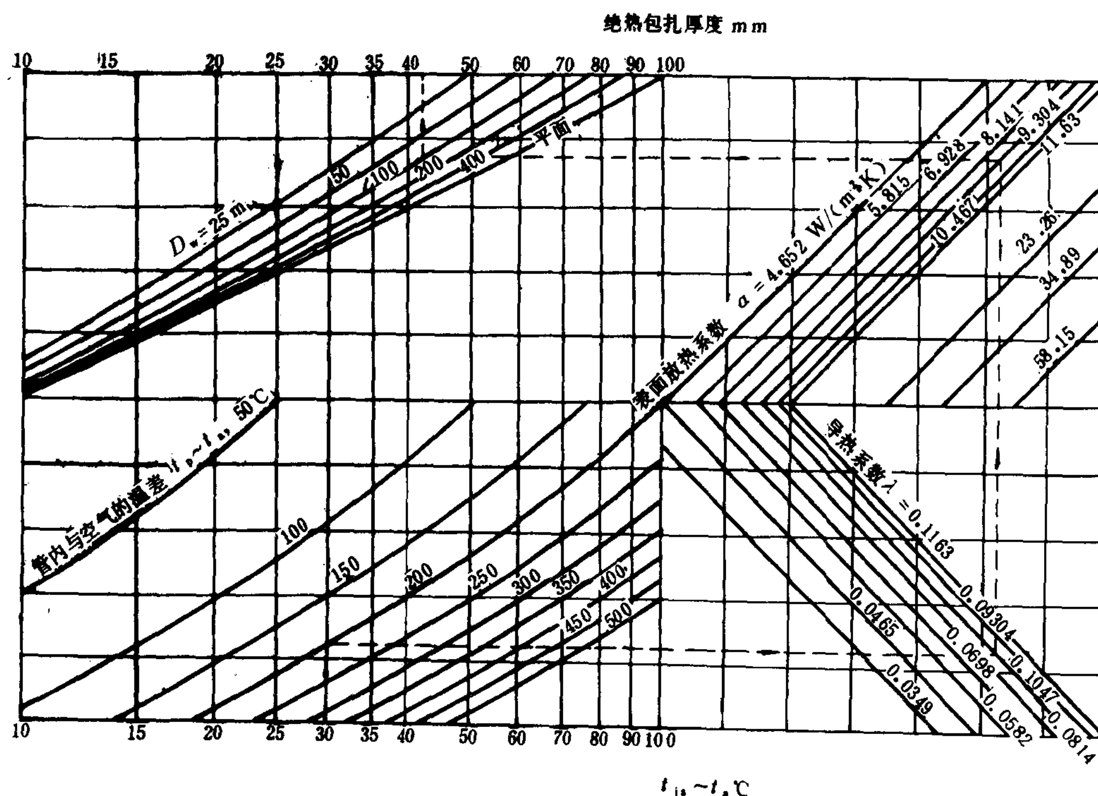


图 7.1.1—6　表面温度与绝热包扎的厚度的关系

式中：D_{is}——绝热包扎层的外径。m

D_o——管子外径或包扎层内径 m；

K_{is}——绝热材料的导热系数，一般为 0.047～0.082. W/(m·k)；

h_{is}——绝热材料的换热系数，一般为 5～60，W/(m·k)；

t_p——管子内介质温度，℃；

t_{is}——绝热包扎层表面温度，一般取 60℃；

t_a——环境温度，一般取 25～27℃。

上表绘成图谱，根据(t_{is}—t_a)温差，由图 7.1.1—6 中直接查得绝热包扎层厚度。

6 管子化学清洗

6.1 管子(钢管、铜管、铝管)的化学清洗

它包括：化学除油、热水冲洗、酸洗、清水冲洗、钝化处理、中和处理、吹干、擦净和保养等步骤，详细方法，参见钢管、铜管、铝管的化学清洗(CB/Z99)，高压铜管的化学清洗(CZ40)，柴油机管子的化学清洗方法(CB/Z95)及液压系统清洗技术条件(CB/Z13F)等指导性技术标准。

6.2 清洗管子的几种溶剂配方见表(7.1.1—48)

表 7.1.1—48 几种溶剂配方

序号	溶剂名称	溶剂成分和浓度			用途
		成分、化学名称	化学式	浓度，g/l	
1	强碱液	苛性钠 磷酸三钠 水玻璃 苏打灰	$NaOH$ Na_3PO_4 Na_2CO_3	20～25 50 5～10 50	钢管、铜管除油污用
2	强碱液	苛性钠 苏打灰 硅酸钠	$NaOH$ Na_2CO_3 Na_2SiO_3	80～120 50～80 5～10	钢管、铜管除油污用
3	盐酸溶液	盐酸 若丁	HCl	150～200 1.5～3	钢管酸洗用
4	硫酸溶液	硫酸 重铬酸钾	H_2SO_4 $K_2Cr_2O_7$	10～20% 15～20	铜管酸洗用
5	酸液	硫酸	H_2SO_4	5%	铝管酸洗用
6	碱液	苛性钠	$NaOH$	40～60	铝管除油污用
7	铬酐酸	铬酐 硫酸	CrO_3 H_2SO_4	15～25% 1.5～2.5%	钝化处理用
8	硝酸液	硝酸	HNO_3	10%	钝化处理用
9	中和液	苏打	Na_2CO_3	5～10%	钢管、铜管中和用
10	中和液	苏打 亚硝酸钠	Na_2CO_3 $NaNO_2$	5～10% 40～50%	同上

6.3 清洗步骤

整个液压系统冲洗完毕后，停留6h，从油箱放泄旋塞取油样送理化室，按表7·1·1—49进行含杂质分析，如不合格，可再次取样分析，如第二次仍不合格，则放掉油箱及系统内的全部液压油，对系统再次清洗，直至合格为止。

表7.1.1—49　　合成锭子油清洗后杂质允许值

项目名称 \ 数值 \ 清洗油	合成锭子油	
	标准值%	允许值%
机械杂质	无	0.03
水　分	无	0.01
灰分(小于)	0.005	0.01
酸值(不大于)	0.07KOH/g	

7　船舶系统的管子和附件的水压试验

船舶系统各种管路和附件，在新装和修理之后，均需经过试验工序。试验包括车间强度和密性水压试验，安装到船上后的液压试验或效用试验。

7.1　水压试验前的准备工作和一般要求

1)试件在试验充水前，应将内部清理干净，充水时将内部空气放尽，水压试验完毕后，应将水全部放光，附件还应清除水渍。

2)水压试验应在周围气温高于5℃时进行，低于5℃时，必须采取防冻措施，水压试验用水的水温保持高于周围露点温度，以防试件表面结露，但温度也不宜过高，以防引起汽化和过大的温差应力，通常不得高于70℃。对于合金钢制造的附件，为防止其脆性破裂，水压试验用水的水温应高于该钢种的脆性转变温度。

3)试验用的压力表应为校验合格1.5级压力表，量程是试验压力的1.5倍。

4)试验时压力的升降宜缓慢进行，不允许有任何水击现象，升压速度一般不超过每分钟0.3MPa，降压速度不超过每分钟0.5MPa。

5)当压力上升到0.3～0.5MPa和上升到工作压力时，进行初步检查，若确无漏泄或异常现象，可再升到试验压力。在试验压力下，进行强度和材料紧密度试验，应用重量为0.1kg、柄长300mm的铜锤。轻轻敲击阀体或其他受压部位，保持试验时间为5min。密性试验时保压试验时间为：对于D_N＜300mm的阀件，每次为1min；试验中，如有疑问，则应将时间延长到3min。对于D_N≥300mm的阀门，每次为3min；在试验中，如有疑问，则将时间延长到5min。在做密性试验过程中，下述阀门允许有不超过规定的渗漏量；其他各类阀门不允许有任何渗漏或按图纸规定的渗漏量。闸门密封面上不得多于5处粒状水珠，并在规定试验时间内不得流下；填料旋塞不得多于3处粒状水珠，同样应在规定试验时间内不得流下；D_N＜32mm的止回阀或截止止回阀，在以最小工作压力进行液压试验时，允许有微量渗漏，但每分钟不得超过3滴。管子试验时，保压时间为10～20s。然后再降低压力，进行全面检查。

6)试件经检查无裂纹、残余变形、焊缝和金属外型无水珠和润湿等渗漏现象，则可认为水压试验合格。

7.2 船舶系统的管子、管路和附件的水压试验压力

可按表 7.1.1—50 和公式 7.1.1—28 进行试验。

表 7.1.1—50 **船舶系统的管子、管路及其附件的水压试验压力**

试验种类 / 管系名称 / 船级社		ZC		LR		NK	
		车间（装船前）	船上（装船后）	车间（装船前）	船上（装船后）	车间（装船前）	船上（装船后）
泵作用	污水管	—	效用试验	—	效用试验	—	效用试验
	压载及舱底水系统管路	—	效用试验	—	效用试验	—	—
	燃油吸入和排出系统管路	—	效用试验	—	效用试验	2p	效用试验
	淡水注入管	—	效用试验	—	效用试验	—	—
	测量管[①]	—	效用试验	—	效用试验	—	—
	甲板落水管[②]	—	效用试验	—	效用试验	—	—
	甲板供水管	—	效用试验	—	效用试验	—	—
灭火	泡沫灭火管路	1.5p	1.25P	—	效用试验	—	—
	水灭火管路	1.5p	效用试验	—	效用试验	—	效用试验
货油及其他	货油装卸管路	1.5P	效用试验	—	效用试验	—	效用试验
	油舱清洗管	1.5P	效用试验	—	效用试验	—	效用试验
	惰性气体管	1.5	效用试验	—	效用试验	—	效用试验
	甲板机械排气管路	1.5p	1.25p	$\frac{p}{25}+0.5$ p<0.7～1MPa 免试)	效用试验	2p(p>1MPa)	效用试验
	油舱加热管路	—	1.5p，但不得小于 0.4MPa	—	2p	2p (p>1MP)	2p
	加热凝水管路	—	效用试验	—	效用试验	—	效用试验
	蒸汽灭火管路	—	效用试验	$\frac{p}{2}[\sigma]$ +0.6p <0.7MPa 可免试	效用试验	—	效用试验

续上表

管系名称 \ 试验种类 \ 船级社		ZC		LR		NK	
		车间（装船前）	船上（装船后）	车间（装船前）	船上（装船后）	车间（装船前）	船上（装船后）
其他	低压压缩空气管（0.9MP 以下）	—	效用试验	—	效用试验	—	效用试验
	高压压缩空气管（2.5MPa）	$\frac{p}{2[\sigma]}+0.6$	2p 功或$\frac{p}{2[\sigma]}$取两者小值	$\frac{p}{2[\sigma]}+0.6$	2p 或$\frac{p}{2[\delta]}$取两者小值	2p	—
	体壳外板附件	1.5p	效用试验	—	—	0.5MPa（水线以下）	
	阀件控制管	—	2p 或 p+7 取两者小值	—	2p 或 p+7 取两者小值	—	2p 或 p+7 取两者小值
	舱盖板液压油管③	—	效用试验	—	效用试验	—	效用试验
	甲板机械液压油管	—	效用试验	—	效用试验	—	效用试验
	舵机液压油管	$\frac{p}{2[\delta]}$	2P 或$\frac{p}{2[\sigma]}$取两者小值	$\frac{p}{2[\sigma]}$	2P 或$\frac{p}{2[\sigma]}$取两者小值	2p 或 p+7.取两者小值	1.1p 和保险阀压力，取两者大值
	通海阀	0.2	效用试验	—	—	—	—

注：①②作灌水试验；

③在船上用油进行油压试验；

④ZC 规定：

a. 所有阀件和附件的受压部分，在装船前均应在车间进行液压试验，其试验压力应为 1.5P，但不必大于设计压力加 7MPa。

b、当设计温度超过 300℃时，所使用的钢管和附件的试验压力，应由下式决定，但不必超过 2p：

$$p_S=1.5\frac{[\sigma]100}{[\sigma]t}p \quad (7.1.1-28)$$

式中：p_S ——试验压力，MPa；

p ——设计压力，MPa；

$[\sigma]_{100}$ ——材料在 100℃时的许用应力，MPa；

$[\sigma]_t$ ——设计压力下的材料许用应力，MPa；

⑤液压系统管路装船后的试验压力为 1.25p，但不必超过设计压力加 7MPa；

⑥通过双层底舱或深舱的舱底水管路，装船后应作不小于该舱试验压力的液压试验。

7.3 阀门质量分级

阀门质量分 A、B、C 三级。其中的主要项目是密性试验的保压时间为本节 7.1.5 中保压时间(t)的倍率：A 级为 3t；B 级为 2t；C 级为 1t。

7.4 阀门和旋塞密性试验的渗漏率

按照阀门产品质量分级的规定，有三种阀件（截止止回阀、闸阀及旋塞）密性试验时允许渗漏，其渗漏率(mm^3/s)为：

A 级的密性试验渗漏率为 $0.005D_N$；B 级为 $0.01D_N$；C 级为 $0.1D_N$，mm^3/s。

8 船舶系统管路和附件的修理

8.1 管路的修理和验收

1)管路的修理：

(1)船舶系统管路引起损坏的原因

①由于操作疏忽，部分管路内残水未放光或未放，引起冰冻或水击，使管子发生破损。

②系统断续地运用，一湿一干，内部最易引起腐烂，特别是加工过的弯曲部位。

③管内流体流速太高，对管壁磨损大，另外，焊接接头质量不好，如气泡和夹灰等，均能促使管子内壁迅速磨损。

④法兰连接螺栓装得过紧，过松或拉力不均匀，以及由于船舶的振动和管路的热胀冷缩，引起法兰结合处漏泄或裂缝。

⑤管路在新建和修理时，装配质量不良或使用质量差和不适宜的衬垫材料，法兰平面不平，安装方法不合理等，也会引起漏泄和松脱。

⑥在寒冷季节，管路未及时绝热包扎，由于冰冻引起管子破裂，特别是有缝的镀锌钢管，更应注意。

(2)管子内、外表面要求：

应光滑，不得有破裂、断缺、剥离和裂纹，不得有超过允许腐蚀深度的各种腐蚀和超过允许深度的擦伤、凹陷等缺陷。

①无缝钢管、焊接钢管、铜管和铝合金管的设计厚度及极限厚度，按表7.1.1—51～54要求。任何腐蚀和破坏情况下的有效剩余厚度，均不得低于表中规定的极限厚度；新换管子的壁厚不得低于表中规定的设计厚度。

②凡发现管材晶间腐蚀、穿晶腐蚀时，均应换新。

③腐蚀面积沿管子横向截面的积累长度大于1/2周长，或沿管子纵向截面的积累长度大于1/2管段长度者，作为全面腐蚀处理。

④排水量小于500t的船舶或航行于Ⅰ类航区以内的船舶中修时，管路允许腐蚀深度按表7.1.1—51～54中的h_2规定；小修以下工程，可按h_1规定。但腐蚀破坏呈现为大面积(指超过1/2表面积)的不均匀腐蚀时，任何情况均应按h_2规定处理。

⑤各种腐蚀的腐蚀深度按其腐蚀最深部位计算。局部腐蚀深度起过允许值时，可酌情优先采取焊补或局部割换措施。

表 7.1.1—51

无缝钢管管壁厚度及允许腐蚀深度表 mm

管子内径di	$p_N \leq 1MPa$					$p_N \leq 3MPa$					$p_N \leq 64MPa$					$p_N \leq 16MPa$					$p_N \leq 25MPa$					$p_N \leq 32MPa$				
	设计厚度 δ	极限厚度 δ_j	余量系数 φ%	允许腐蚀深度 h_1	h_2	设计厚度 δ	极限厚度 δ_j	余量系数 φ%	允许腐蚀深度 h_1	h_2	设计厚度 δ	极限厚度 δ_j	余量系数 φ%	允许腐蚀深度 h_1	h_2	设计厚度 δ	极限厚度 δ_j	余量系数 φ%	允许腐蚀深度 h_1	h_2	设计厚度 δ	极限厚度 δ_j	余量系数 φ%	允许腐蚀深度 h_1	h_2	设计厚度 δ	极限厚度 δ_j	余量系数 φ%	允许腐蚀深度 h_1	h_2
15	2.09	0.66	68	1.14	0.54	2.26	0.77	66	1.19	0.59	2.57	0.97	62	1.28	0.68	3.50	1.56	55	1.55	0.95	4.48	2.16	52	1.86	1.26	5.33	0.85	50	2.14	1.54
20	2.11	0.68	68	1.14	0.54	2.35	0.83	65	1.22	0.62	2.75	1.09	60	1.33	0.73	4.00	1.88	53	1.70	1.10	5.31	2.67	50	2.11	1.51	6.44	3.34	48	2.48	1.88
25	2.14	0.69	68	1.16	0.56	2.43	0.89	63	1.23	0.63	2.94	1.22	59	1.38	0.78	4.50	2.20	51	1.84	1.24	6.14	3.19	48	2.36	1.76	7.56	4.02	47	2.83	2.23
32	2.18	0.72	67	1.17	0.57	2.55	0.97	62	1.26	0.66	3.21	1.39	57	1.46	0.86	5.20	2.65	49	2.04	1.44	7.30	3.92	46	2.70	2.10	9.11	4.98	45	3.30	2.70
40	2.23	0.75	66	1.18	0.58	2.69	1.06	61	1.30	0.70	3.51	1.57	55	1.55	0.95	6.00	3.16	47	2.27	1.67	8.62	4.75	45	3.10	2.50	10.89	6.07	45	3.93	3.33
50	2.29	0.79	66	1.20	0.60	2.87	1.17	59	1.36	0.76	3.89	1.83	53	1.65	1.05	7.00	3.80	46	2.56	1.96	10.28	5.79	44	3.59	2.99	13.11	7.44	48	4.54	3.94
65	2.37	0.85	64	1.22	0.62	3.13	1.34	57	1.43	0.83	4.45	2.20	51	1.80	1.20	8.50	4.76	44	2.99	2.39	12.76	7.34	42	4.34	3.74	16.44	9.49	42	5.56	4.96
80	2.46	0.90	63	1.25	0.65	3.39	1.51	55	1.50	0.90	5.02	2.57	49	1.96	1.36	10.00	5.72	43	3.42	2.82	15.24	8.90	41	5.08	4.48	19.78	11.54	42	6.59	5.99
100	2.57	0.98	62	1.27	0.67	3.73	1.74	53	1.59	0.99	5.77	3.07	47	2.16	1.56	12.00	7.00	42	4.00	3.40	18.56	10.97	41	6.07	5.47	24.22	14.28	41	7.95	7.35
125	2.71	1.07	61	1.31	0.71	4.17	2.03	51	1.71	1.11	6.72	3.68	45	2.43	1.83	14.50	8.60	41	4.72	4.12	22.70	13.57	40	7.3	6.70	29.78	17.69	41	9.67	9.07
150	2.86	1.17	59	1.35	0.75	4.60	2.31	50	1.83	1.23	7.66	4.30	44	2.69	2.09	17.00	10.20	40	5.44	4.84	26.83	16.16	40	8.54	7.94					
175	3.00	1.26	58	1.39	0.79	5.03	2.60	48	1.94	1.34	8.60	4.91	43	2.95	2.35	19.50	11.80	39	6.16	5.56	30.97	18.76	39	9.77	9.17					
200	3.14	1.36	57	1.42	0.82	5.47	2.88	47	2.07	1.47	9.55	5.53	42	3.22	2.62	22.00	13.40	39	6.88	6.28										
225	3.29	1.45	56	1.47	0.87	5.90	3.17	46	2.18	1.58	10.49	6.15	41	3.47	2.87	24.50	15.00	39	7.60	7.00										
250	3.43	1.54	55	1.51	0.91	6.34	3.45	46	2.31	1.71	11.43	6.76	41	3.74	3.14	27.00	16.60	39	8.32	7.72										
300	3.71	1.73	53	1.58	0.98	7.20	4.02	44	2.54	1.94	13.32	8.00	40	4.26	3.66															
350	4.00	1.92	52	1.66	1.06	8.07	4.60	43	2.78	2.18	15.21	9.23	39	4.78	4.18															
400	4.29	2.11	51	1.74	1.14	8.94	5.16	42	3.02	2.42	17.09	10.46	39	5.30	4.70															
450	4.57	2.30	50	1.82	1.22	9.80	5.73	42	3.26	2.66	18.98	11.69	38	5.83	5.23															
500	4.86	2.50	49	1.89	1.29	10.67	6.30	41	3.50	2.90	20.87	12.93	38	6.35	5.75															

本表各值按下列各式计算。

表 7.1.1—52 焊接钢管管壁厚度及允许腐蚀深度表 mm

管子内径 d	$p_N \leqslant 0.4MPa$					$p_N \leqslant 1MPa$					$p_N \leqslant 3MPa$				
	设计厚度 δ	极限厚度 δ_j	余量系数 φ%	允许腐蚀深度		设计厚度 δ	极限厚度 δ_j	余量系数 φ%	允许腐蚀深度		设计厚度 δ	极限厚度 δ_j	余量系数 φ%	允许腐蚀深度	
				h_1	h_2				h_1	h_2				h_1	h_2
15	2.04	0.63	69	1.12	0.52	2.11	0.67	68	1.15	0.55	2.33	0.82	64	1.20	0.60
20	2.06	0.64	68	1.13	0.53	2.14	0.69	67	1.16	0.56	2.44	0.89	63	1.24	0.64
25	2.07	0.65	68	1.13	0.53	2.18	0.72	66	1.16	0.56	2.54	0.96	62	1.26	0.66
32	2.09	0.66	68	1.14	0.54	2.23	0.75	66	1.18	0.58	2.70	1.06	60	1.31	0.71
40	2.11	0.68	67	1.14	0.54	2.29	0.79	65	1.20	0.60	2.87	1.17	59	1.36	0.76
50	2.14	0.69	67	1.16	0.56	2.36	0.84	64	1.21	0.61	3.09	1.32	57	1.41	0.81
65	2.19	0.72	67	1.17	0.57	2.46	0.91	63	1.24	0.64	3.42	1.53	55	1.51	0.91
80	2.23	0.75	66	1.18	0.58	2.57	0.98	61	1.27	0.67	3.74	1.74	53	1.60	1.00
100	2.28	0.79	65	1.19	0.59	2.72	1.07	60	1.32	0.72	4.18	2.203	51	1.72	1.12
125	2.36	0.84	64	1.21	0.61	2.89	1.19	58	1.36	0.76	4.72	2.39	49	1.86	1.26
150	2.43	0.88	63	1.24	0.64	3.07	1.31	57	1.40	0.80	5.27	2.75	47	2.01	1.41

$$\delta=\frac{pDi}{2[\sigma]-p}+C,mm \qquad \delta_j=\frac{p_sD_i}{2[\sigma]_j-p_s}+C_j,mm \qquad \varphi=\frac{\delta-\delta_j}{\delta}\times100\% \qquad h_1=0.8(\delta-\delta_j),mm \qquad h_2=0.8(\delta-\delta_j)-0.6,mm$$

式中： C ——腐蚀余量，取 2mm；

$[\sigma]$——许用应力，$[\sigma]=86.3MPa(8.8kgf/mm^2)$

p_s ——试验压力，$p_s=1.5p$，MPa；

C_j ——极限腐蚀余量，$C_j=0.6mm$；

$[\sigma]_j$ ——极限许用应力，$[\sigma]_j=0.95\sigma_s$；

σ_s ——屈服限，$\sigma_s=206MPa$。

本表各值是按下列各式计算的：

$$\delta=\frac{pD_i}{2[\sigma]-p}+C \quad 及 \quad \delta_j=\frac{p_sD_i}{2[\sigma]_j-p_s}+C_j$$

式中：$[\sigma]$及$[\sigma]_j$均取无缝钢管的 80%

表 7.1.1—53

铜管管壁厚度及允许腐蚀深度表 mm

管子内径 d_j	$p_N \leq 0.4MPa$					$p_N \leq 1MPa$					$p_N \leq 3MPa$					$p_N \leq 64MPa$					$p_N \leq 16MPa$					$p_N \leq 25MPa$				
	设计厚度 δ	极限厚度 δ_j	余量系数 φ%	允许腐蚀深度 h_1	h_2	设计厚度 δ	极限厚度 δ_j	余量系数 φ%	允许腐蚀深度 h_1	h_2	设计厚度 δ	极限厚度 δ_j	余量系数 φ%	允许腐蚀深度 h_1	h_2	设计厚度 δ	极限厚度 δ_j	余量系数 φ%	允许腐蚀深度 h_1	h_2	设计厚度 δ	极限厚度 δ_j	余量系数 φ%	允许腐蚀深度 h_1	h_2	设计厚度 δ	极限厚度 δ_j	余量系数 φ%	允许腐蚀深度 h_1	h_2
15	1.10	0.24	78	0.69	0.47	1.25	0.30	76	0.76	0.54	1.79	0.51	72	1.02	0.80	2.79	0.88	68	1.53	1.31	6.46	2.01	69	3.56	3.34	1.71	3.23	72	6.87	6.56
20	1.13	0.25	78	0.70	0.48	1.34	0.34	75	0.80	0.60	2.05	0.61	70	1.15	0.93	3.39	1.10	68	1.83	1.61	8.27	22.61	68	4.53	4.31	15.29	4.24	72	8.84	8.62
25	1.17	0.27	77	0.72	0.50	1.42	0.37	74	0.84	0.62	2.32	0.72	69	1.28	1.06	3.99	1.33	67	2.13	1.91	10.09	3.22	68	5.50	5.28	18.86	5.25	72	10.89	10.67
32	1.21	0.29	76	0.74	0.52	1.54	0.42	73	0.90	0.68	2.68	0.86	68	1.45	1.23	4.82	1.64	66	2.54	2.32	12.64	4.06	68	6.86	6.64	23.86	6.67	72	13.75	13.53
40	1.27	0.31	76	0.77	0.55	1.68	0.47	72	0.97	0.75	3.11	1.02	67	1.67	1.45	5.78	2.00	65	3.02	2.80	15.55	5.02	68	8.42	8.20	29.57	8.29	72	17.02	16.80
50	1.34	0.33	75	0.81	0.59	1.85	0.54	71	1.05	0.83	3.63	1.23	66	1.92	1.70	6.97	2.45	65	3.62	3.40	19.18	6.23	68	10.36	10.14					
65	1.44	0.38	74	0.85	0.63	2.10	0.64	70	1.17	0.95	4.42	1.54	65	2.30	2.08	8.76	3.12	64	4.51	4.29	24.64	8.04	67	13.28	13.06					
80	1.54	0.42	73	0.90	0.68	2.36	0.74	69	1.30	1.08	5.21	1.85	64	2.69	2.47	10.55	3.80	64	5.40	5.18	30.09	9.85	67	16.19	15.97					
100	1.67	0.47	72	0.96	0.74	2.70	0.88	67	1.46	1.24	6.26	2.26	64	3.20	2.98	12.94	4.70	64	6.59	6.37										
125	1.84	0.54	71	1.04	0.82	3.12	1.05	66	1.66	1.44	7.58	2.77	63	3.85	3.63	15.93	5.82	63	8.09	7.87										
150	2.01	0.61	70	1.12	0.90	3.54	1.22	66	1.86	1.64	8.90	3.29	63	4.49	4.27	18.91	6.95	63	9.57	9.35										
175	2.17	0.67	69	1.20	0.98	3.97	1.39	65	2.06	1.84	10.21	3.80	63	5.13	4.91	21.90	8.07	63	11.06	10.84										
200	2.34	0.74	68	1.28	1.06	4.39	1.55	65	2.27	2.05	11.53	4.32	63	5.77	5.55	24.88	9.20	63	12.54	12.32										
225	2.51	0.81	68	1.36	1.14	4.81	1.72	64	2.47	2.25	12.84	4.83	62	6.41	6.19	27.87	10.32	63	14.04	13.82										
250	2.68	0.88	67	1.44	1.22	5.24	1.89	64	2.68	2.46	14.16	5.35	62	7.05	6.83	30.85	11.45	63	15.52	15.30										

表 7.1.1—54

铝合金管管壁厚度及允许腐蚀深度表 mm

管子内径 d	p_N=0.1MPa					p' =0.25MPa					p_N=0.4MPa					p_N=0.6MPa					p_N=1MPa				
	设计厚度 δ	极限厚度 δ_j	余量系数 φ%	允许腐蚀深度		设计厚度 δ	极限厚度 δ_j	余量系数 φ%	允许腐蚀深度		设计厚度 δ	极限厚度 δ_j	余量系数 φ%	允许腐蚀深度		设计厚度 δ	极限厚度 δ_j	余量系数 φ%	允许腐蚀深度		设计厚度 δ	极限厚度 δ_j	余量系数 φ%	允许腐蚀深度	
				h_1	h_2				h_1	h_2				h_1	h_2				h_1	h_2				h_1	h_2
15	1.03	0.22	78	0.65	0.45	1.07	0.24	77	0.66	0.46	1.11	0.27	75	0.67	0.47	1.16	0.30	74	0.69	0.49	1.27	0.37	70	0.72	0.52
20	1.03	0.22	78	0.65	0.45	1.09	0.26	76	0.66	0.46	1.14	0.29	74	0.68	0.48	1.21	0.34	71	0.70	0.50	1.36	0.43	68	0.74	0.54
25	1.04	0.23	77	0.65	0.45	1.11	0.27	75	0.67	0.47	1.18	0.31	73	0.70	0.50	1.27	0.37	70	0.72	0.52	1.45	0.49	66	0.77	0.57
32	1.06	0.24	77	0.66	0.46	1.14	0.29	74	0.68	0.48	1.23	0.35	71	0.70	0.50	1.34	0.42	68	0.74	0.54	1.57	0.57	63	0.80	0.60
40	1.07	0.25	76	0.66	0.46	1.18	0.31	73	0.69	0.49	1.28	0.38	70	0.72	0.52	1.43	0.47	67	0.77	0.57	1.72	0.66	61	0.85	0.65
50	1.09	0.26	76	0.66	0.46	1.22	0.34	72	0.71	0.51	1.35	0.43	68	0.74	0.54	1.53	0.54	64	0.79	0.59	1.90	0.77	59	0.90	0.70
65	1.11	0.27	75	0.67	0.47	1.29	0.38	70	0.73	0.53	1.46	0.49	66	0.78	0.58	1.69	0.64	62	0.84	0.64	2.16	0.94	56	0.98	0.78
80	1.14	0.29	74	0.68	0.48	1.35	0.43	68	0.75	0.55	1.57	0.56	64	0.81	0.61	1.85	0.75	59	0.88	0.68	2.43	1.11	54	1.06	0.89
100	1.16	0.31	73	0.70	0.50	1.44	0.48	66	0.77	0.57	1.71	0.65	61	0.85	0.65	2.07	0.88	57	0.95	0.75	2.79	1.34	51	1.16	0.96
125	1.22	0.34	72	0.70	0.50	1.55	0.55	64	0.80	0.60	1.89	0.77	59	0.90	0.70	2.33	1.05	54	1.02	0.82	3.24	1.63	49	1.29	1.09
150	1.25	0.37	70	0.71	0.51	1.66	0.62	62	0.83	0.63	2.01	0.88	56	0.90	0.70	2.60	1.22	53	1.10	0.90	3.69	1.91	48	1.42	1.22
175	1.31	0.40	69	0.73	0.53	1.77	0.69	61	0.86	0.66	2.24	0.99	55	1.00	0.80	2.87	1.39	51	1.18	0.98	4.14	2.20	46	1.55	1.35
200	1.35	0.43	68	0.74	0.54	1.88	0.77	58	0.89	0.69	2.42	1.11	54	1.05	0.85	3.14	1.56	50	1.26	1.06	4.58	2.48	45	1.68	1.48

本表各值按下列各式计算：

$$\delta=\frac{pD_i}{2[\sigma]-p}+C,mm$$

$$\delta_j2=\frac{p_sD_i}{2[\sigma]_j-p_s}+C_j,mm$$

$$h_2=0.8(\delta-\delta_j)-0.2,mm$$

余同表5.1.1—19各式。

式中：C——腐蚀余量，取1mm；

$[\sigma]$——许用应力，$[\sigma]=29.4MPa$；

$[\sigma]_j$——极限许用应力，$[\sigma]_j=0.59\sigma_b=109.9MPa$；

σ_b——抗拉强度限，$\sigma_b=186.3MPa$；

C_j——极限腐蚀余量，$C_j=0.2mm$。

本表各值按下列各式计算：

$\delta,\delta_j,\varphi,h_1$，同表7.1.1—51各公式。

h_2同表7.1.1—53中公式。

式中：$[\sigma]=许用应力=\frac{\sigma_b}{6.33}=27.9MPa$；

σ_b——抗拉强度限，$\sigma_b=176.5MPa$

$[\sigma]_j$——极限许用应力，$[\sigma]_j=0.95\sigma_s=65.2MPa$

σ_s——屈服限，$\sigma_s=68.7MPa$；

C——腐蚀余量，C=1mm；

C_j——极限腐蚀余量，Cj=0.2mm。

(3)管子内外壁表面的腐蚀破坏

管壁内外表面的腐蚀破坏，一般如图7.1.1—7所示。

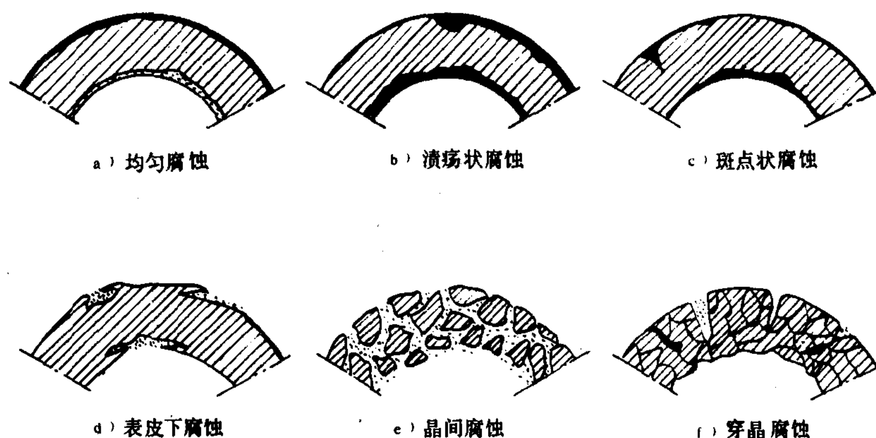


图7.1.1—7 管壁内外表面腐蚀破坏类型

①均匀腐蚀 管壁内外表面全部或大部分腐蚀是比较均匀的。

②局部腐蚀 腐蚀破坏仅局限在内、外表面个别部位，其部位与深度，可能是比较均匀的或不均匀的。按其腐蚀程度和状态可分为腐蚀初始阶段的斑点状腐蚀及较深部位的溃疡状腐蚀、表皮下腐蚀等三种。

a. 斑点腐蚀：腐蚀集中在个别小点上，或几个小点联成的斑纹上。

b. 溃疡腐蚀：斑点腐蚀逐渐加骤，由麻点、斑痕、小坑和表皮剥离发展到在局部地区形成较大的破坏。

c. 表皮下腐蚀：腐蚀从表面开始向内扩展，引起表面的肿胀和分层剥离。

③晶粒腐蚀　分晶间腐蚀和穿晶腐蚀两种。

a. 晶间腐蚀：腐蚀沿着晶粒的边界进行，虽然金属外表变化不大，但其机械性能严重变坏，以至产生晶间腐蚀破裂。

b. 穿晶腐蚀：腐蚀贯穿晶粒本体，使金属产生裂缝，以至产生腐蚀开裂。

(4)管子受锋锐物件擦伤造成沟槽缺肉：

①管壁受锋锐物件擦伤，造成明显的沟槽缺肉的类型，如图 7.1.1—8 所示。

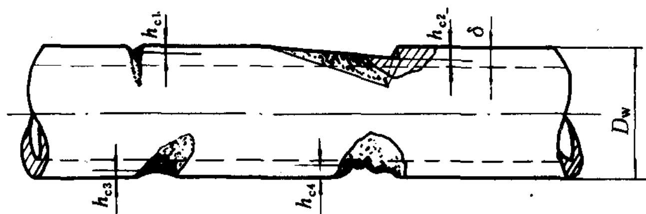


图 7.1.1—8　管子擦伤类型

hc_1hc_2—锋锐型；hc_3—圆弧型；hc_4—任意型；δ—管壁厚度

②在管子每米长度内各种类型擦伤的数量，一般不得多于 2 处；D_o＝50～150mm 时，不得多于 3 处；D_o＞150mm 时，不得多于 4 处。擦伤深度 hc 不得超过表 7.1.1—55 的规定。擦伤数量和擦伤深度超过标准时，应酌情采用焊补措施。

表 7.1.1—55　　**擦伤允许深度表**　　mm

管子内径 \ 工作压力 MPa \ 管子类别	无缝钢管					电焊钢管			铜管						铝合金管		
	1	3	6.4	16	25	0.4	1	3	0.4	1	3	6.4	16	25	≤0.25	0.6	1
15	1.30	1.38	1.52	1.85	2.51	1.28	1.31	1.40	0.77	0.86	1.15	1.72	4.01	7.63	0.75	0.79	0.84
20	1.31	1.41	1.61	2.04	2.94	1.29	1.33	1.46	0.79	0.90	1.30	2.06	5.09	9.95	0.76	0.81	0.87
25	1.33	1.45	1.69	2.23	3.36	1.29	1.34	1.50	0.81	0.95	1.44	2.39	5.28	12.25	0.77	0.84	0.91
32	1.34	1.50	1.82	2.51	3.94	1.30	1.37	1.58	0.83	1.01	1.63	2.86	7.72	15.47	0.78	0.85	0.96
40	1.37	1.58	1.97	2.83	4.61	1.31	1.39	1.66	0.86	1.09	1.88	3.40	9.48	19.15	0.80	0.91	1.03
50	1.39	1.66	2.13	3.21	5.45	1.32	1.41	1.75	0.91	1.18	2.16	4.07	11.66		0.82	0.95	1.11
65	1.42	1.77	2.39	3.80	6.71	1.34	1.47	1.90	0.95	1.31	2.59	5.08	14.94		0.85	1.02	1.22
80	1.47	1.89	2.66	4.38	7.97	1.36	1.51	2.05	1.01	1.46	3.02	6.08	18.22		0.86	1.08	1.34
100	1.51	2.04	3.00	5.17	9.65	1.39	1.58	2.25	1.08	1.64	3.60	7.42			0.91	1.18	1.49
125	1.58	2.24	3.43	6.14	11.74	1.41	1.67	2.49	1.30	1.86	4.33	9.10			0.96	1.30	1.68
150	1.64	2.44	3.86	7.12	13.83	1.45	1.74	2.74	1.26	2.09	5.05	10.76			1.01	1.41	1.88
175	1.71	2.61	4.30	8.09					1.35	2.32	5.77	12.45			1.05	1.53	2.07
200	1.77	2.84	4.73	9.07					1.44	2.56	6.49	14.11			1.10	1.64	2.27
225	1.84	3.02	5.17	10.04					1.53	2.78	7.21	15.80					
250	1.91	3.22	5.61	11.03					1.62	3.02	7.93	17.46					
300	2.03	3.62	6.47														
350	2.16	4.01	7.34														
400	2.29	4.40	8.21														
450	2.39	4.80	9.08														
500	2.53	5.19	9.95														

(5)管子因受撞碰形成凹陷变形：

①管子受撞碰形成凹陷变形，可分为普通型和锋锐型，如图 7.1.1—9 所示。管子各凹陷表面积之和，不应超过所核算管子总面积的 1/3，其凹陷最大深度不应超过表 7.1.1—56 的规定。若凹陷深度超过规定时，可采取整形措施。

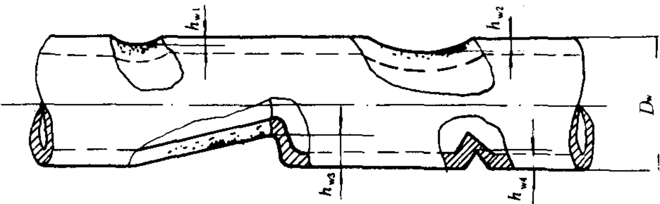


图 7.1.1—9 管子凹陷类型

hw_1、hw_2—普通型；hw_3、hw_4—锋锐型

表 7.1.1—56 **凹陷允许深度表** mm

管子外径D_0	普通型凹陷允许深度	锋锐型凹陷允许深度
<25	0.5～1	≤0.5
25～40	2	1
41～60	3	1.5
61～80	4	2
81～100	5	2.5
101～150	6	3
151～200	8	4
201～250	10	5
251～300	12	6
301～400	15	7.5
401～500	20	10

②凹陷表面若有伤痕、缺肉等缺陷，一般情况均按锋锐型凹陷处理。损伤较重者可按表 7.1.1—56 擦伤要求处理。超过允许标准者，可采用焊补措施。

③真空管路，外压管路。不允许有凹陷存在。个别轻微凹陷，不影响管壁稳定性时，可允许存在。

(6)管子平直处的直度 A、圆度 B_1、弯曲处圆度 B_2，不得超过表 7.1.1—57 的规定。

表 7.1.1—57 **管子直度 A 与圆度 B**

材质 / 变形 / 外径 Dmm	钢管			有色金属管		
	A‰	B_1%	B_2%	A‰	B_1%	B_2%
<15	1.5	11	13	5	6	7
15～25	1.5	11	13	6.5	6	7
26～60	2.0	10	12	8	6	7
61～100	2.0	10	12	9	5	6
101～150	3.0	9	11	10	5	6
151～250	3.0	9	11	12	5	6
251～350	4.0	8	10	15	4	5
>350	5.0	8	10	18	4	5

注：直度 A 仅适用于有不直度要求的管子。B_1 为直管，B_2 为弯管。

(7)两对接管接口处之同轴度，应按表 7.1.1—58 规定。

表 7.1.1—58　　对接管接口处的不同轴度

管壁厚度,mm	<2	2～3	3～5	6～9	9～15	>15
不同轴度,mm	<0.3	0.3～0.6	0.6～1.0	1.0～1.5	1.5～2.5	<3.0

(8)法兰连接,须符合下面各项要求,否则应予以修正或更换。

①法兰密封面应平整无斑痕、无毛刺和其他影响密封性之缺陷。

②法兰密封面与轴心线的垂直度不应大于 30′。

③法兰连接时,相对应的两密封表面外缘平行度按表 7.1.1—59 的规定。

表 7.1.1—59　　法兰密封表面间之平行　　mm

法兰尺寸	不平行度　不大于	
公称通径 D_N	p_N<3MPa	p_N≥3MPa
<50	2	1.5
65～100	3	2
125～200	4	3
225～350	6	
400～500	8	

注:铸铁阀箱、阀件和通舱管件之法兰不受此限,但管路敷设时应尽先考虑由此端开始进行安装。

④法兰内缘表面应光整,法兰与所连接管子外径之装配平均间隙,按表 7.1.1—60 的要求。

表 7.1.1—60　　法兰与所连接管子外径之装配平均间隙

公称通径 D_N,mm	平均装配间隙,mm
<25	<0.5
25～80	0.6～1.0
100～200	1.1～2.0
225～300	2.1～3.0
≥350	<3.5

⑤法兰其他表面不得有严重翘曲、损伤,其均匀腐蚀厚度不应大于原厚度的 20%。

⑥折边松套法兰:折边部分应平整,不得有瘤、缩径、皱折、斑痕、凹坑、刮伤及裂纹等缺陷,折边部分厚度减小量不得大于原厚度的 30%,法兰与折边的接触应均匀,不应有晃动及接触不严情况存在。

(9)管子的几种应急(或临时)修理方法:

①加箍法:在管路的损坏处加复板或箍。应用这种方法之前,须拆除绝热包扎物,刷去或刮掉管子外表面的锈垢,复上衬垫(材料:水管——压制纸板、厚纸板、2～3mm 厚的石棉橡胶板、3～5mm 厚的橡皮板,以及用胶水浸过的布;油管——2～3mm 厚的压制纸板、厚纸板或临时采用橡皮板;蒸汽管——石棉橡胶板、纤维胶板等;空气管——同水管)。衬垫的两纵向部分要

超过损坏面长 40～50mm，再在衬垫的上面加金属复板（2～5mm 厚的铜板或钢板）然后从损坏处的中部沿两端每隔 40～50mm 均匀地用箍箍牢，如图 7.1.1—10 所示

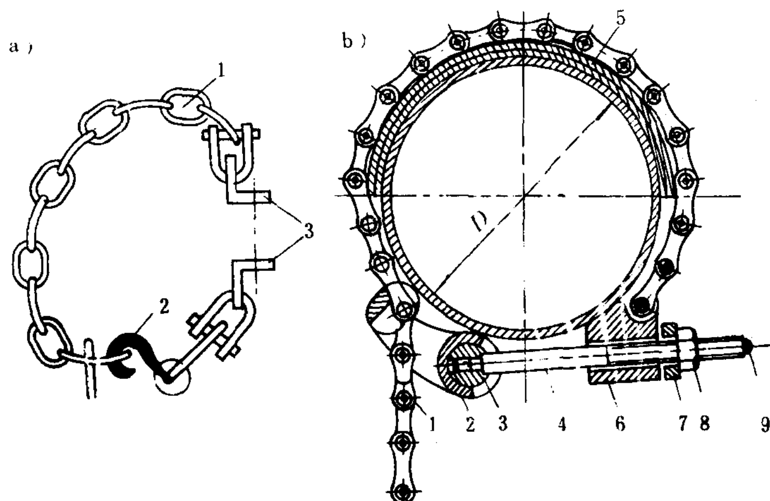


图 7.1.1—10 金属箍

a)链条箍； b)手绞练箍

1—练环；2—练钩；3—铰练；4—拉紧螺栓；5—金属板；6—扣紧接块；7—垫圈；8—螺母；9—防脱圈及螺钉

采用上述两种练箍的修理方法，既快又可靠，但难以保证在管子上箍得很平服，同时需要有现成的存货。

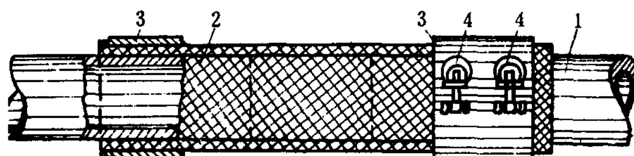


图 7.1.1—11 软管的接法

1—管子；2—夹有金属丝的橡胶软管子；3—箍；4—夹板

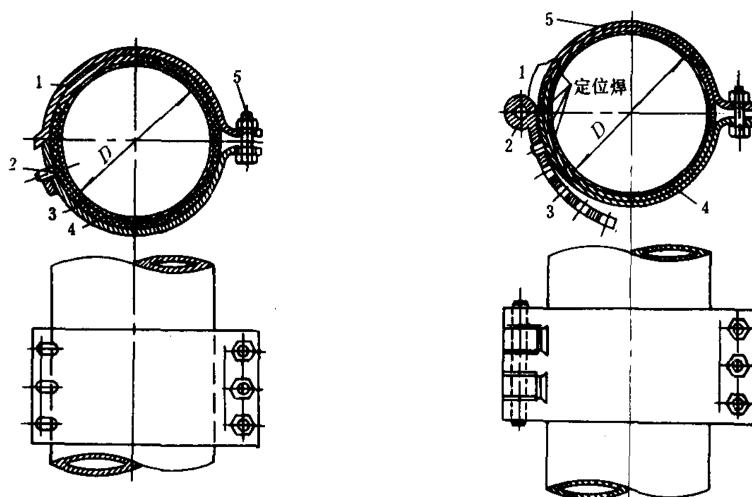


图 7.1.1—12 夹箍

1—上半环；2—凸耳；3—下半环；

4—衬垫；5—螺栓及螺母

图 7.1.1—13 夹箍

1—燕尾铰链 ；2—销；3—凸耳；

4—下半环；5—上半环

②软管法：用于某一段管路损坏的修理方法。其修补程序：先将损坏的管段锯下，用夹有金属丝或纤维的橡皮软管代替锯下的管段，然后在两端用铁丝或特种夹箍箍牢，如图 7.1.1—11 所示为典型软管修理法之一实例。所采用的夹箍，如图 7.1.1—12 及 7.1.1—13 所示。

如果管子上的漏洞很小，不宜采用软管修补方法，则可用圆锥形塞子或绕有浸过油的布楔块塞住。塞好后，应将凸出的部分割平，并复以衬垫或涂有铅丹的帆布，最后用箍或铁丝围紧，如图 7.1.1—14 所示。

③缠布法：这个方法只能用于低压管子破洞较小的场合，尤宜用于水管的修补。其修补程序，即在破洞处复以橡胶块或涂有铅丹的帆布，外绕缠棉布 6～8 层。

④焊补法：该法在近代船舶系统管路修理上应用最广，原因是简便可靠，如果设备及条件允许，在船上或车间都能进行修理，但应特别注意，在船上焊补管子，应按安全操作规程要求进行，严防火灾和爆炸。

⑤简易修补法：这个方法最适合于管子突然产生破损的应急修理。优点是简便，迅速可靠，缺点是夹箍要预制存库备用，而且规格繁多，结构如图 7.1.1—15 所示。

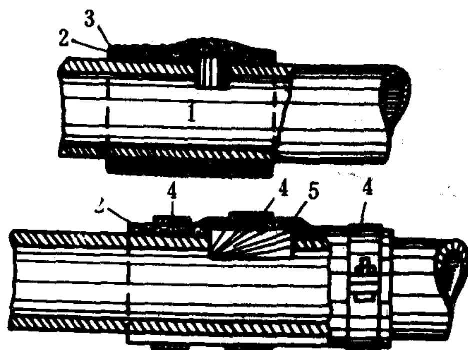


图 7.1.1—14　用塞子塞补小直径漏洞法

1—管子；2—衬垫；3—铁丝；4—箍；5—楔块

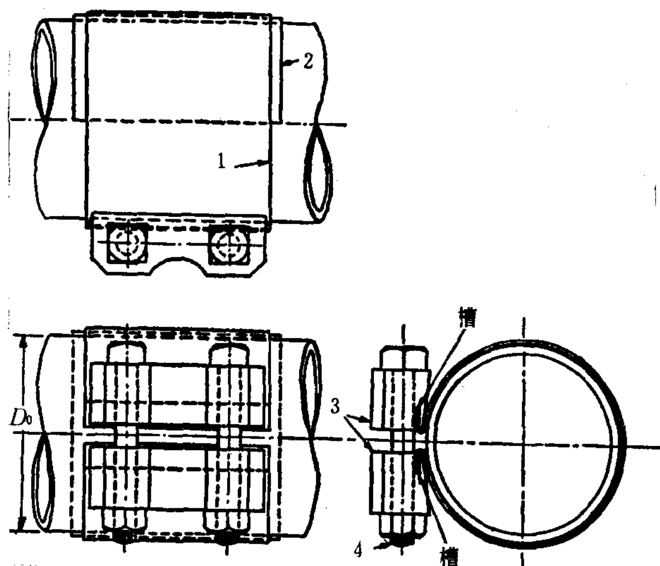


图 7.1.1—15　金属夹箍

1—夹箍，厚度 0.8～1.0mm 的白铁皮(镀锌薄板)；2—衬垫，厚度为 3～4mm 橡皮；3—螺栓夹紧钢座；4—螺栓及螺母，一般为 M12～16mm；D_0—管子外径

⑥松套伸缩接头修补法：该接头(详见本篇第 2 章 2、3、5、4 节)是新型接头，它能很好地用来修补各种高、低压管路的破损管子(图 7.1.1—16)其最大优点是修理简便，不需要气割或电焊，也不要专门修理工具或设备。

⑦胶带法：这是近年来采用修补低压水管的简便方法，其修补程序，即在破洞处周围用细锉刀锉去锈垢，然后将专门的胶带绕缠 6～8 层即够，如有必要再加夹箍更为可靠。

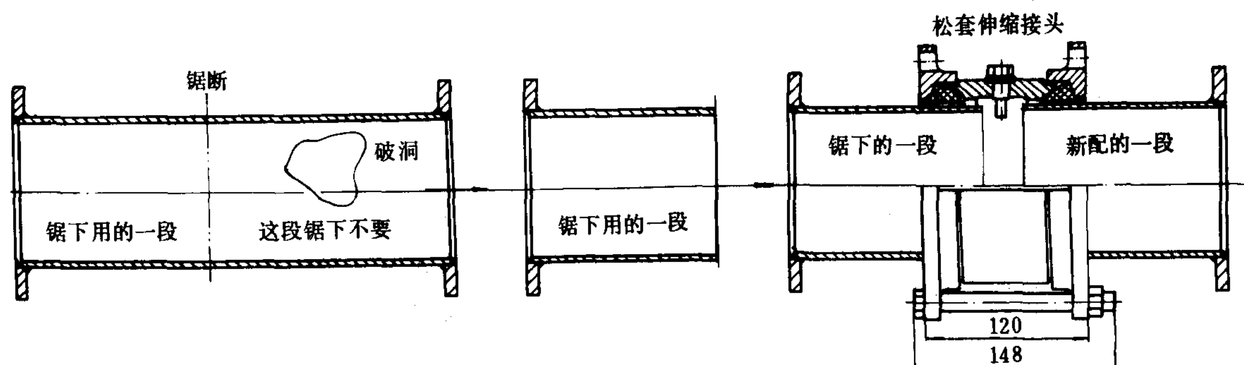


图 7.1.1—16 用松套伸缩接头修补管子法

2)管路的验收

(1)新造船舶的系统管路(见 8.2.2)(1)节;

(2)修理船舶的系统管路(见 8.2.2)(2)节;

(3)密性试验,检查各接头、密封面处的密封应无渗漏等情;

(4)系统管路上船安装完毕后,以工作介质作流通和效用试验,应无渗漏等情况。

8.2 附件的修理和验收

1)附件的修理

(1)钢、铜阀体和公称压力 $P_N \leqslant 1.6$MPa、$D_N \geqslant 80$mm 的灰铸铁,球墨铸铁的阀体均匀腐蚀深度达原厚度的 30%、阀体法兰有裂纹、翘曲、端面腐蚀等无法修整和经修补后再次液压试验仍有渗漏,应予换新。

(2)阀体法兰用切削方法消除腐蚀、裂纹或翘曲时,减薄厚度大于原始厚度的 20%,应予换新。

(3)钢、铜阀座,$p_N \leqslant 1.6$MPa、$D_N \geqslant 80$mm 的灰铸铁、球铁的阀座,有裂纹或与阀体密合部有环状腐蚀时,允许焊补、研磨,无法修复时换新。

(4)经焊补的阀件,应退火处理,消除应力。

(5)阀座磨损高度超过原高度的 50%以上,或已经多次加工影响密合强度,应予换新。

(6)阀盘密封面磨损时,允许光车研磨,$p_N \geqslant 0.8$MPa、$D_N \geqslant 80$mm 的阀盘密封面,磨损高度超过原高度的 80%时,应予换新。

(7)填料压盖与阀杆的间隙磨损量超过最大安装间隙的 25%,应予换新。

(8)保险阀、减压阀和温度调节阀修理后,按原系统规定压力或温度无法调准时,其弹簧或整体换新。

(9)旋塞塞芯下沉,引起通孔面积减小率超过 10%时。应予换新。

(10)闸阀阀瓣下沉量超过密封面宽度的 1/3 时,应填焊光车研磨,用填焊研磨无法修复时,应予换新。

(11)阀件研磨密封表面,经研磨修复后,不允许存在任何缺陷。但闸阀和 $p_N \leqslant 0.6$MPa 的旋塞的研磨密封表面,在确保密性试验合格的情况下,允许有个别、独立、洁净的小坑,各小坑的深度应小于 1mm;各小坑间的距离应大于小坑最大直径的 25 倍,允许小坑存在的总数目和

小坑直径不应超过表 7.1.1—61 的规定。

表 7.1.1—61　　**阀件密封面上允许的小坑数目**

阀　种	D_N,mm	小坑数目,个	阀　种	D_N,mm	小坑数目,个
闸阀	≤150	3	旋塞	<40	3
	200～350	5			
	400～450	7		>40	6

(12)旋塞的最大缺陷是塞芯表面刮损,从而使壳体与塞芯之间密性破坏,发生渗漏,如果渗漏不大时,可将填料函压盖的螺栓拧紧,增大填料函压盖对塞芯的压力。

(13)阀门或旋塞的填料函漏水,消除办法就是均匀地拧紧压盖上的螺母(此时一定先将管路内压力降低到大气压力),如果还不能制止漏水,则更换填料。

(14)闸阀不适用于输送含有沉淀物的流体,因为固体颗粒或泥渣落到阀体底部槽内是无法消除,且越积越多,会妨碍阀瓣的关闭或关紧,并能导致阀瓣的工作密封面很快磨损。如发现这种情况可采取三个办法:①拆下阀门冲洗;②研磨或焊补再研磨;③部分换新或整体换新。

(15)蝶阀目前归纳有三种基本形式:偏心式、中心对夹式和偏心对夹式。修理分两种情况:就地修理和拆下送厂修理。蝶阀的故障主要是漏,偏心式阀瓣两侧缘碰管子(管子内径小于阀瓣外径才有这种情况),将橡胶密封圈刮掉(指橡胶密封圈嵌在阀瓣上)。蝶阀的修理方法,见表 7.1.1—62。

表 7.1.1—62　　**蝶阀修理方法**

种　　类	就　地　修　理	车　间　修　理
偏心式	换阀瓣的密封圈	改变偏心距或换密封圈
中心对夹式	更换橡胶密封套圈	
偏心对夹式	换密封套圈	改变偏心距或换密封套圈

(16)法兰的修理是换垫片。要注意不管是新装或修复安装,法兰连接螺栓拧紧程度要适当,螺栓拧得过紧,也是造成法兰渗漏原因。还有管路安装不对中或偏斜,法兰也要漏。所以法兰修理,如属于安装不妥,应进行调整对中。

(17)松套伸缩接头的修理:这种接头安装要求低,且密封性能又好,维修工作量小,所以国内外在船上已大量使用,它的修理多半是换密封圈。

2)附件的验收

(1)新造的阀门,应由制造厂质量检验部门验收,并出具合格证,方可出厂。验收时的检查内容包括:①材料证明书;②外观检查;③尺寸核验;④装配检查;⑤液压试验或工作介质试验。

(2)经修理后的阀门,由修理厂质量检查部门验收,验收合格后方可入库或上船安装。

(3)船舶管系管路的密性试验、系统的效用试验及管系工程的总验收应有用船方参加。

(4)液流观察器的玻璃应透明无变形。

(5)经修理后的管路附件的活动件应升降、转动灵活,无卡阻现象,外表无锈层、污物等。

第 2 章　管子和通用附件

1 管　子

1.1 管子分类

船舶管系的管子种类，按其制造材料可分为：碳素钢管、合金钢管、双金属管、紫铜管、黄铜管、铝管、铸铁管、塑料管和内部涂塑或衬橡胶的钢管等；按其制造方法可分为：热轧钢管、冷拔钢管、对接焊接钢管、搭接焊接钢管和螺旋形焊接钢管等；按其结构形式可分为：无缝管和有缝管(焊接管)等；按其外表颜色可分为：黑铁管(钢管和铁管)和白铁管(镀锌钢管)等；按其用途可分为：蒸汽管、水管、水煤气管和电缆管(焊接钢管)等；按其壁的厚薄可分为：薄壁管和厚壁管等。其中以按结构分类最为普遍及合理，见图 7.1.2—1

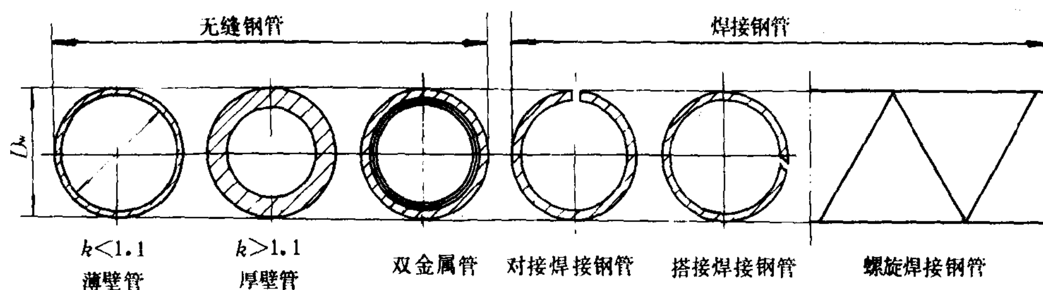


图 7.1.2—1　管子种类

美国把一般钢管分为三类：标准管、加强管和双加强管。

1.2 规范对船用管子的要求

1.2.1　Ⅰ级和Ⅱ级管路中所使用的钢管，应为无缝钢管或按照验船部门认可的焊接工艺而制造的焊接管。

1.2.2　Ⅰ级和Ⅱ级管路中所使用的铜管和铜合金管，应为无缝铜管。Ⅲ级管路所使用的铜和铜合金材料，应按照验船部门认可的技术标准进行制造和试验。

1.2.3　灰铸铁管不得用Ⅰ级和Ⅱ级管系；一般可用于Ⅲ级管系及油船货油舱内的货油管路，但不得用于下列用途：

1)通过货油舱引向首部压载舱的专用压载管路；

2)载运闪点低于或等于 60℃货油的油船露天甲板上的货油管；

3)介质温度超过 220℃的管系；

4)遭受水击，过分变形和严重振动的管系；

5)锅炉排污管路；

6)蒸汽管路、消防管路、舱底水管和压载水管。

1.2.4 铁素体球墨铸铁管可用于双层底舱和货油舱内舱底、压载和货油管路，但不得用于介质温度超过350℃的管路。

1.2.5 塑料管的使用和要求，参见本章1.4塑料管节。

1.2.6 在舱底水和压载水管路中使用非金属软管时，应经原型压力试验，其爆破压力不得小于最大许用工作压力的5倍。每根软管并应经最大许用工作压力的1.5倍液压试验，还应经验船部门同意。

1.3 管子材料和使用范围

船用管子的制造材料和使用温度极限，见表7.1.2—1

表7.1.2—1 **船用管子的材料**

管子种类	材料牌号	使用温度极限，℃
无缝碳素钢管	10、15、20;25、30、35、40、45、50、(GB699及YB231)	<350
焊接钢管	A_2、A_3、A_4(GB700及YB242)	
无缝合金钢管	15CrMo、12Cr1MoV、16Mn、15MnV、0.9MnV 1Cr13、2Cr13、3Cr13Cr18Ni9Ti(GB1591及GB1220)	<450
紫铜管	T_2、T_3、T_4、TUF、TU_1、TU_2(GB5231)	
铝黄铜管	HA177—2	
铜镍合金管	NCu40—2—1、NCu28—2.5—1.5(蒙乃尔合金)(GB4435)<230,	最高可用到250
黄铜管	H62、H68、H96、HSn70—1、HSn62—1、HPb59—1、 HFe59—1—1(GB5232)	
双合金管*	10+T2	
铝合金管	L4、L6、LF2、LF3、LF6、LF11、LF21(GB3190)	<200
内部涂塑钢管	涂聚氯乙烯	
塑料管	硬聚氯乙烯塑料、聚乙烯塑料	<60

* 内部铜片厚度为0.6～0.8mm。

船舶系统一般所采用的管子，见表7.1.2—2。

表 7.1.2—2　**船舶系统一般采用的管子**

介质种类	系统名称	管路名称	适用区域	管子种类	备注
水	海水系统	日用给、排海水管路	甲板舱室	镀锌钢管 紫铜管 塑料管	塑料管只限于干舷甲板以上使用
	饮水系统	饮水管路 沸水管路 饮水注入管		不锈钢管 紫铜管 钢管	钢管尽量不使用
	压载水系统	压载水管路	压载舱内	镀锌无缝或焊接钢管、塑料管	
			燃油及货油舱内	无缝钢管	按规范管壁加厚，也有用焊接钢管
		其余压载水管路	在压载水舱以外	镀锌无缝或焊接钢管、塑料管	
	舱底水系统	舱底水管路	燃油及货油舱内	无缝或焊接钢管	
			其他	镀锌无缝或焊接钢管	
	生活污水系统	厨房及生活污水 排泄管路 粪便排泄管路 甲板落水管	干舷甲板以上	镀锌焊接钢管、塑料管	
			干舷甲板以下	按规范要求	
			干舷甲板以上	镀锌焊接钢管、塑料管	
			干舷甲板以下	按规范要求	
	热水系统	饮用沸水（开水）管路		不锈钢管 紫铜管	
		洗濯热水管路 热水取暖管路		镀锌无缝或焊接钢管、铜管	<80℃
		货油舱热水清洗管路		镀锌无缝钢管	
	水灭火系统	灭火水管路兼甲板冲洗管路	舱（室）内	镀锌无缝钢管	
			其他	镀锌焊接钢管	
		甲板洒水管路		镀锌无缝或焊接钢管	

续上表

介质种类	系统名称	管路名称	适用区域	管子种类	备注
蒸汽	蒸汽取暖系统	蒸汽取暖干管至暖气器支管	由干管接至暖气器部分	无缝或焊接钢管紫铜管	
	蒸汽灭火系统			无缝 钢管	
	油舱加热系统	油舱加热管	油舱内	无缝 钢管,翅片式黄铜管,翅片式铸铁管	
		加热蒸汽管路 凝水管路		无缝钢管	
	油舱蒸洗管路	蒸洗蒸汽管路		无缝钢管	
	甲板机械蒸汽管路	蒸汽管路		无缝 钢管	
		排汽管路		焊接钢管	
	通海阀及舷旁阀吹洗管路	吹洗蒸汽管路		无缝钢管	
空气	压缩空气系统	压缩空气管路	压缩空气供至消耗处——机械、器具、气笛、泵空气室、压力柜充气管	镀锌无缝或焊接钢管	
	通海阀及舷旁阀吹洗管路	吹洗空气管路			
	风动工具空气系统	空气管路			
	控制空气系统	控制空气管路	舱内	无缝黄铜管、尼龙管	
			其他	镀锌无缝钢管、紫铜管、尼龙管	
	应急消防水泵空气系统	空气管路	进气	镀锌无缝钢管	
			排气	镀锌焊接钢管	

续上表

介质种类	系统名称	管路名称	适用区域	管子种类	备注
油	货油装卸系统	货油泵吸入管路货油舱内吸入阀与吸入喇叭之间的管路、甲板上管路		无缝或焊接钢管	
		在压载水舱内管路	在压载水舱内	无缝 钢管	
	货油舱清洗系统	清舱管路		无缝或焊接钢管	
	液压油系统	操舵液压油管路		无缝钢管、紫铜管	
		舱盖板驱动液压油管路	压力油管路		
			回油管路		
		甲板机械驱动液压油管路	压力油管路	无缝钢管	
			回油管路		
CO_2	CO_2 灭火系统	压力管路		无缝钢管	
		施放管路			
其他	泡沫灭火系统			镀锌无缝或焊接钢管	
	火灾探测系统	火灾探测管路		镀锌无缝或焊接钢管	
	冷藏系统	冷却管路	在冷库内		
	惰性气体系统				内壁涂环氧树脂
	测量管			镀锌无缝钢管、塑料管	1)通过燃油舱和压载水舱管壁加厚 2) 通过燃油舱的管子不镀锌
	甲板落水管				
	空气管			镀锌无缝或焊接钢管	
	电缆管		油水舱内	镀锌无缝钢管	
			露天部位	镀锌无缝钢管、塑料管	

1.4 塑料管

塑料管的优点是轻、耐腐；缺点是耐温性和耐火性差。温度低于 0℃时开始脆化，韧性降低，而温度高于 60℃时又开始软化，强度又迅速下降。从各国船级社的规定看，都是既同意使用，又对使用范围进行限制。

船舶用的塑料管是用耐冲击的硬聚氯乙烯塑料管。它适用于船上的管路范围，见表 7.1.2—3 和 7.1.2—4。

表 7.1.2—3　**海洋干货船、拖船、渔船及工程船塑料管的适用管路范围**

序号	适用管路	采用部位
1	露天甲板落水管	不引入冷藏舱，但排入船内的排水管
2	疏排水管	同上
3	粪便管	干舷甲板以上及排入粪便柜部分
4	压载水管	压载水舱内的压载水管
5	卫生水(舷外水)管	干舷甲板以上
6	测量管	货舱测量管
7	电缆管	除机舱和屏蔽要求外，局部管段使用

表 7.1.2—4　　内河船舶(油船除外)塑料管的适用管理范围

序号	适用管路	采用部位
1	露天甲板落水管	不引入冷藏舱,但排入船内的排水管
2	疏排水管	不引入冷藏舱,但排入船内的排水管
3	粪便管	干舷甲板以上及排入粪便柜部分
4	压载水管	压载水舱内的压载水管
5	卫生水(舷外水)管	全部(包括重力水柜的溢流管)
6	洗濯冷水管	同上
7	测量管	油舱及淡水舱,客船除外
8	电缆管	全部,但易受机械破损、油污和机舱花钢板以下处,不能使用
9	通风管	全部,但客船除外
10	空气管	压载水舱、空舱的空气管
11	洒水管	除机舱部分外

1.5　船舶管路和识别符号的油漆颜色

1)管路油漆颜色,主要包括 2 个内容:

(1)管路管子颜色 表示管内流体的性质和种类;

(2)识别符号颜色 表示流体的用途或压力。

2)基本识别颜色及含义,见表 7.1.2—5。

表 7.1.2—5　　管路标色的含义

颜色名称	含义	颜色名称	含义
绿色	海水(舷外水)	红色	消防
银色	蒸汽或排烟	灰色	淡水
棕色	液体燃料	黑色	废污液体
黄色	滑油	兰色	制冷剂
浅兰色	空气和氧类气体		

3)管路和识别符号油漆的涂刷有三种方法,由用船部门选定。

(1)管路全长涂刷色漆,识别符号(⇨)。除蒸汽管路为红色外,其余均为白色,详见 GB3033 标准中的表 2。

(2)管路的油漆颜色与所在舱室颜色相同,识别符号按表 7.1.2—5 原则涂刷油漆,详见 GB3033 标准中的表 3。

(3)管路的油漆颜色与所在舱室颜色相同,识别符号按 GB3033 标准中的表 3 的颜色制成胶带,将胶带绕缠在管路上。

4)管路的识别符号,除上述的我国船用标准外,在国外(进口船上)还有一种管路识别符号的规定,兹摘录以供参考。

(1) 船上各种管路,除涂刷规定的油漆外,还必须于管路明显地方涂刷表示流体种类的色漆。字体高 32mm。D_N25 以下的管路字高 20mm,字体的附近漆 80mm 长的箭头,表示管内流

体的流向。

(2) 用颜色的塑料胶带识别含义如下：

a) 压缩空气 50mm 宽黄色环带 1 条

b) 通风 25mm 宽黄色环带 2 条(距离 25mm)

c) 冷风 25mm 宽黄色环带 3 条(距离 25mm)

d) 灭火剂 50mm 宽棕色环带 1 条

e) 液压力 50mm 宽蓝色环带 1 条

f) 液压控制 25mm 宽蓝色环带 2 条(距离 25mm)

g) 燃油 50mm 宽红色环带 1 条

h) 汽油 25mm 宽红色环带 2 条(距离 25mm)

i) 滑油 25mm 宽红色环带 3 条(距离 25mm)

j) 给入蒸汽 50mm 宽黑色环带 1 条

k) 排汽 25mm 宽黑色环带 2 条(距离 25 mm)

l) 凝水或放泄水 50mm 宽绿色环带 1 条

m) 消防总管 25mm 宽绿色环带 2 条(距离 25mm)

n) 冲洗水 25mm 宽绿边环带 3 条(距离 25mm)

o) 淡水或清水 25mm 宽绿色环带 4 条(距离 25mm)

p) 海水或盐水 25mm 宽绿色环带 5 条(距离 25mm)

1.6 管子弯曲加工

船舶的各种管子外径在 325mm 以内的碳钢无缝管、180mm 以内的铜管和铜合金管、70mm 以内的铅管和铝合金管、6in 以内的水煤气钢管，均可在弯管机上冷弯或热弯和在平台上加热弯曲。

管子的弯曲，一般采用冷弯的方法，在工厂缺少冷弯设备的情况下，允许采用热弯。但水煤气钢管不宜采用热弯。20 号钢钢管不能采用中频弯曲。

不锈钢管及合金钢管宜冷弯，如必须热弯时，不锈钢管加热应避免渗碳，而对淬硬倾向较大的合金钢管则不得浇水冷却。

1)管子热弯时，加热应缓慢均匀地热透，且应防止过热。加热温度参照表 7.1.2—6。

表 7.1.2—6 **管子热弯时的温度**

管子材料	开始弯曲温度 ℃	弯曲终了温度 ℃
碳钢	900～1050	700
紫铜	850～860	300
黄铜	600～700	400
钼钢、钼铬钢	900 ～1000	750
双金属	850	580
不锈钢	950～1100	850

2) 合金钢管和外径大于 120mm 的碳钢蒸汽管、经弯曲后应进行退火处理，碳钢管加热到 600～650℃，保持时间。壁厚 25mm 或不足 25mm 者，至少 1h，然后在平静空气中缓慢冷却，合金钢管的热处理。根据成分决定。

3） 铜和铜合金管冷弯时，弯曲后应进行退火处理，退火温度为500～700℃。

4） 管子弯曲半径，一般不宜小于3倍管子外径，在管路布置比较紧凑的地方，允许小于3倍，但不得小于2倍管子外径（定型弯头例外）。

5） 弯管的检验：

（1）外观质量：

管壁不应有擦伤沟槽或碰撞形成的明显凹陷，对非重要用途的管子在弯曲处，如有沟槽，深度在壁厚10%以下，凹陷深度不超过管子外径的5%时，允许使用。管子弯曲处的背部不得有裂纹、结疤、烧伤、折叠、分层等缺陷。

（2）圆度：

弯曲处的圆度，应符合表7.1.2—7的规定

表7.1.2—7 **弯管的允许圆度**

弯曲半径，R	$R<2D_o$	$2D_o<R\leqslant 3D_o$	$3D_o<R\leqslant 4D_o$	$R>4D_o$
圆度 %	≤10	≤9	≤7	≤5

圆度计算：

$$\frac{A-B}{D_o}\times 100\% \qquad (7.1.2—1)$$

式中：A——弯曲处截面最大外径，mm；

B——弯曲处截面最小外径，mm；

（3）收缩率：

管子弯曲后，其弯曲处的截面最大外径尺寸，会出现小于原来管子的实际外径尺寸的现象，这种现象称为收缩率，其计算式如下：

$$1-\frac{A+B}{2D_o}\times 100\% \qquad (7.1.2—2)$$

管子弯曲后的收缩率，应符合表7.1.2—8的规定。

表7.1.2—8 **弯管的允许收缩率**

弯曲半径，R	$R<2D_o$	$2D_o<R\leqslant 3D_o$	$3D_o<R\leqslant 4D_o$	$R>4D_o$
收缩率， %	≤6	≤5	≤4	≤3

（4）壁厚减薄率：

管子壁厚实际减薄率应不大于：

$$\frac{D_o}{2.5R}\times 100\% \qquad (7.1.2—3)$$

实际减薄率的计算式如下：

$$\frac{\delta-\delta_1}{\delta}\times 100\% \qquad (7.1.2—4)$$

式中： δ——弯曲前的管壁实际平均厚度，mm；

δ_1——弯曲后的管壁实际平均厚度，mm。

（5）褶皱高度：

管子弯曲后，允许有均匀褶皱存在，但其高度不得超过管子实际外径的4%。

1.7 船用碳钢无缝钢管标准

本标准适用于制造船舶用的Ⅰ级耐压管系、Ⅱ级耐压管系及过热器碳钢无缝钢管。

1.7.1 船用碳钢无缝钢管的外径和壁厚尺寸，如表 7.1.2—9 所列。材料为 10 及 20 号钢。

表 7.1.2—9 **船用碳钢无缝钢管标准**(GB5312)

序号	公称通径 D_N mm	钢管外径 D_o mm	壁厚 δ,mm
1	6	10	2.0,2.5
2	8	(12)	2.0,2.5,2.8,3.0
		14	
3	10	17	2.0,2.5,2.8,3.0
		(18)	
4	15	22	2.5,3.0,3.5
5	20	(25)	2.5,3.0,3.5,4.0
		27	
6	25	(32)	2.5,3.0,3.5,4.0,4.5,5.5
		34	
7	32	(38)	2.5,3.0,3.2,3.5,4.0,5.0,6.0
		42	
8	40	48	3.0,3.5,4.0,5.0,6.0,7.0,7.5
9	50	(57)	3.0,3.5,4.0,4.5,5.0,5.5,6.0,8.0,9.0
		60	
10	65	76	3.0,4.0,4.5,5.0,6.0,7.0,8.0,
11	80	89	3.5,4.0,4.5,5.5,7.0,7.5,8.0,9.5,11
12	100	(108)	4.0,4.5,6.0,7.0,9.0,11,13,14
		114	
13	125	(133)	4.5,5.0,6.0,7.0,8.0,9.5,10,11,16
		140	
14	150	(159)	6.0,7.0,7.5,9.0,11
		168	
15	200	(194)	6.0,11
		219	6.5,8.0,8.5,10,12
16	250	273	7.0,9.0,9.5,10,12,14
17	300	325	8.0,10,11,14,16
18	350	(351)	9.0,12
		377	9.0,11,12,14,16
19	400	(402)	9.0,13
		406	9.0,12,13,16,18
		(426)	

续上表

序 号	公称通径 D_N mm	钢管外径 D_o mm	壁 厚 δ,mm
20	450	457	9.0,12,20
		(480)	
21	500	508	9.0,12,14
		(530)	

注:表中带括号的尺寸,不推荐使用。

1.7.2 钢管长度

通常热轧钢管为3～12m;冷拔钢管为3～10m。

表7.1.2—10 **水煤气钢管的壁厚和重量**

D_N		D_o	普通钢管		加厚钢管		螺 纹		
A	B		δ	重 量	δ	重 量	螺纹外径	每英寸螺纹数	螺纹最大长 度
mm	in	mm	mm	kg/m	mm	kg/m	mm	—	mm
8	$\frac{1}{4}$	13.50	2.25	0.62	2.75	0.73	—	—	—
10	$\frac{3}{8}$	17.00	2.25	0.82	2.75	0.97	—	—	—
15	$\frac{1}{2}$	21.25	2.75	1.25	3.25	1.41	20.956	14	14
20	$\frac{3}{4}$	26.75	2.75	1.63	3.50	2.01	26.442	14	16
25	1	33.50	3.25	2.42	4.00	2.91	33.250	11	18
32	$1\frac{1}{4}$	42.25	3.25	3.13	4.00	3.77	41.912	11	20
40	$1\frac{1}{2}$	48.00	3.50	3.84	4.25	4.58	47.805	11	22
50	2	60.00	3.50	4.88	4.50	6.16	59.616	11	24
65	$2\frac{1}{2}$	75.50	3.75	6.64	4.50	7.88	75.187	11	27
80	3	88.50	4.00	8.34	4.75	9.81	87.887	11	30
100	4	114.0	4.00	10.85	5.00	13.44	113.034	11	36
125	5	140.0	4.50	15.04	5.50	18.24	138.435	11	38
150	6	165.0	4.50	17.81	5.50	21.63	163.836	11	42

注:①镀锌焊接钢管,按表中重量加3%;

②按管端形式分为不带螺纹(光管)和带螺纹钢管;

③钢管长度:不镀锌的为4～10m,镀锌的为4～9m;

④用于工作压力<1MPa的管路,最大不得超过3MPa。

1.7.3 钢管的理论重量,可按下式估算(钢的ρ=7.85,g/cm²)

$$W=0.02466156(D_o-\delta)\quad kg/m \qquad (7.1.2—5)$$

式中: δ——管子壁厚,mm;

D_o——管子外径,mm。

1.7.4 水煤气钢管标准(YB234)(见表7.1.2—10)

2 通用附件

2.1 附件的分类

船舶管系的附件种类繁多，结构复杂，形式多样，大小不一，用途各异，分类的方法也多，其中以下列两种分类方法最简便实用。

1)按系统使用范围分类，见表 7.1.2—11。

表 7.1.2—11　**附件按使用范围分类表**

类　别	名　称	说　明
通用附件	连接件：法兰，高、低压管子螺纹接头，松套伸缩接头，橡胶补偿接头，波形膨胀接头，焊接套管，定型焊接弯头，通舱管件等	船舶系统和船舶动力管路都要使用的附件
	阀件：截止阀，止回阀，闸阀，蝶阀，球阀，节流阀，旋塞，保险阀，减压阀，阀箱等	
船舶系统附件	吸入滤网，泥箱，吸入口，冲洗阀，消防接头，消防阀，防火透气头，疏水器，空气减压阀，CO_2 并头阀，测深自闭阀，呼吸阀，防火安全网，防浪阀，甲板漏水口等	船舶系统管路上的专用附件
船舶管路附件	通海阀，海水粗滤器，舷旁排出阀，气水分离器，给水阀，液流观察器，温度控制阀等。	船舶管路上的专用附件

2)按结构形式分类，见表 7.1.2—12。

表 7.1.2—12　**附件按结构形式分类表**

类　别	名　称
截止附件类	直通截止阀，直角截止阀，闸阀，蝶阀，旋塞，针形阀，三通截止阀，双座截止阀，球阀等
自动附件类	安全阀，保险阀，减压阀，温度控制阀，压力控制阀，浮筒控制阀，水位调节阀，疏水器、电磁阀，气动阀，液压阀、自闭阀，止回阀，自闭式放泄阀等
阀　箱　类	单排截止阀箱，单排止回阀箱，单排截止一止回阀箱，双排二联驳用截止阀箱，双排三联驳用截止阀箱，管阀箱，旋塞式驳用阀箱，组合式阀箱
液位指示附件类	圆玻璃管液位表，平玻璃板液位表，浮筒式液位指示器，气动液位指示器，磁性液位表等
连接件类	法兰，高、低压管子螺纹接头，松套伸缩接头，焊接套管接头，橡胶补偿接头，波形膨胀接头，通舱管件等
其他附件类	管子吊架，泥箱，冲洗阀、防浪阀，粗、细滤器、液流观察器等

2.2 规范对船舶管路附件的要求

2.2.1 使用要求：

1)所有附件的结构，当工作时均应能防止阀盖及填料函压盖发生脱开或松动的可能。

2)阀的手轮应以顺时针方向转动为关闭,逆时针方向转动为开启。

3)温度限值:

附件材料的使用温度限值 ,见表 7.1.2—13。

表 5.1.2—13 **附件材料的温度限值**

材　料	使用温度限值, ℃	材　料	使用温度限值 ℃
碳　钢	450	铜镍合金	300
铜及铝黄铜	200	灰铸铁	220
特种青铜	260	铁素体球墨铸铁	350

2.2.2 材料[9]

1)灰铸铁的阀件和附件,不得用于Ⅰ级和Ⅱ级管路。一般可用于Ⅲ级管路和油船货油舱内的货油管路,但不得用于下列场合:

(1)舷旁的和海水箱上的阀件和附件;

(2)安装在防撞舱壁上的阀件和附件;

(3)燃油舱外壁上受压的阀件和附件,但有可靠的机械保护设施者除外。

2)Ⅱ级和Ⅲ级管路中使用的球墨铸铁阀件和附件,其材料的最低伸长率在标距为 $5.65\sqrt{A}$ 时不得小于 12%,(A 为试样的截面积)。球墨铸铁的伸长率应合表 7.1.2—14 的最低要求,否则作为灰铸铁处理。

表 7.1.2—14 **球墨铸铁的伸长率**

抗拉强度下限值 σ_b,MPa	$\sigma_{0.2}$ MPa	伸长率 δ_5,%	硬　度 HB	金　相　结　构
	不　小　于			
3.73	2.26	17	120～180	铁素体
4.02	2.45	12	140～200	同上
5.00	3.24	7	170～240	铁素体/珠光体
5.98	3.73	3	190～270	同上
6.96	4.22	2	230～300	珠光体
8.04	4.81	2	250～350	珠光体或细化结构

注:中间值可用内插法求得。

铁素体球铁可用于舷旁阀件和附件,以及双层底舱和货油舱内的舱底、压载与货油管路的阀件和附件。

3)消防阀应为铜合金或其他耐燃、耐蚀的材料制造。

4)气体灭火系统中用的钢瓶瓶头阀,应由青铜或不锈钢材料制成。

5)海水系统中的阀件和附件,应由耐腐材料制造,如铜或不锈钢等。

2.2.3　试验压力

所有阀件和附件，在装船前，均应在车间以1·5倍设计压力进行强度液压试验，但不必大于7MPa。

2.2.4　安装要求

1)截止阀的安装应保证流体从阀盘下向上流动的方向。

2)闸阀一般可任意方向安装，但单斜面瓣的闸阀，其平直面阀瓣侧为进口侧。

3)中心式蝶阀可任意方向安装，偏心式蝶阀进口侧为阀瓣背面安装较好。

4)升降式止回阀，举起式止回阀或截止止回阀应保证阀杆垂直向上安装，绝不可横向或倾斜安装；旋启式止回阀，阀瓣与管路轴心线呈近似90°安装。

5)旋塞可任意方向安装。

6)机舱、炉舱、泵舱、管隧及轴隧内的阀门安装，应方便于操作和维修。凡在花钢板以下不便于操作的阀门，应将阀杆接长或配备便于操作的专用工具，花钢板下面有阀门的地方，根据需要在花钢板相应开孔及可提起的盖子。

2.2.5　其他要求

1)遥控阀应有手动操纵装置。

2)阀门和旋塞应有标明主要参数的铭牌和指示开、关的标志。有些调节阀需要指示开度时，则需有指示开度装置。

3)穿过防撞舱壁的管子，须设有在舱壁甲板以上操纵的截止阀，此阀应装在首尖舱舱壁的首尖舱一侧，并带有指明阀门开或关的装置。

2.3　通用管路附件的结构和选择

本节主要介绍船舶管系的典型、新型和比较复杂的通用附件结构与性能，重点介绍新型附件和正确选择附件。

2.3.1　截止阀件类

这类附件主要是用来截断管路中的介质，停止流动，使其管路中的一段与另一段隔开。也可作调节流量和节流降压之用。

2.3.1.1　直通截止阀和直角截止阀

直通截止阀的结构，如图7.1.2—2所示。它可用于海水、淡水、燃油及t<225℃的蒸汽管路中。为船用阀门中使用最多最普遍的阀体。

根据一般习惯，手轮顺时针方向旋转时，阀盘1下降关闭阀门；逆时针方向旋转时，阀盘1上升开启阀门。

直通截止阀(旧称球形阀)的发展演变情况及其阻力性能比较，参见图7.1.2—3。

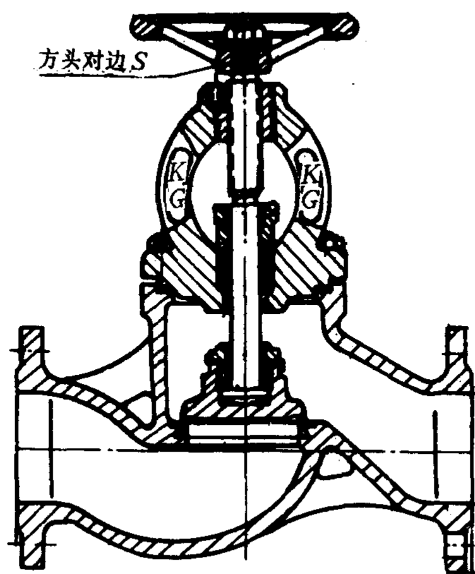


图7.1.2—2　直通截止阀

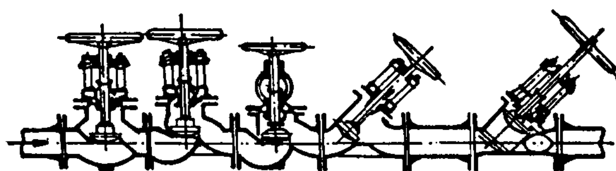
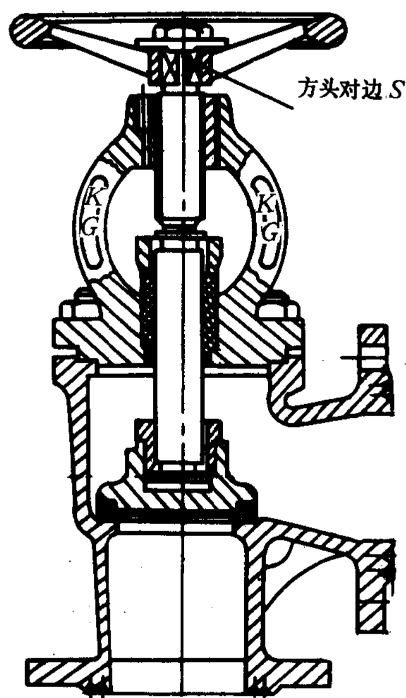


图 7.1.2—3 直通截止阀的发展演变

这种阀允许介质从阀盘下向上或从阀盘上向下流动，但仍应以前者流向为主，而且正确合理。因为后者的流向，当阀盘关闭时，阀盖填料函的填料经常受压，容易引起漏泄，且使阀盘开启需要较大力矩。

直通截止阀的缺点是外形大、耗料多、阻力也大。

直角截止阀的结构，如图 7.1.2—4，它与直通阀之不同点，在于阀体形状不同，直角阀阀体可以改变管路内介质的流向转90°，在某种情况，给安装带来方便，直角阀除阀体外，所用的其他零件均与直通阀相同。



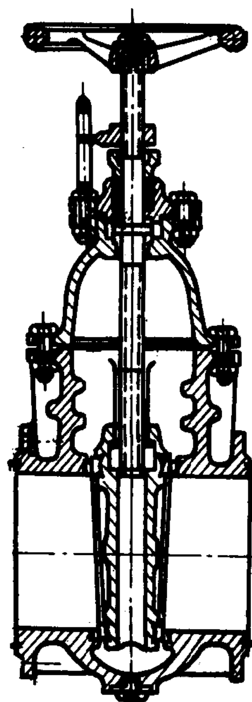


图 7.1.2—4 直角截止阀　　图 7.1.2—5 船用法兰铸铁暗杆式闸阀

2.3.1.2 闸阀

闸阀的结构，如图 7.1.2—5 所示。船用闸阀(GB465)可用于海水、淡水和滑油。

一般闸阀有两种形式，明杆式和暗杆式。明杆式工作可靠，陆用较多，但由于外形尺寸大，所以船用的多为暗杆式闸阀。

闸阀结构复杂，密封面研磨费工，启闭过程极易擦伤，因此维修困难。另外，操作费力。

闸阀不适于用作调节流量和节流降压，主要是当闸瓣处于中间位置时，由于流动的冲击致使敲击声大，且密封面容易损坏。这种阀用于有沉淀的介质时，一旦有泥砂或铁屑附着在密封面上，开关时常常发生擦伤和磨损密封面，同时下部容易积存杂质或泥砂，很难保证阀的密封性。闸阀唯一的优点是阻力小，仅次于球阀。

2.3.1.3 蝶阀

由于蝶阀的转距小，重量轻，尺寸小，密封性好，维修也较简便，目前蝶阀在船上已广泛应

用。

蝶阀的结构有两种类型，偏心式和中心式，如图 7.1.2—6 和 7.1.2—7 所示。前者结构复杂耐压高(1.6MPa 以下，特殊的可更高)；后者工艺简单，耐压低(1MPa 以下)。目前主要采用中心式。还有一种综合两者优点的偏心衬胶对夹式蝶阀，如图 7.1.2—8 所示，其接触密封面为锥形，可耐受较高压力(1.6MPa 以上)，其工艺要求同中心对夹式，阀体包复橡胶，经久耐用。

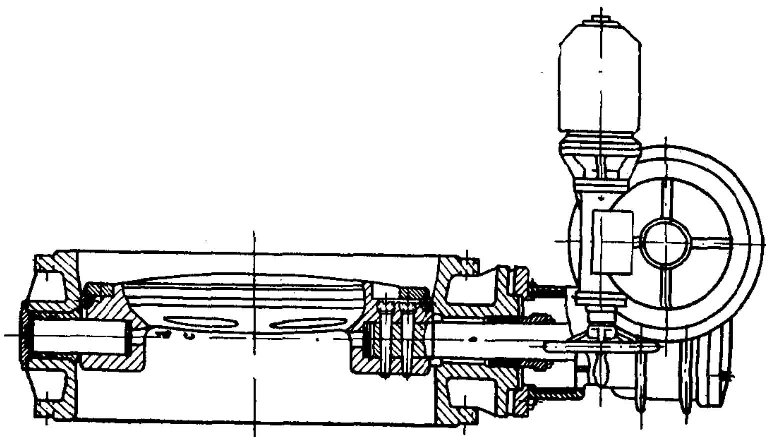


图 7.1.2—6 偏心式蝶阀

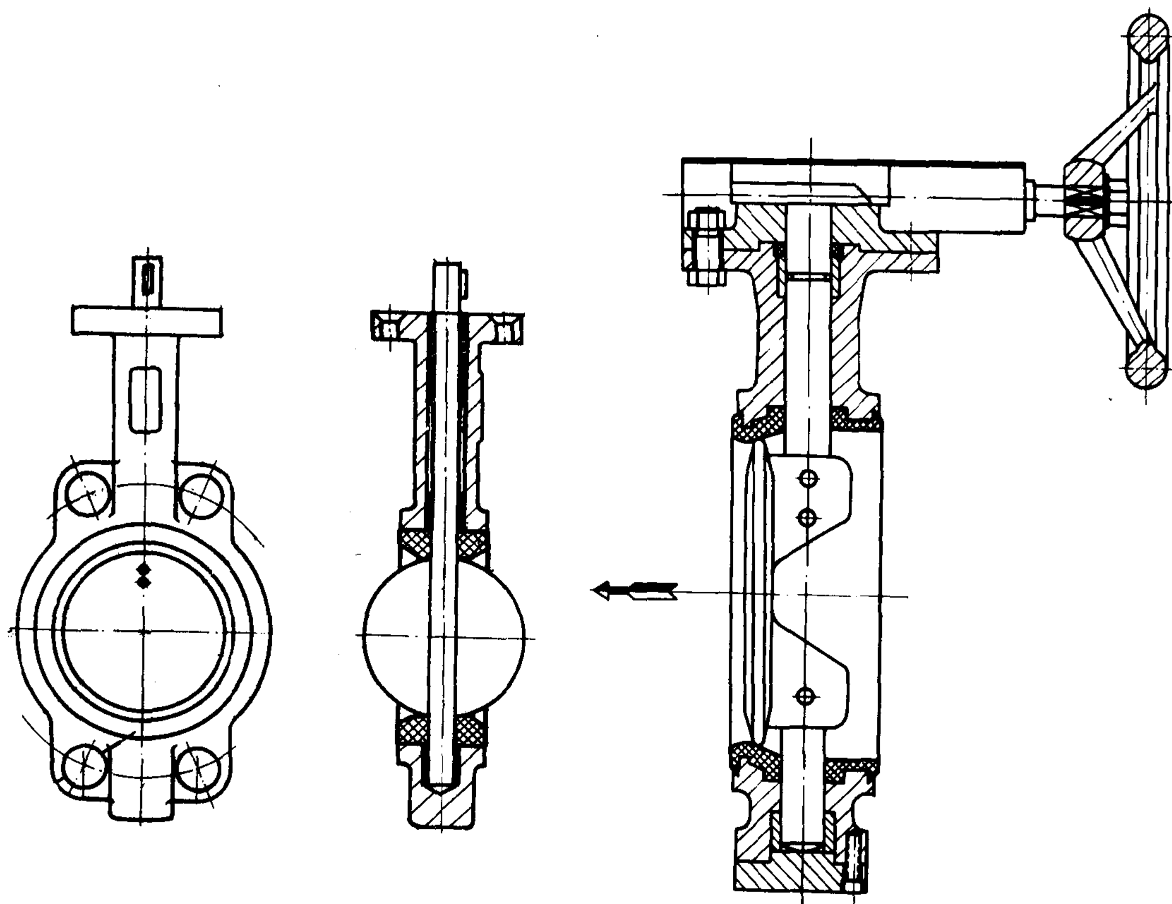


图 7.1.2—7 中心式蝶阀

图 7.1.2—8 偏心衬胶对夹式蝶阀

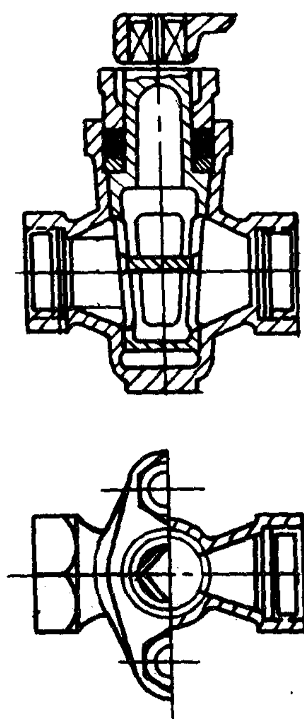


图 7.1.2—9　直通法兰铸铁填料旋塞

蝶阀的关键是密封问题，达到高压不漏。蝶阀的不足处是阻力稍比闸阀大，但比普通截止阀要小得多。蝶阀口径愈大，愈是显得优越。

2.3.1.4　旋塞

旋塞用于速开速闭或转换介质流向的管路上，其结构如图 7.1.2—9 所示。旋塞有直通、三通和多通操纵旋塞，三通有 T、L 型，如图 7.1.2—10 所示。连接形式有法兰、内螺纹、外螺纹和松套式（如图 7.1.2—11 所示），这种旋塞是国内最新式的旋塞。

旋塞型式	位置Ⅰ	位置Ⅱ	位置Ⅲ	位置Ⅳ
直通				
L 型三通旋塞				
T 型三通旋塞				
多通操纵旋塞				

图 7.1.2—10　各种旋塞连通示意图

旋塞的优缺点：优点是开关迅速，将手柄转 90°即可；通道面积，开关几乎不变，所以阻力损失小；结构简单，维修费低。缺点为转动力矩较大；不适合于调节流量；拂磨很费工；一般只限于 D_N50～80mm 及温度不超过 100℃的管路中使用。

旋塞芯子的锥度通常为 1∶6 或 1∶7；压力在 0.6MPa 以内。

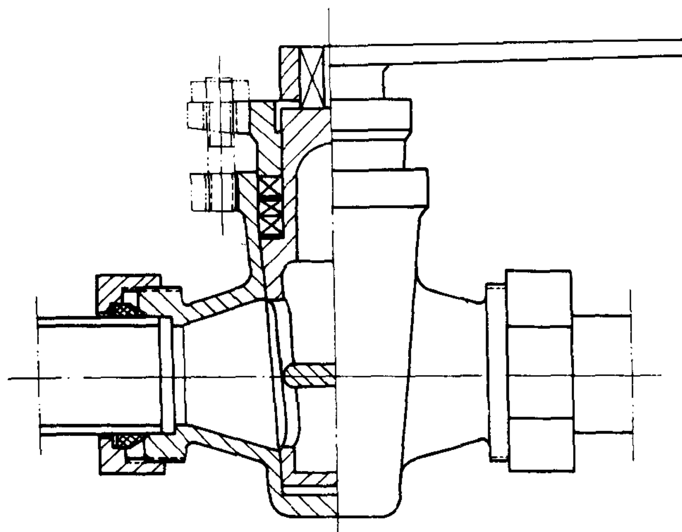
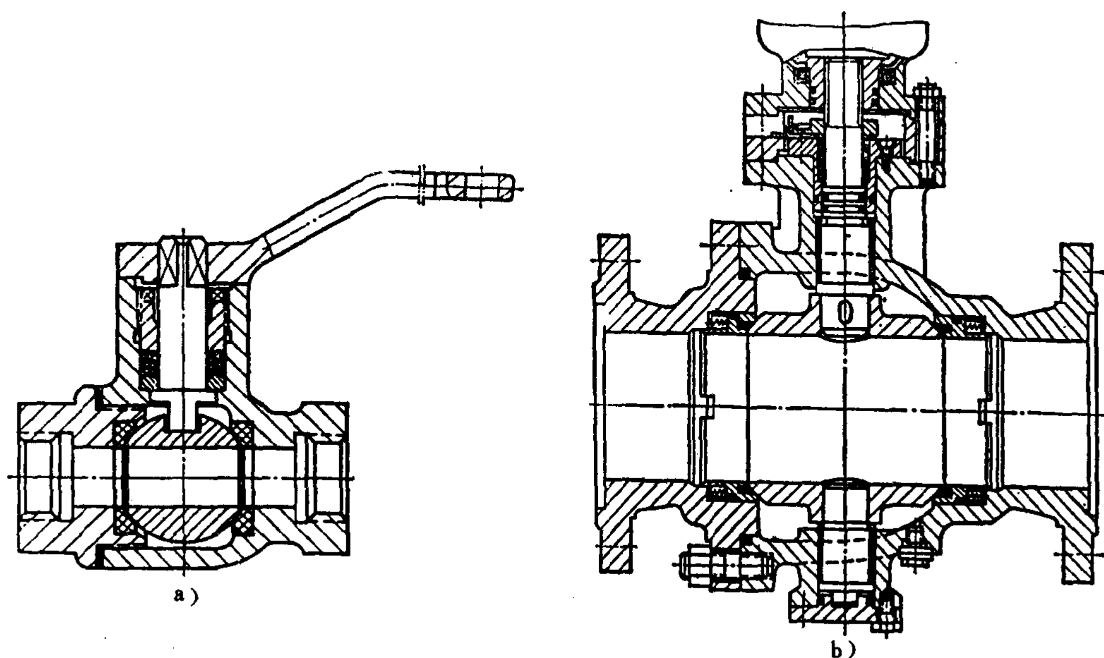


图 7.1.2—11　直通松套伸缩接头式铸铁旋塞

2.3.1.5　球阀

球阀是一种新型阀门，能取代旋塞及截止阀，其结构如图 7.1.2—12 所示。优点为阻力损失最小，工艺简单，但其用途没有旋塞广泛。

球阀有两种形式，浮动式(D_N≤150mm)和固定式(D_N≥200mm)。



浮动式球阀　　固定式球阀

图 7.1.2—12　球阀

2.3.2 自动阀类

自动阀主要借助于阀盘两侧压力变化的压力差进行自动开关，如截止止回阀，可调止回阀；保险阀、减压阀等。

2.3.2.1 保险阀

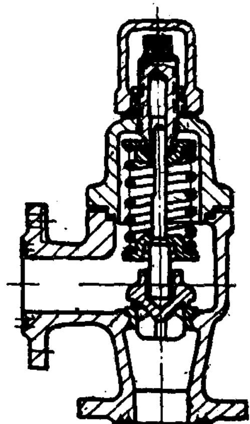


图 7.1.2—13
法兰铸铁直角保险阀

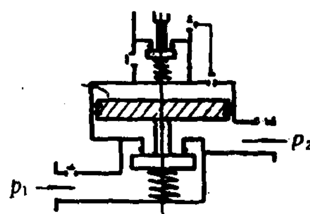
保险阀与安全阀的区别，主要是灵敏度要求不同。装在管路中的叫保险阀(Relief valve)，其灵敏度为工作压力的 15～20%；装在锅炉或机械设备上的叫安全阀(Saft Valve)，其灵敏度要求较高，如锅炉上为工作压力的 3～5%。

管路上的保险阀用来防止其内部工作压力超过规定的压力，起着保护管路不致破裂的作用。船用保险阀的结构，如图 7.1.2—13 所示。保险阀(GB304)适用于淡水、海水及 t≤225℃的蒸汽。

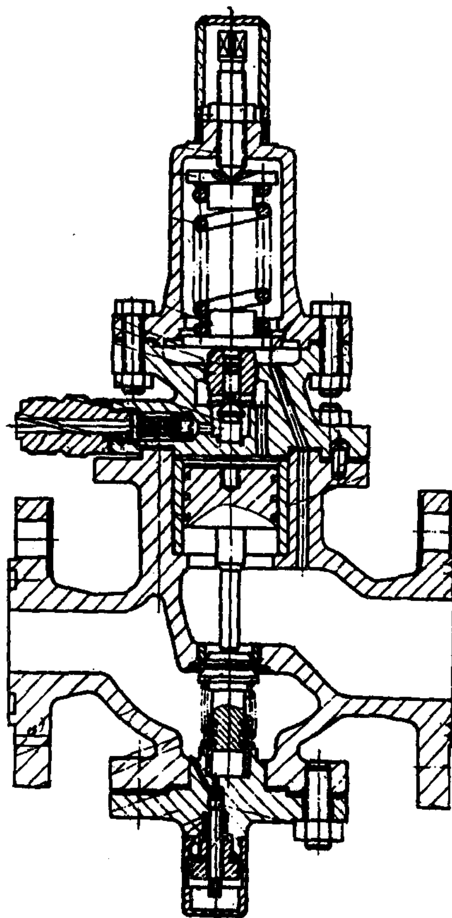
2.3.2.2 减压阀

减压阀能将进口介质压力 p_1 通过阀门节流降压至某一需要的出口压力 p_2，并当进口流体参数变动时，能自动地保持出口压力基本不变(仅在极小的允许范围内稍有变动)。

减压阀的结构，如图 7.1.2—14 所示。它主要由 2 只直接作用式减压阀叠加而成，以本体 1 上盖为界，上部包括滤器 5、导阀(导阀或脉冲阀 6)、膜片 7 及弹簧 4 等；下部包括主阀 3、活塞 2、弹簧 4 及阀体 1 等。工作原理(参见图 7.1.2—14 原理图)：压在导阀 6 的膜片 7(磷铜片或不锈钢弹簧片)能直接感受出口介质压力 p_2 的变化，使导阀 6 的动作反映为主阀载荷压力 p_3 的变化，所以导阀不仅起到主阀调节弹簧的作用，同时还具有将 p_2 的变化量(Δp_2)变为 p_3 的变化量(Δp_3)的放大作用。在运行中，当 p_2 降低时，膜片下弹，导阀开大，进入活塞上部的蒸汽量增多和压力 p_3 变大，迫使活塞下移，主阀开大，p_2 压力回升。反之，p_2 压力增大，膜片上弹，导阀关小，p_3 压力降低，活塞上移，主阀关小，p_2 又变小，这样反复自动调整阀门的开关度，以达到平衡，保持 p_2 在所规定的压力范围之内。



a)



b)

图 7.1.2—14 船用蒸汽减压阀原理图 a)和结构图 b)

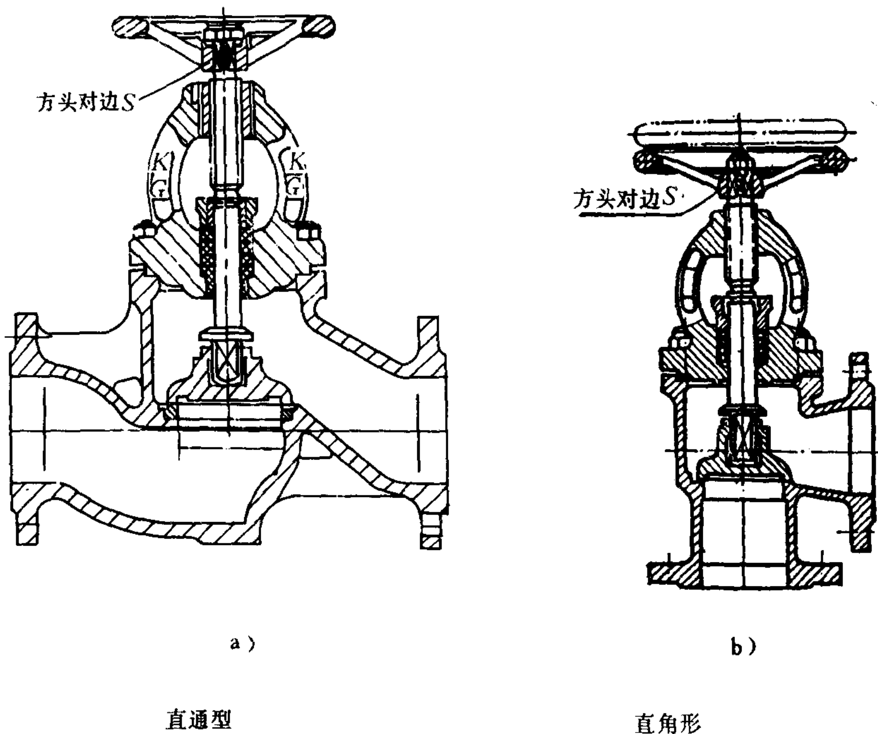
船用减压阀有三个标准：船用法兰铸钢蒸汽减压阀标准(GB1852)，水减压阀标准

(GB624)，法兰球铁蒸汽减压阀标准(CB850)

2.3.2.3 止回阀

止回阀又名单向阀或止逆阀。它只允许介质一个方向流动。根据其结构和作用不同，止回阀有四种形式。

1)截止止回阀：



直通型　　　　直角形

图 7.1.2—15　船用法兰铸铁截止止回阀

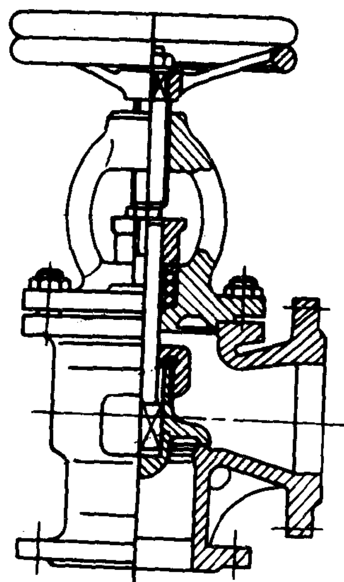


图 7.1.2—16　可调节的止回阀

该阀具有截止和阻止介质逆向流动的双重作用，其结构如图 7.1.2—15 所示，外形和阀体与普通截止阀相同，仅在阀盘和阀杆末端的连接不同。它的阀盘不固接于阀杆端，而是松插在阀盘的导孔中(这里应注意不产生气垫)，因片当旋转手轮使阀杆上升时，阀盘并不随之提升，仅当介质在阀盘下方的作用力大于阀盘上方的作用力时才能跳起，同时跳起的高度可由阀杆上升高度而定。

2)可调节的止回阀(提起式截止止回阀)：

该阀与截止止回阀基本相同，都有截止、止回和节流作用，所不同的是它还有截止阀的作用，完全开启时不起止回阀的作用。它的结构如图 7.1.1—16 所示。在某情况下需要一个流动方向，而在另一情况下，又需要全开或者不需止回作用时，最适合采用这种阀；因为装一个截止阀和一个止回阀都不能满足使用条件，另外，还可以简化管路。

3)升降式止回阀：

它只有止逆作用，升降式止回阀的结构，如图7.1.2—17所示。阀盘的上部做成空心的短管，伸入阀盖突出部分的导筒内，引导阀盘作上下升降。当介质作用于阀盘下部的力大于上部的作用力时，阀盘被介质顶起，开通管路；当介质逆流时，由于阀盘本身重量的作用，阀盘自动关闭；阻止介质逆流。

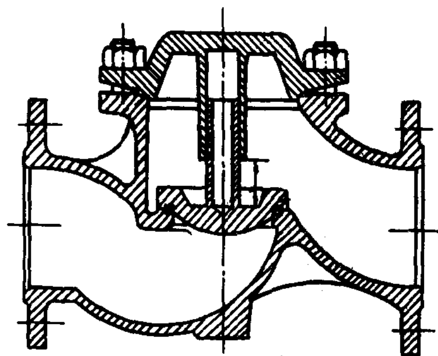


图 7.1.2—17 船用法兰铸铁直通止回阀

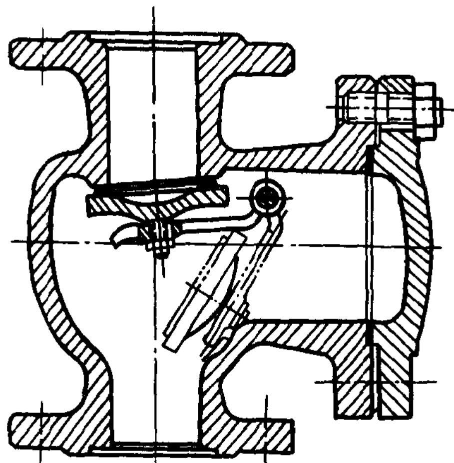


图 7.1.2—18

4)旋启式止回阀：

它靠两侧的压力差而自动地关闭，因此在低压情况下的密封性不如升降式止回阀，其结构如图 7.1.2—18 所示。这种阀在船舶上采用不多，只在粪便水系统中用作防浪阀(CB * 618)。

各种止回阀的安装方式很重要，对升降式止回阀，阀盘必须垂直安装有管路上，如需倾斜，不得偏过阀盘沿垂线 15°。

所有止回阀中的介质流向，都应自阀盘下方向上流动。

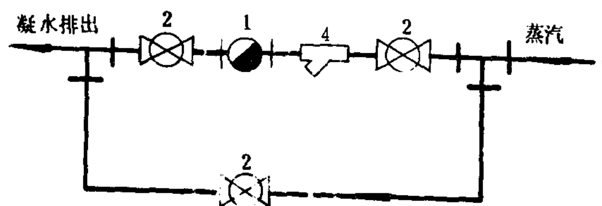
2.3.2.4 疏水器

疏水器(又名凝水阻汽器、凝水自动排除器等)是装在排(凝水)管或蒸汽管放泄凝水管路上的节能器具，用来阻止蒸汽(排汽)通过，但能自动地排出凝水。

疏水器在船上广泛用于蒸汽取暖、中央空调器、热水柜、油舱(柜)等加热蒸汽的排汽(凝水)系统和蒸汽管路的放泄凝水管中。

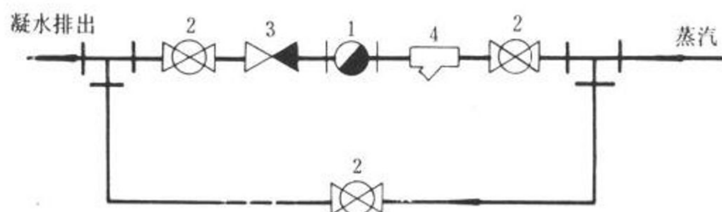
当蒸汽加热时，加热管内的凝水要尽可能地排净，才能保证高的加热效率。蒸汽管路中的凝水也要及时排出，以防止管路中的水击及其对相关管路的故障和损坏，故需装设疏水器。

为保证疏水器检修和可靠地工作，除个别疏水器本身具有旁通管外，一般均应装设旁通管及其有关附件，如图 7.1.2—19 所示。

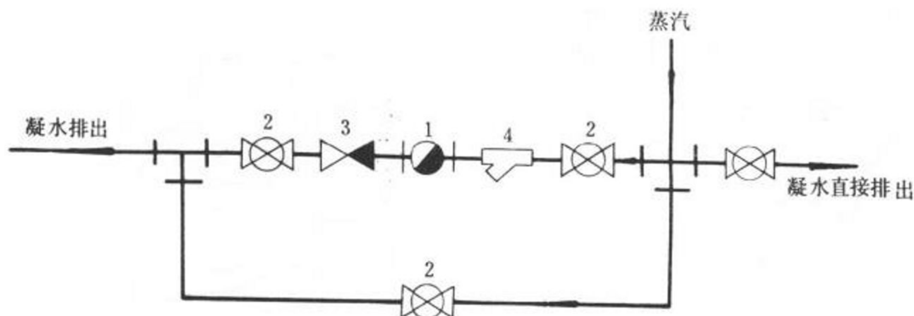


a)无反压时，疏水器的安装原理图

图 7.1.2—19



b)有反压时，疏水器的安装原理图



c)蒸汽管放凝水管路上的疏水器安装原理图

图 7.1.2—19 疏水器旁通管安装原理图

1—疏水器；2—直通截止阀；3—止回阀；4—滤器

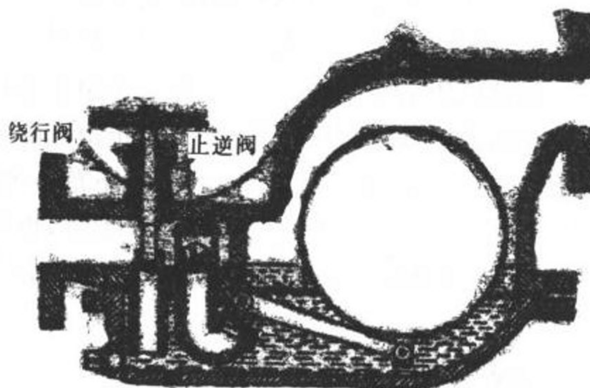


图 7.1.2—20 浮球式疏水器

近代船上采用的疏水器，大致有三类：浮子式、热动力式和热静力式。

1)浮子式疏水器：

浮子式疏水器是利用蒸汽与凝水的密度差，使浮球浮沉带动阀的开启或关闭，达到自动排水和阻汽的目的。根据浮子的不同结构和安装方式，又分为浮筒式、倒置浮筒式、浮球式和自由浮球式等。浮筒式和浮球式除结构不同外，其排水方式也不一样，浮筒式排水是定期的或间歇的；浮球式排水是不定期的和连续的。浮筒式不适宜船用，而浮球式船上用得较多，浮球式疏水器的结构，如图 7.1.2—20 所示。

浮球式疏水器的优点是排量大、排水快。缺点是活动件多，噪声大，防摇抗振性差，体积大，重量重，蒸汽漏泄量大，当前后压力差 Δp＝0.2MPa 时，漏汽量占蒸汽量的 6～9％；Δp＝0.3 MPa 时为 7.6～11.4％；Δp＝0.4MPa 时为 10～15％。

2）热动力式疏水器：

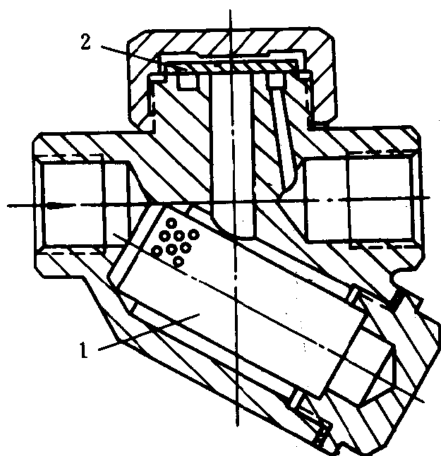


图 7.1.2—21　热动力式疏水器

1—滤器；2—金属薄片

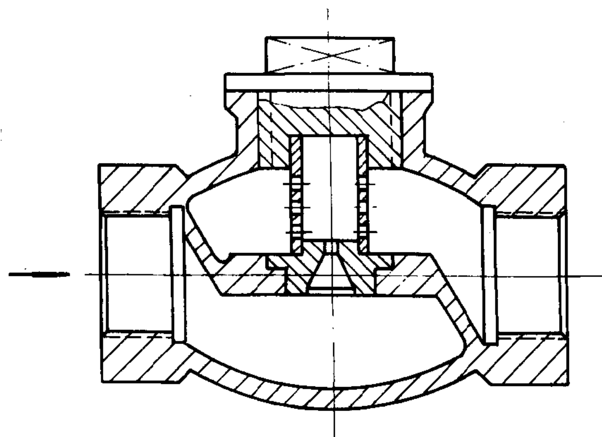


图 7.1.2—22　单喷嘴式疏水器

热动力式疏水器的工作原理，见图 7.1.2—21。当有压力的凝水流入时，顶开薄片经出口排出，同时凝水也流到薄片的上方，所以薄片的上、下方均受到相同的压力，薄片在自重的作用下落下，但随着薄片的落下，薄片上方凝水压力迅速降低，它又被下方的压力凝水顶起，薄片处于浮悬状态，连续排水。当蒸汽流入时，薄片也会升起，这时薄片上、下方都受到相等的蒸汽压力，薄片下落关闭出口，上方的蒸汽压力虽略有降低，但蒸汽作用在薄片面积上的总压力，远远大于进口面积上的总压力，这样，薄片被紧紧压在阀座上，阻止蒸汽的排出。随后，薄片上方的蒸汽冷凝，压力降低，薄片又开启，蒸汽又到薄片上方，薄片又下落关闭出口，如此反复进行，断续排出凝水。但该疏水器在开始运行时，可以有空气进入薄片上方，也能将薄片压在阀座上。由于空气不会冷凝而保持一定压力，薄片就不能顶开，因而冷空气就无法排出，这是这种疏水器的一大缺点。

热动力式疏水器的优点是活动件少，结构简单，可安装在任何位置，且适合在船舶恶劣条件下工作，故船上普遍采用，缺点是排不出冷空气和饱和水，有间歇性的漏汽，开、闭时有敲击声，且容易堵塞 ，因此，采用这种疏水器，进口侧要装滤器和旁通管，出口管路上还宜装止回阀。

属于热动力式类的疏水器，还有喷嘴式和迷宫式（或多喷嘴式），如图 7.1.2－22 和 7.1.2—23 所示。

3)热静力式疏水器：

热静力式疏水器有恒温式（波纹管式）和双金属片式等。

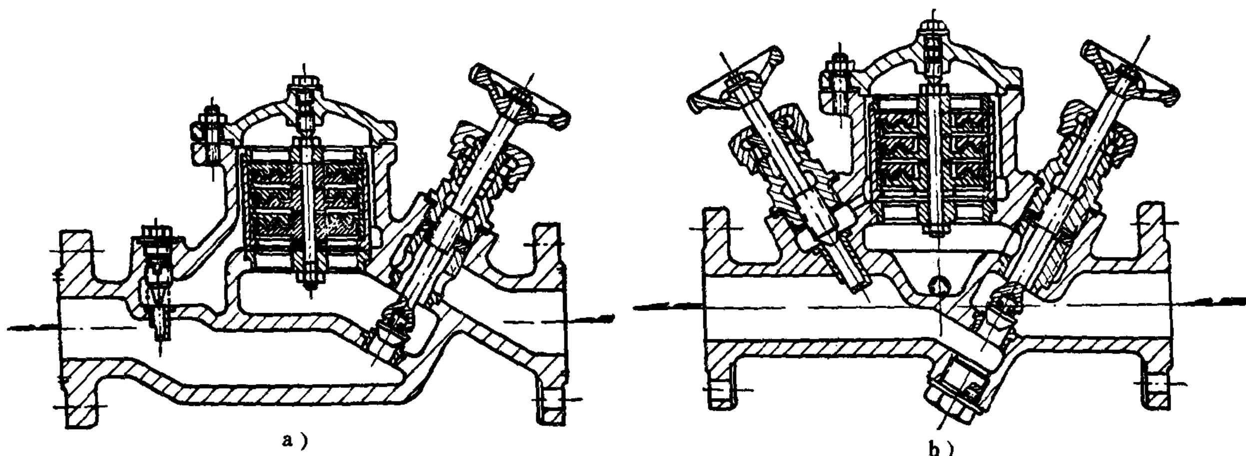


图 7.1.2—23　迷宫式(多喷嘴式)疏水器

a)改进前；　b)改进后

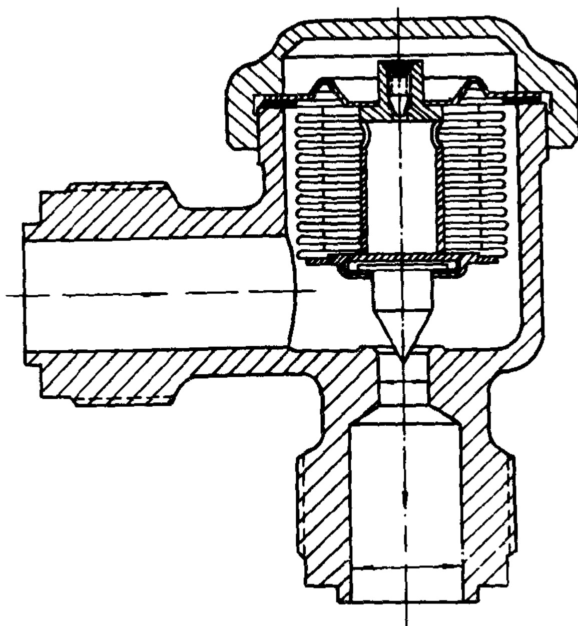


图 7.1.2—24　恒温式疏水器

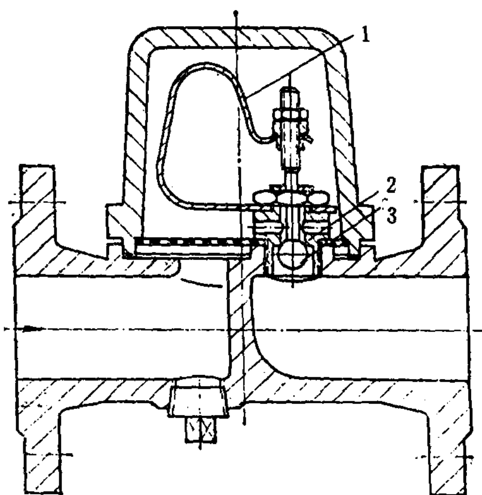


图 7.1.2—25　双金属片疏水器

1—双金属片;2—阀座;3—阀

恒温式疏水器的结构,如图 7.1.2—24 所示。它利用波纹管的热胀冷缩来开关阀门。脉冲装置 2(包括波纹管、针形阀和支持管三个零件焊接成一整体)、内腔抽空,注入易挥发的感温液[乙醚、乙醇(酒 精)、合丁醇混合液等]后,钎焊密封 。这时,它在大气压力下是处于被压缩状态,进出口相通。运行时,当蒸汽通过时,由于温度较高,波纹管内感温液受热挥发,压力升高,波纹管膨胀伸长,推动阀头关闭通道,阻止蒸汽从疏水器排出。当蒸汽冷凝后,凝水温度逐步降低,波纹管感受降低的温度,内腔中的蒸汽压力降低,波纹管便缩短,带动阀头离开阀座而开启通道,凝水从疏水器排出。

疏水器的垫片1，除用作密封外，还可调节波纹管的行程，其行程的大小根据蒸汽工作压力和温度来确定。

这种疏水器用于蒸汽压力0.1～0.2MPa，排出凝水温度低于100℃的条件下，故在船舶蒸汽取暖系统中使用最多，此种疏水器的缺点是容易损坏。

双金属片式疏水器的结构，如图7.1.2—25所示。它的动作原理(参见图7.1.2—26)如台下：在介质未进入前，阀有一定的开度，介质进入后，介质的压力p加到阀盘上开度更大，凝水经阀孔排出，随着凝水温度的上升，双金属片因受热膨胀，则向上翘曲，待达到一定温度后，翘曲能达到足以关闭阀门的阀盘行程，凝水即停止排出。

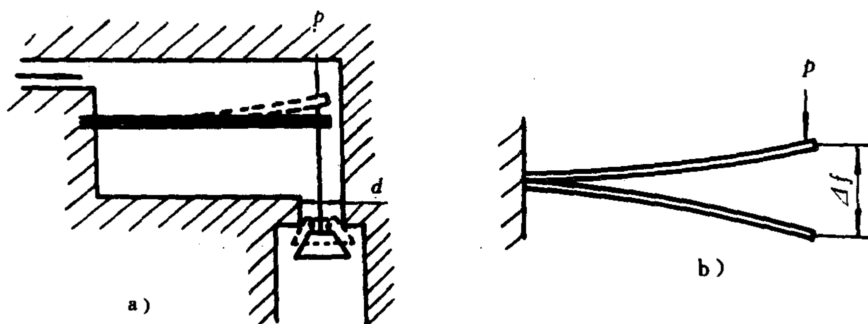


图7.1.2—26 双金属片疏水器简图

2.3.2.5 各种疏水器的比较和选择

1)系统要求疏水器严格起阻汽排水作用时，应选用浮球式，其中以双阀座的浮球式疏水器为最佳。

2)系统要求疏水器能阻住高温水，排除较低温水，则选用恒温式疏水器或双金属片式疏水器，如蒸汽取暖系统应选用这类疏水器。

3)油舱加热系统的凝水系统，宜选用热动力式疏水器，如迷宫式疏水器，蒸汽漏损量较少为2%～3%。

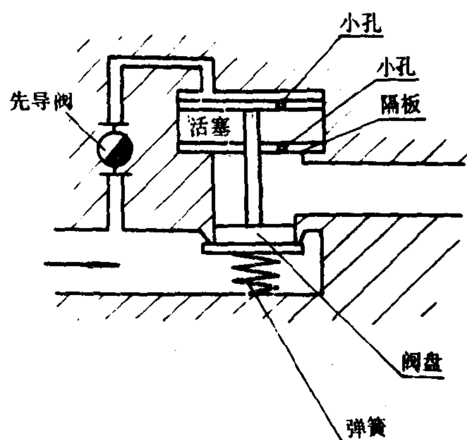


图7.1.2—27 组合式的疏水器组

4)在排水量大的情况下，可采用组合式的疏水器组，如图7.1.2—27所示。根据系统要求，先导阀可以用浮球式或恒温式疏水器，但热动力式不宜作先导阀用。

5)选择疏水器应根据需要排出的凝水量和疏水器两侧的压力差，不能按管径来选择，一般情况是按凝水量2～4倍数值来选择，具体倍数值如下：

蒸汽取暖系统	$p \geq 0.1$MPa，2～3倍数值
	$p < 0.1$MPa，4倍数值
空调系统	$p \geq 0.2$MPa，2倍数值
	$p < 0.2$MPa，3倍数值
热水拒	$p \geq 0.1$MPa，4倍数值

2.3.3 阀箱

为了集中管理和操纵方便、节省阀件数目和减少占地面积，船舶上常采用2个或2个以上阀件组合为一体的联箱，这种联箱通常称为阀箱。

由于使用要求和连接形式不同，因而有各式的阀箱，基本上可归纳为两类，一类是下部分开而上部联通的进水阀箱。结构如图 7.1.2—28 所示。流体分别由阀箱下面二根短管进入经阀座口到一个公共联通部分，并由 1 个或 2 个出口排出。阀箱的阀根据其用途的不同，可做成截止阀式、止回阀式和截止止回阀式等等。另一类是下部联通而上部分开的阀箱，如排出（水）阀箱，结构如图 7.1.2—29 所示。流体由阀箱下面一个联通部分的接管进入，分别经阀座口和排出短管排至各处。

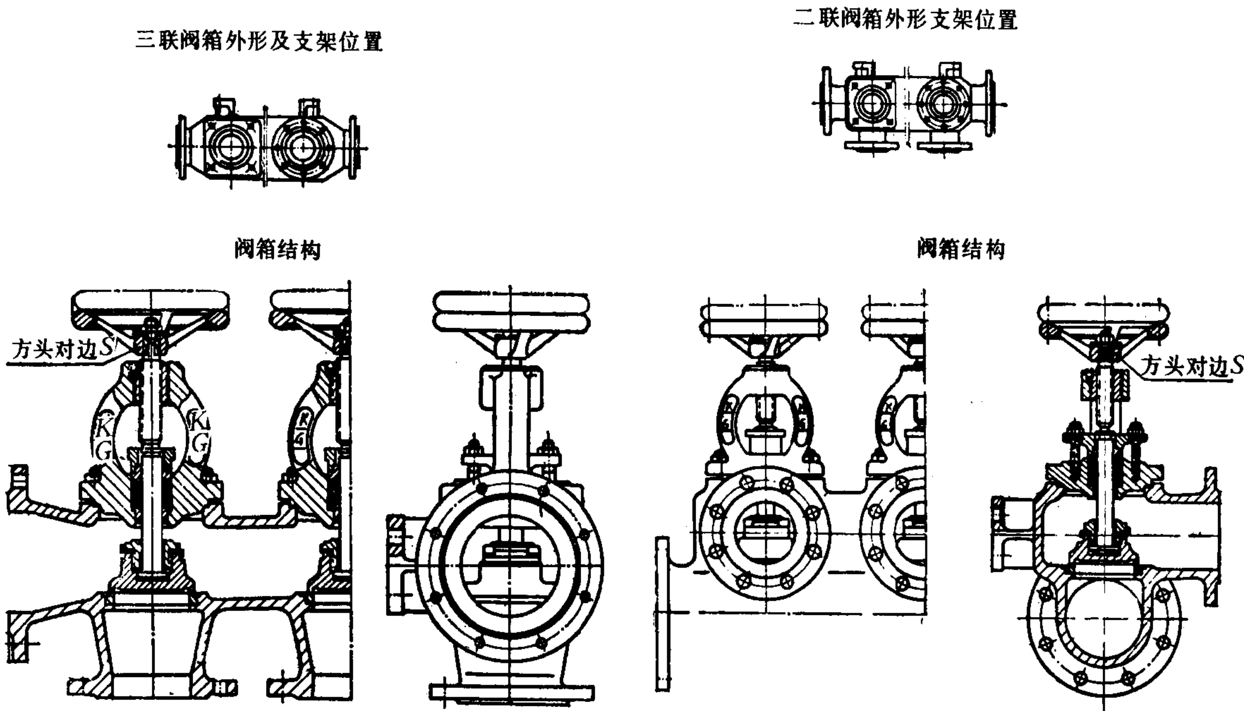


图 7.1.2—28 法兰铸铁单排双联吸入截止阀箱　　图 7.1.2—29 法兰铸铁单排二联排出截止阀箱

除上述两种基本类型阀箱外，还有双排驳用截止阀箱（压载水驳水阀箱），新型的蝶阀和直角截止阀等的管阀箱与旋塞式驳用阀箱等。

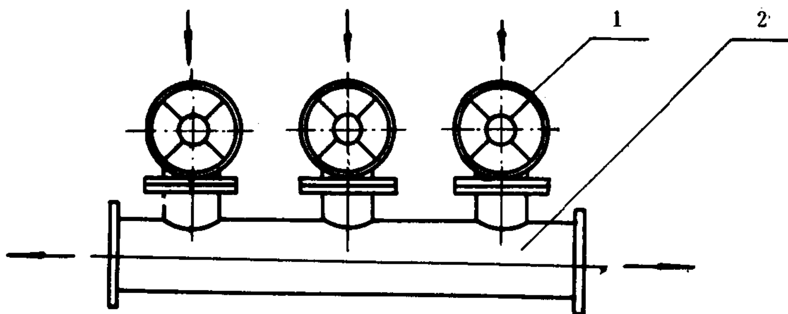


图 7.1.2—30 吸入管阀箱

1—直角截止阀；2—管子

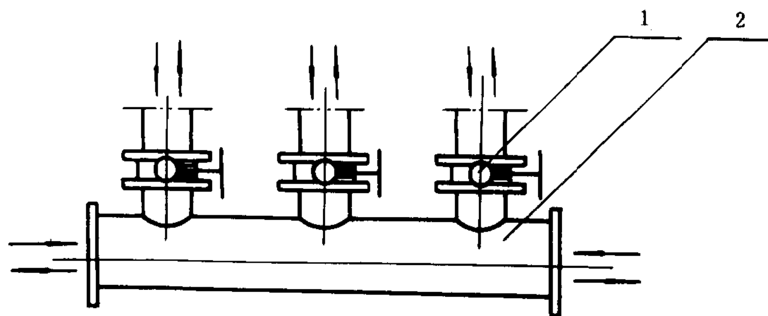


图 7.1.2—31 吸入或排出蝶阀管阀箱

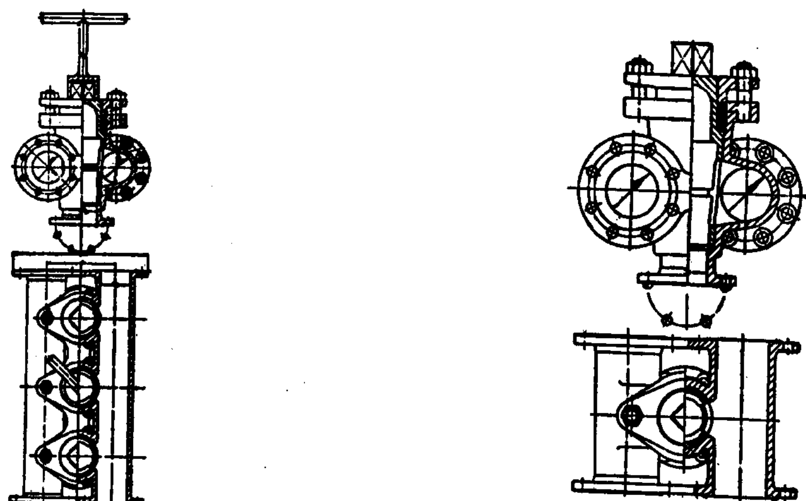


图 7.1.2—32 旋塞式吸用阀箱

表 7.1.2—15

几种远距离液位计

型　　式	浮　筒　式	气　泡　式		静电容量式	超声波式	压　力　式	差　压　式
原　　理	液面的浮筒升降拉动钢丝绳通过滑轮指示重块和刻度尺或指示器而测出液位的高低	利用细空气管中压力空气排挤舱柜内管段中的液体的平衡作用，由U形管测出液位的高低		依靠液位的变化，使舱柜内的静电棒和舱柜型的静电容量产生变化，而测出液位的高低	根据脉冲声波的反射时间而测出液位的高低	利用液体的静压头而测出液位的高低	根据与基准液面的差压而测出液位的高低
优　　点	对液体比重温度的影响小	无运动部件，结构简单，安全可靠，价格低廉		无运动部件，对液体比重、温度的影响小	无运动部件，对液体比重、舱柜内压力无影响	全气波式	全气泡式
缺　　点	运动部件多，结构复杂，对舱柜内液体温度变化有影响，无法修正，所以指示有误差	有液体比重、温度变化的影响；空气压力输送时间缓慢；；有管内凝水的影响		电容平的影响大	有温度，汽化密度的影响；有固导波内的腐蚀干扰反射的影响	有液体比重、温度变化的影响	全压力式
付送方式	有各种可能	空气压力	直流电流	直流电流	声脉冲信号	液体压力	液体压力

续上表

型　　式	浮　筒　式	气　泡　式		静电容量式	超声波式	压　力　式	差　压　式
指示方式	模拟、数字	液柱、流体压力计	模拟	模拟	数字	液柱	液柱
计测范围	0.1～30m	1～50m	20mm以上	20mm～50m	0～40m	1～30m	1～50m
实用精度	±5～40mm	±50mm±2%		重显性±2%(全刻度)	原油等±50mm 水±10mm	±10mm	±10mm
用途	液体、船舶吃水	液体、船舶吃水		液体、粉末、颗粒、块状	液体、船舶吃水	液体	液体
防爆性能	本身安全 耐压防爆	—		耐压防爆	耐压防爆	—	—

2.3.4 液位指示附件类

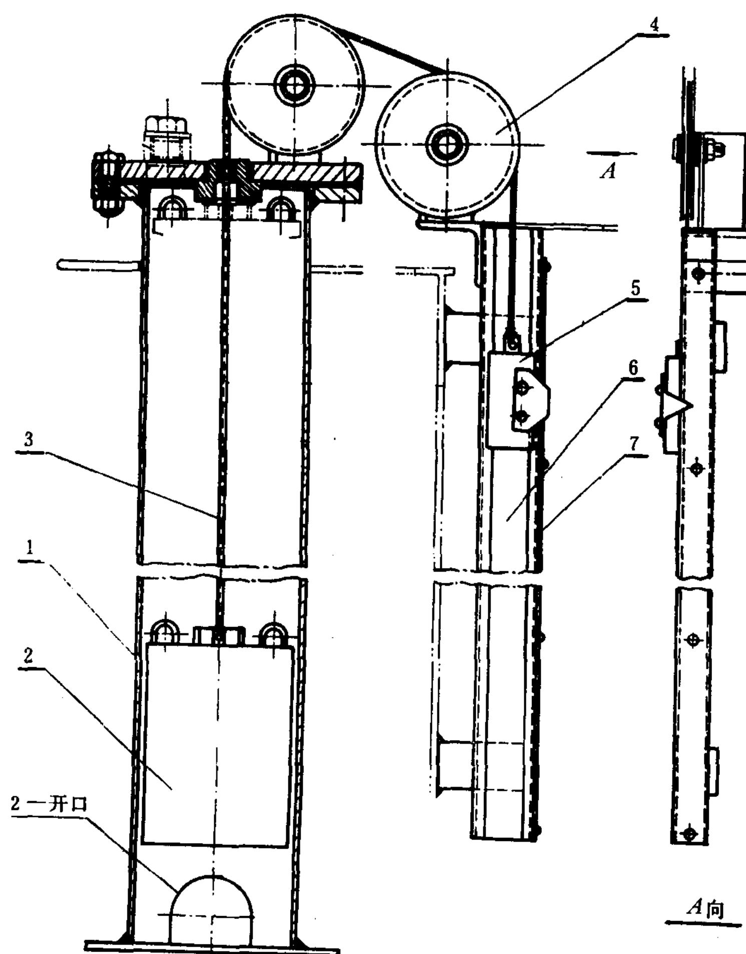


图 7.1.2—33 A 型 D_N150 船用浮筒式液位计

1—本体；2—浮筒；3—钢丝绳；4—滑轮；5—重块；6—重块导轨；7—刻度尺

这类附件主要是用来指示舱（柜）和容器内的液位。本节介绍的是远距离液位计、它们的型式、原理和优缺点等，见表 7.1.2—15。

近年生产的两种新型就地检测的液位计，一种是利用三菱镜折射的双色液位计，另一是利用磁铁吸动不平衡能翻动的指示块（反面涂红漆），都能精确地指示出箱（舱、柜）内的液位。这些液位计的优点是简单可靠，无连通管，表计与箱柜完全隔离。

图 7.1.2—33 所示为用于大型油舱（柜）的 A 型内装式 D_N150 船用浮筒式液位计（系列标准 CB* 3210）。

2.3.5 连接件类

1）法兰：法兰是船舶管系用得最多的一种传统接头。法兰尺寸由 3 个参数（工作压力、螺栓孔中心圆直径

和连接螺栓孔数)决定，我国船用法兰的这3个参数与国内、国际(ISO)有关的船陆标准的相同，能互相替换。

船用法兰的类型共有12种，其型式与公称通径范围，见表7.1.2—16。具体尺度标准可查船用法兰标准。

2)螺纹接头：有低压管螺纹接头(GB821)和高压管螺纹接头(GB822)两种。高压接头的密封是用“O”形橡胶密封圈。两种接头的结构如图7.1.2—34和7.1.2—35所示。

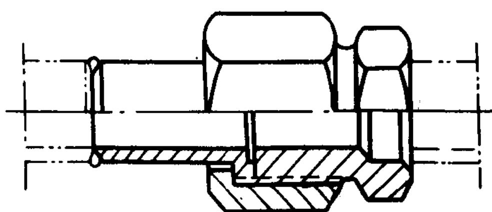


图7.1.2—34 低压管螺纹接头(A型)

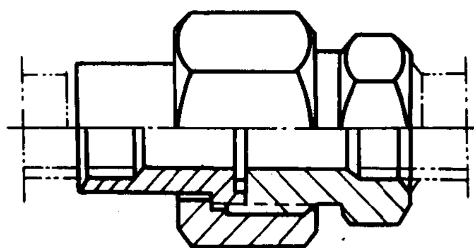


图7.1.2—35 高压管螺纹接头(Aa型)

另外还有各种型式接头：卡套式管接头(JB1942～1957、1960～1963)、胶管螺纹接头(GB562)、铝制胶管平肩螺纹接头(GB574)、铝合金三通和四通外螺纹接头(GB576)等。

3) 焊接接头：主要是通过焊接将两管段连接起来的套筒(CB * 3193)，其结构如图7.1.2—36所示。

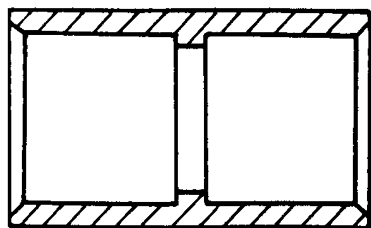


图7.1.2—36 管段连接焊接直通套筒

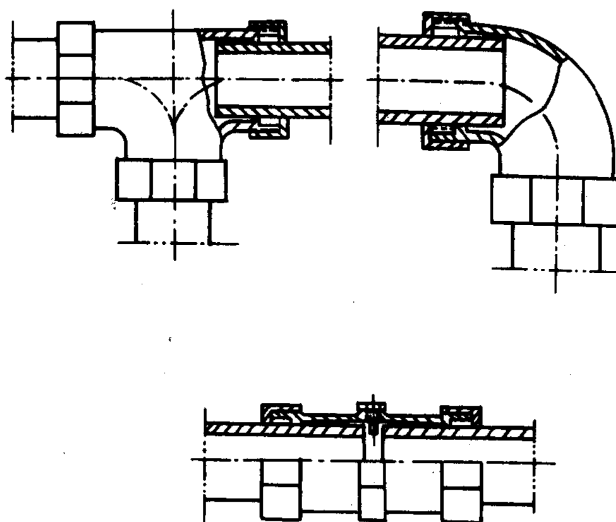


图7.1.2—37 各种螺母式松套伸缩接头

4)松套伸缩接头：是多功能的管子接头，它有能伸缩，可偏斜，密封性好，不需用风电焊、减振和结构简单的优点。型式有螺母式(D_N3～50)和法兰式(D_N65～2400mm)两种。螺母式又有直通、异径、45°、90°、180°弯头、三通等径和异径、四通等径和异径等。两种共有11种压力级(0.25、0.6、1.0、1.6、2.5、4.0、6.4、10、16、20、32MPa)、法兰式分短型(伸缩量[10～15mm(总共20～30mm)]和长型[伸缩量20～50mm(总共40～100mm)]。大小规格共700余种，广泛应用于船舶、水电、石油、化工和建筑等行业，作为各种管道或管路的连接接头，其结构如图7.1.2—37、38所示。

表 7.1.2—16　　　　　　**船用法兰类型和公称通径范围**

类型	标准编号	公称压力 MPa	公称通径 DN mm
圆形 铸钢法兰	GB	0.25, 0.6, 1.0, 1.6	10～1000
		2.5	10～500
圆形 铸铁法兰	GB	0.25, 0.6, 1.0, 1.6	10～2000
		2.5	10～1000
		4.0, 6.4	10～500
圆形 铸铜法兰	GB	0.25, 0.6	10～1000
		1.0, 1.6, 2.5	10～500
		4.0	10～100
圆形 搭焊钢法兰	GB	0.25	10～2000
		0.6	10～1800
		1.0, 1.6	10～600
圆形 对焊钢法兰	GB	2.5	10～600
		4.0	10～500
		6.4	10～400
圆形		0.6, 1.0	10～500
		1.6, 2.5	10～250
圆形		0.6, 1.0, 1.6	10～500
圆形		2.5, 4.0	10～500
圆形		0.6, 1.0, 1.6, 2.5	10～500
圆形		0.6	10～350
椭圆形		0.6	10～40
椭圆形		0.6	10～40

公称通径 DN（mm）: 10, 15, 20, 25, 32, 40, 50, 65, 80, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000

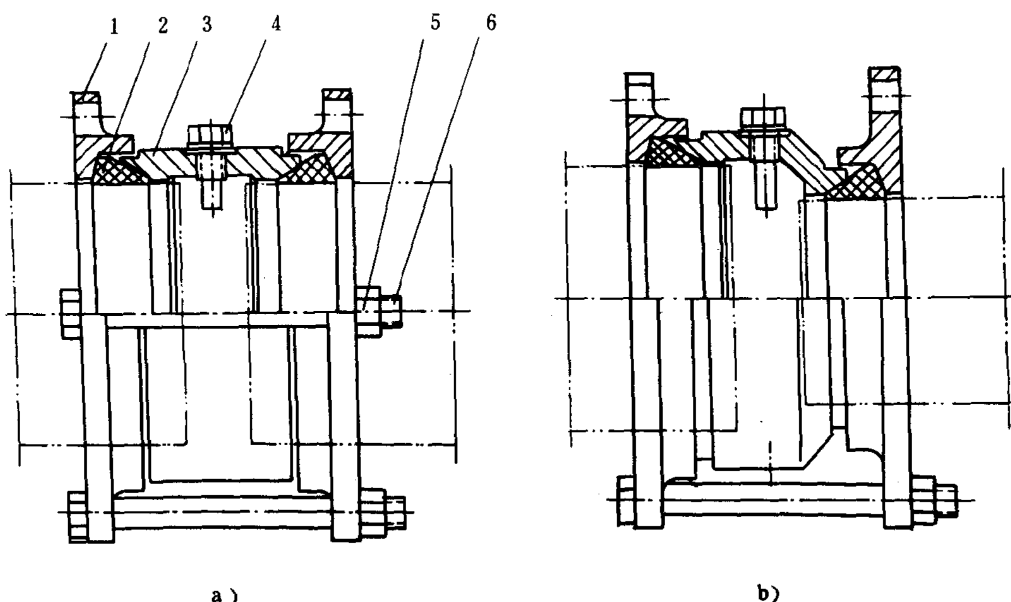


图 7.1.2—38 法兰式松套伸缩接头

a)直通等径短型 b)直通异径短型

1—松套压盖;2—密封圈;3—套筒;4—限位螺钉;5—螺母;6—螺栓

2.3.6 钢管伸缩量Δl计算

$$\Delta l = 10^{-5}\{1118(t_2-t_1)+0.526(t_2-t_1)^2\}\cdot l \quad \text{mm/m} \qquad (7.1.2\text{—}6)$$

举例:温差(t_2-t_1)为50℃,长度l为8、15、20及25m的四根钢管,其伸缩量各为多少?

$$\Delta l_8 = 10^{-5}\{1118\times50+0.526\times50^2\}\times8 = 4.58 \quad \text{mm}$$

$$\Delta l_{15} = 10^{-5}\{1118\times50+0.526\times50^2\}\times15 = 8.58 \quad \text{mm}$$

$$\Delta l_{20} = 10^{-5}\{1118\times50+0.526\times50^2\}\times20 = 11.44 \quad \text{mm}$$

$$\Delta l_{25} = 10^{-5}\{1118\times50+0.526\times50^2\}\times25 = 14.3 \quad \text{mm}$$

2.4 通 海 阀

2.4.1 规范对通海阀的要求

1)通海阀应直接装在钢质海水箱(或海水室)箱壁座板或接管上,法兰与座板用螺柱固接,螺栓孔不得钻至箱壁。

2)海水箱应装在易于接近且便于察看处所。主通海阀的手轮应高出花钢板以上至少460mm。小型船舶布置有困难时,可例外。

3)通海阀及海水箱的船舷开口,应装设格栅(CB* 651),格栅(圆形孔ϕ10~15mm;矩形宽10~15mm)有效面积不应小于通海阀通流面积的2倍,且应有用低压蒸汽(管径D_N15~20mm)或压缩空气(管径D_N32~40mm)吹洗格栅的设施。为防止海水箱内形成气囊,箱的顶部应装设透气管,透气管的开口端应高至舱壁甲板以上或舱壁甲板附近通至舷外。

4)海水箱应有适当的防蚀保护措施,如加装锌块等 。

5)每艘船一般应有不少于2只海水箱,且尽可能分设在船的两舷,在正常航行中,冷却水泵或循环水泵均可自任一海水箱吸水。泵与通海阀间应装吸入粗水滤器(CB497),并要求当粗水滤器在清洗时,不致中断舷外水的供应。

6）通海阀的材料应为铸钢、铜或球墨铸铁(性能应符合规范的规定)。灰铸铁不许用于通海阀。

2.4.2 通海阀、海水箱和空气管的选用要点

1)直角阀、直通阀、闸阀、蝶阀等均可作为通海阀。一般用直角阀，小口径也有用直通阀，近代大口径多用闸阀或蝶阀，其中以蝶阀占地最小，性能好，安装方便。

2)海水箱有三种形式，如图7.1.2—39所示。其中以C形最合理和最简便。

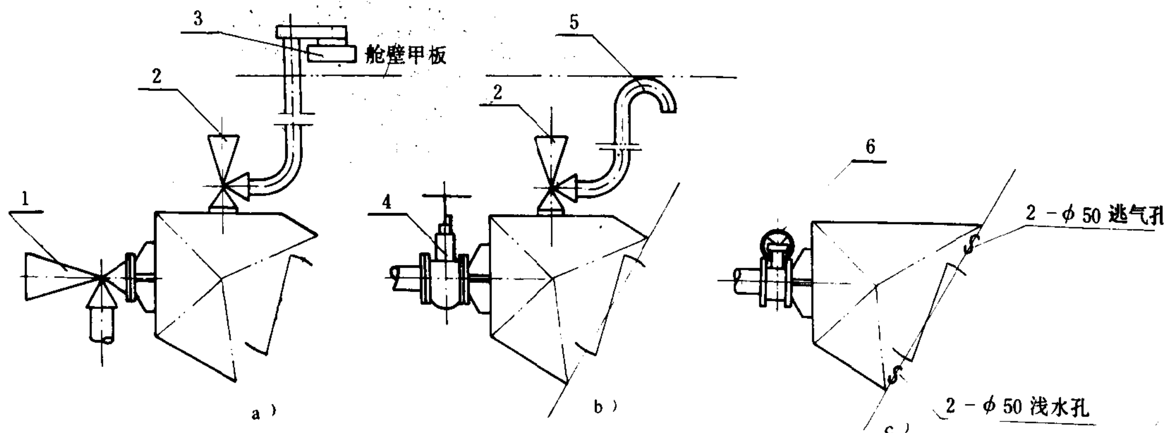


图7.1.2 39 海水箱形式

1—直角通海阀；2—空气阀；3—防水式透气头；4—闸阀；5—弯管式透气头；6—蝶阀

3)海水箱空气管和透气头的安装和要求，见表7.1.2—17

表7.1.2—17 **海水箱空气管和透气头的安装要求**

项 目	说 明
透气头装设位置和设置理由	1)当海水箱不装空气管时，为使在航行中充分地排除箱内空气，可在船壳外板开透气孔(图7.1.2—39 C)) 2)当海水箱不设透气孔而装空气管时，透气头(出气端)应设在机舱内满载水线以上高处或舱壁甲板以上(图7.1.2—39a))
透 气 孔	2～3个，孔径∅25～65mm，一般取∅40mm
透气头形式	1)机舱内透气头采用弯管式(图7.1.2—39b)) 2)机舱外透气头采用防水式(图7.1.2—40)
空 气 管	1)管径D_N25～40mm 2)应用加厚镀锌钢管
附 件	空气管下部应装一截止阀(图7.1.2—39b))
气水分离器	在机舱高处装设透气头时，为防止有水喷出，也可加设置一只气水分离器(图7.1.2—41)

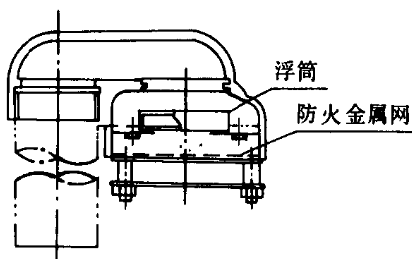


图7.1.2—40 透气头



图7.1.2—41 气水分离器

4)通海阀标准：铸钢吸入通海阀(GB2029)和青铜吸入通海阀(GB2030)，前者多用于民用船舶，后者多用在军用船舶。船底吸入格栅(CB*651)。

2.5 灰铸铁、铸钢、铸青铜和铸黄铜的阀件壁厚

船舶管系上的铸造阀件壁厚，参见表 7.1.2—18。

表 7.1.2—18 **船舶管系管路上的铸造阀件壁厚**

材料 / p_NMPa / D_N mm	灰铸铁			铸青铜和铸黄铜					铸钢			
	1.0	1.6	2.5	0.6	1.0	1.6	2.5	4.0	1.6	2.5	4.0	6.4
10	—	—	—	4	4	4	—	6	—	—	—	—
15	7	7	7	4	4	4	5	6	—	—	—	—
20	7	7	7	4	4	4	5	6	6	6	7	7
25	7	7	8	4	4	4	5	6	6	6	7	7
32	7	7	8	5	5	5	5	6	6	6	7	7
40	8	8	8	5	5	5	6	6	6	7	7	8
50	8	8	9	5	5	5	6	7	6	7	7	8
65	9	9	10	6	6	6	7	8	6	7	8	10
80	9	9	10	6	6	6	7	9	7	7	9	10
100	10	10	11	6	6	6	8	10	8	8	9	11
125	10	11	12	7	7	7	9	11	8	9	9	13
150	11	11	13	7	7	8	9	13	9	9	10	14
(175)	11	11	15	8	8	9	10	—	9	9	11	15
200	11	12	15	8	8	9	11	—	9	10	12	16
(225)	11	13	—	8	8	10	—	—	10	10	13	19
250	13	14	—	9	9	10	—	—	10	10	14	19
300	13	—	—	9	9	—	—		11	13	16	22
350	14	—	—	10	—	—	—	—	11	14	18	—
400	15	—	—	10	—	—	—	—	12	15	—	—
450	16	—	—	—	—	—	—	—	12	—	—	—
500	16	—	—	—	—	—	—	—	13	—	—	—

注：① 表中括号尺寸，尽量不使用；

② 表中规定的壁厚为最大壁厚；

③ 表中壁厚适用于阀的圆柱形、椭圆形的壁厚。不适用于平壁的壁厚；

④在设计加长的零件(如多联阀箱箱体等)时，壁厚应按具体情况决定。

2.6 船舶系统的管路及其附件图形符号

船舶系统的管路及其附件图形符号，共分七类，如表 7.1.2—19 所示。船舶管系的全部附件图形符号，参见国家标准 GB4791。

表 7.1.2—19 **船舶系统的管路附件图形符号**

管子和管子接头符号		符号
序号	名称	
1	单流向管	
2	双流向管	
3	不连接交叉管	
4	连接交叉管	
5	T 型管	
6	上行管	
7	下行管	
8	焊接接头	
9	螺纹接头	
10	法兰接头	
11	快速接头	
12	套管接头	
13	尾端软管接头	
14	伸缩接头	

续上表

管子和管子接头符号		符号
序号	名称	
15	可滑伸缩接头	
16	有支点伸缩接头	
17	挠性管	
18	伸缩管	
19	波形伸缩接头	
20	螺纹管盖(管堵)	
21	法兰管盖(盲法兰)	
22	双联盲式法兰	
23	通舱管件(水密)	
24	通舱管件(非密)	
25	单面管座板	
26	双面管座板	

阀:闸阀、阀箱符号

序号	名称	符号	备用符号	
			俯视	侧视
1	直角截止阀			

续上表

阀:闸阀、阀箱符号				
序号	名　　称	符　　号	备　用　符　号	
			俯　　视	侧　　视
2	直角截止阀			
3	三通截止阀			
4	直通止回阀			
5	直角止回阀			
6	竖形止回阀			
7	直通截止止回阀			
8	直角截止止阀			
9	三通截止止回阀			
10	直通止回舌阀			
11	直角止回舌阀			
12	蝶阀			
13	球阀			
14	闸阀			
15	直通防浪阀			

续上表

阀:闸阀、阀箱符号				
序号	名　　称	符　　号	备　用　符　号	
			俯　　视	侧　　视
16	斜角防浪阀			
17	直角减压阀			
18	直角减压阀			
19	直通安全阀(保险阀)			
20	直角安全阀(保险阀)			
21	直通调节阀			
22	直角调节阀			
23	二路截止阀箱			
24	二路截止止回阀箱			
25	二路排出截止阀箱			
26	二路双排截止阀箱			

旋塞符号				
序号	名　　称	符　　号	备　用　符　号	
			俯　　视	侧　　视
1	直通旋塞			

续上表

阀：闸阀、阀箱符号				
序号	名　称	符　号	备 用 符 号	
			俯　视	侧　视
2	直角旋塞			
3	三路 L 型旋塞			
4	三路 T 型旋塞			
5	四路四通旋塞			
6	四路二通四通旋塞			

器具符号				
序号	名　称	符　号	备 用 符 号	
			俯　视	侧　视
1	单联滤器(水、油、空气)			—
2	双联滤器(水、油)			—
3	吸入口(或吸入滤网)			—
4	带滤网吸入止回阀			—
5	泥箱			—
6	分离器(空气、蒸汽、油)			—
7	疏水器			—

续上表

器具符号				
序号	名　称	符　号	备用符号	
			俯　视	侧　视
8	传话器		—	—
9	气笛或雾笛		—	—
10	散热器			

指示和测量仪表符号		
序号	名　称	符　号
1	压力表	或 P
2	真空表	或 V
3	压力真空表	或 PV
4	温度表	或 T
5	差示压力表	Pd
6	汞温度表	
7	流量表	
8	液流指示器	

续上表

序号	名　　称	符　　　号
9	观察口(窗)	
10	自动报警器	

管头附件符号

序号	名　　称	符　　号	备用符号
			俯　　视
1	水(空)舱帽形空气管头		
2	油舱帽形空气管头(带铜丝网)		
3	水舱鹅颈空气管头		
4	油舱鹅颈空气管头(带铜丝网)		
5	油舱可闭鹅颈空气管头(带铜丝网)		
6	测深或注入管头		
7	自闭测深头		
8	开式甲板漏水口(圆形或椭圆形)		
9	可闭甲板漏水口		
10	水封甲板漏水口		

续上表

序号	名　　称	符　　号	备 用 符 号
			俯　　视
11	水封可闭甲板漏水口		
12	漏斗		
13	水封管		
14	喇叭口管头		

卫生附件符号

序号	名　　称	符　　号	备 用 符 号	
			俯　　视	侧　　视
1	龙头(阀或旋塞)		—	—
2	旋转放水阀		—	—
3	脸盆自闭龙头(阀)		—	—
4	浮球阀		—	
5	直通便器冲洗阀		—	
6	直角便器冲洗阀			
7	冷热水混合阀		—	—
8	带喷嘴旋转混合阀		—	—
9	浴缸淋浴及排出嘴组合附件		—	—

续上表

序号	名　　称	符　　号	备用符号	
			俯　　视	侧　　视
10	浴缸手持喷头及排出嘴组合附件		—	—
11	淋浴莲蓬头		—	

注：①管路附件连接方式，一般有法兰、螺纹、套管和焊接连接等四种。绘制管路图时，附件如为法兰连接，按图 7.1.2—42 a)形式绘制；如为螺纹连接，按图 7.1.2—42c)形式绘制；如为套管连接，按图 7.1.2—42b)形式绘制；如为焊接连接，按图 7.1.2—42 d)绘制。

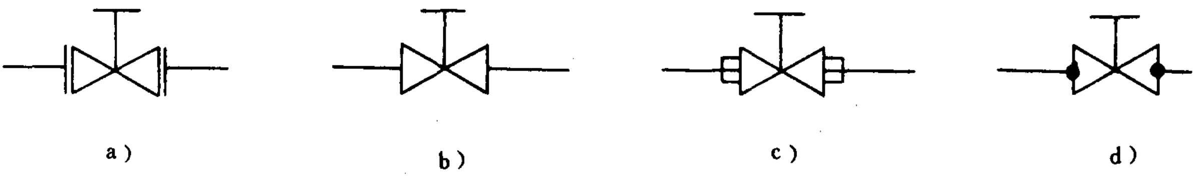


图 7.1.2—42　附件连接图形符号

②绘制双线管路图时，一般应加绘管路中心线，如图 7.1.2—43 所示。

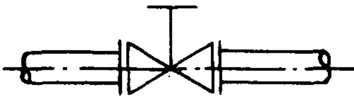


图 7.1.2—43　双线管路附件图形符号



图 7.1.2—44　阀箱图形符号(三路)

③本标准规定的阀箱图形符号，均表示二路形式，若为三路的，则应按图 7.1.2—44 所示的绘法，更多分路的按此类推。

参考文献

［1］ 荣次仙:船舶系统,人民交通出版社,1959年6月

［2］ 荣次仙:船舶管路,人民交通出版社,1960年2月

［3］ 中华人民共和国船舶检验局:钢质海船入级与建造规范及其修改通报,人民交通出版社,1987年

［4］ 机械工程手册、电机工程手册编辑委员会编:机械工程手册 第14卷第7章,机械工业出版社,1982年8月

［5］ 中国农业机械化科学研究院编:实用机械设计手册 下册,中国农业机械出版社,1985年7月

［6］ 交通部:船用阀门产品简统样本,人民交通出版社,1980年

［7］ 荣次仙:船舶管系的管路水力计算,船舶设计通讯,1982年第3期、1983年第1期

［8］ 王幼良:流体输送管路计算方法的改进,流体工程 机械工业部通用机械研究所出版,1986年第2期

［9］ 彭福泉主编:金属材料实用手册,机械工业出版社,1987年10月

［10］ 上海船舶工业公司编:船舶建造的检验及质量标准,1985年

［11］ 关西造船协会编:造船设计便览 第4版,1983年

［12］ 日本船用机关学会编:船用机关计画便览,1969年

［13］ 小河内美男著:配管工学,工学图书株式会社出版,1965年

［14］ 船舶管系的设计加工系统——日本三井造船MAPS系统,船舶译丛,1984年第3、4期

［15］ 日本造船学会编:JSDS—17造船舣装设计基准 船舶排水装置设计指针,1974年8月

［16］ 日本船舶标准协会:JISF规格集(机关),1987年

［17］ Г·С·ХОРД АС:РАСЦеТЫ ОЪШЕСУД ОВЫХ СиСТЕМ СПРАВОЦНиК СУД ОСРОЕНие 1983年

［18］ EMIL M·HANSEN:MODERN MARINE PIPEFITTING

第2篇 供水系统

船上用水来源有三：

1)舷外水：从舷外吸入的海水或江、河、湖水，供冷却机器和冲洗厕所、甲板。

2)淡水：由岸上供给的自来水或经过过滤净化处理后的江、河、湖水。可供饮用、洗濯，有时也供冲洗。

3)淡化水：由船上制淡设备将海水蒸馏而产生的蒸馏水。供锅炉用和饮用。

供水系统根据其用途的不同，可分为舷外水(海水、江水)系统、洗濯水(淡水、自来水)系统和饮用水(自来水和相应的水)系统。

第1章 舷外水系统

1 舷外水系统

舷外水系统输送的是海水还是江水，根据船舶行驶的航区来决定，如为沿海或远洋船舶，系统输送的是海水，叫海水系统。;如为江湖船舶，系统输送的是江湖水，叫江水或湖水系统。

如为江海联运船舶，该系统通称舷外水系统。

舷外水系统输送的水，一般用来冲洗大便器(或大便槽)和小便器(或小便槽)、粪便柜、舱室地板和甲板通道、厨房和配膳室的垃圾处理槽、机舱污水井，游泳池以及供水至制淡装置和厨房冷藏机与空调机冷却器冷却水等。国内沿海和江湖船舶冲洗甲板和消防水都是舷外水。

2 供水方式

居住区用压力柜自动供水或重力柜由重力供水。目前以用压力柜自动供水占绝大多数。冷藏和空调装置的冷却用水，则由水泵(专用泵或通用水泵兼)直接供给。

3 系统设备

舷外水系统一般包括的设备，见表 7.2.1—1。

表 7.2.1—1 舷外水系统的设备和数量

用　途	设　备　名　称	数量	备　注
居住舱室冲洗用	专用海水泵	1	排量按计算决定压力：0.4～0.6MPa
	海水压力柜或海水重力柜	1	
冷藏和空调冷却器冷却用	专用冷却水泵 通用泵	1	排量和压力计算决定
粮食仓库冷却用	专用冷却水泵或海水泵兼	1	排量和压力计算决定

4　供水器具及其阀件和管径

舷外水系统供水器具所用的阀件及其管径，参照表 7.2.1—2 选用。

表 7.2.1—2

场　所	供水名称	阀件名称	公称通径 D_N	给水单位		备　注
			mm	个	l/min	
个人和公用厕所	大便器	冲洗阀	25	4	113.56	
	大便槽	截止阀	32～40	7	198.73	
	小便器	截止阀	15	1	28.39	
	小便槽	截止阀	15～20	1～2	28.39～56.78	
	冲洗地板接头	胶管接头截止阀	15	1	28.39	
厨房和配膳室	水垢净化器	截止阀	15	1	28.39	
	垃圾处理槽	截止阀	25	4	113.56	
	冲洗地板接头	胶管接头截止阀	15	1	28.39	
洗衣间	冲洗地板接头	胶管接头截止阀	15	1	28.39	
粮食库、冷藏库附近	冷库冲洗地板接头	胶管接头截止阀	15	1	28.39	在冷库外面附近处
集水阱	冲洗接头	截止阀	25	4	113.56	法兰式
居住舱室露天部位	打扫清洁用水接头	胶管接头截止阀	15	1	28.39	
空调机室	冷却器冷却用水	截止阀	计算决定	—	—	
食品冷藏机室	冷却器冷却用水	截止阀	计算决定	—	—	
居住区露天甲板	水池、游泳池	截止阀	50～65	17～30	482.63～851.7	

注：① 一个给水单位为 28.39l/min；(7.5gal/min(美)；

②大便槽冲洗水箱，个人为 2 个给水单位，公用的为 4 个给水单位；小便槽公用的为 2 个给水单位。

5 支管和干管

一根干管能供给多少根支管的水或几根支管需要多大的干管，可查表 7.2.1—3 及表 7.2.1—4。

表 7.2.1—3 **等口径多支管的干管**

干管 D_m / 支管 d_B / 根数 n	支管口径（公称通径 D_N），mm											
	15	20	25	32	40	50	65	80	90	100	125	150
1	15	20	25	32	40	50	65	80	90	100	125	150
2	20	25	32	40	50	65	90	100	125	125	150	200
3	25	32	40	50	65	80	100	125	150	150	200	225
4	25	32	40	50	65	90	125	150	150	175	225	250
5	32	40	50	65	80	100	125	150	175	200	250	300
6	32	40	50	65	80	100	125	150	200	200	250	300
7	32	40	50	65	90	100	150	175	200	200	250	325
8	32	50	65	80	90	125	150	200	200	225	300	350
9	40	50	65	80	100	125	150	200	225	250	300	—
10	40	50	65	80	100	125	150	200	225	250	—	—
11	40	50	65	80	100	125	175	200	225	—	—	—
12	40	50	65	90	100	125	175	225	—	—	—	—
13	140	50	65	90	100	150	175	—	—	—	—	—
14	40	65	80	90	125	150	—	—	—	—	—	—
15	40	65	80	90	125	—	—	—	—	—	—	—
16	50	65	80	100	—	—	—	—	—	—	—	—
17	50	65	80	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18	50	65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19	50	65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	50	65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21	50	65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：n、D_m、d_B 三者的关系式为 $D_m = 2.5\sqrt{n} \times d_B$ mm。

表 7.2.1—4　　**2 根不等口径(D_N)支管的干管**

干管 \ 支管		1号支管 mm												
		10	15	20	25	32	40	50	65	80	90	100	125	150
2号支管 mm	10	15	20	20	25	32	40	50	65	80	90	100	125	150
	15	20	20	25	32	40	50	65	65	80	90	100	125	150
	20	20	25	25	32	40	50	65	65	80	90	100	125	150
	25	25	32	32	32	40	50	65	65	80	90	100	125	150
	32	32	32	40	40	50	65	65	65	80	90	100	125	150
	40	40	40	40	50	50	65	65	80	90	100	100	125	150
	50	50	50	50	50	65	65	80	80	90	100	125	125	150
	65	65	65	65	65	80	80	90	90	100	100	125	125	150
	80	80	80	80	80	90	90	100	100	100	125	125	150	175
	90	90	90	90	90	100	100	100	100	125	125	125	150	175
	100	100	100	100	100	100	125	125	125	125	125	150	150	175
	125	125	125	125	125	125	125	125	125	150	150	150	175	175
	150	150	150	150	150	150	150	150	150	175	175	175	175	200

6　海水泵计算

6.1　总耗水量

6.1.1　供水管径与给水单位，见表 7.2.1—5。

表 7.2.1—5　　**供水管径与给水单位**

公称通径 D_N,mm	给水单位 个	给水量 l/min	公称通径 D_N,mm	给水单位 个	给水量 l/min
10	0.5	14.19	32	7	198.73
15	1	28.39	40	11	312.29
20	2	56.78	50	17	482.63
25	4	113.50	65	30	851.70

注：①淡水系统中一个器具冷热水并用时，给水单位约为表中值的 1.5 倍；
②冷、热水系统分别配备独立泵时，给水单位应为表中值的 0.75 倍。

6.1.2 器具数与给水单位(举例)

干管序号	器具名称	供水管径 D_N,mm	给水单位 个	器具数目 个	共计给水单位 fuD 个	$\sqrt{\Sigma fuD}$	备　注
x 号干管	洗脸盆(冷热水并用)	15	1.5	12	18	$\sqrt{18+6}=49$	淡水系统
	洗濯池	15	1	6	6		
x 号干管	洗脸盆	15	0.75	12	9	$\sqrt{9+4.5}=3.7$	配备独立的冷淡水泵及热水泵
	洗濯池	15	0.75	6	4.5		
x 号干管	大便器	15	1	6	6	$\sqrt{6+4}=3.2$	舷外水系统
	小便器	15	1	4	4		

注:①以一根干管的供水对象为一单元,求出一单元的各给水单位之平方根值,如 $\sqrt{18+6}$, $\sqrt{9+4.5}$;

②总给水单位为各干管给水单位与平方根之和;

③共计给水单位(fuD)为器具数目×给水单位。

6.2 海水泵计算

6.2.1 供重力水柜用的海水泵

1)排量 V_p 要求满足在 30min 内打满重力水柜,其计算式为:

$$V_p=\frac{V_g}{0.5}=2V_g, \quad l/h$$
$$=V_g/500, \quad m^3/h \qquad (7.2.1-1)$$

式中:V_g——重力水柜容积,l。

2)压头 H:

H=柜顶到泵出水口轴线高度+管路沿程阻力损失压力头+余量。

6.2.2 供水压力柜用的海水泵

1)排量:

(1)高峰时的量大耗水量 V_h:

$$V_h=\Sigma\sqrt{\Sigma+\mu D}\times 28.39\times k \quad l/min \qquad (7.2.1-2)$$

式中:$f\mu D$——给水单位,1 个给水单位=28.39l/min;

k——系数,取 0.21~0.22。

(2)排量 V_p:

$$V_p=\frac{V_h}{0.75} \quad l/min \qquad (7.2.1-3)$$

2)压头:一般压力取为约 0.4~0.6MPa(40~60mH_2O),视其船舶大小而定。

$$H_p=H_1+H_2+H_3+H_4+H_5+H_6 \quad mH_2O \qquad (7.1.2-4)$$

式中:H_1——实际静压头,m;

H_2——沿程管路阻力损失压头,mH_2o,估算时 H_2=1.8L,mH_2o;L 为管路实际长度,m;

H_3——设备产生的压头损失，估算时取 4～6m；

H_4——达到水外流速度所需的压头，估算时取 10mH_2O；

H_5——压力水柜内空气压力，估算时取 0.1MPa＝10mH_2O；

H_6——余量，估算时取 3～5mH_2O。

举例　某船设海水泵 2 台(1 台备用)，自动压力供水，共分四根干管，分别供水至各供水对象，见表 7.2.1—6，计算海水泵排量和压头。

1)总耗水量　列出器具数目和供水支管管径与给水单位。

表 7.2.1—6　**器具数目与给水单位**

干管序号	器具名称	供水管径 D_N,mm	给水单位，个	器具数目，个	共计给水单位 $f\mu D$	$\sqrt{\Sigma f\mu D}$	备　　注
1号干管	洗濯盆	20	2	2	4	$\sqrt{4+11+6+4+2}=5.2$	公用厕所
	大便槽	40	11	1	11		
	大便器	15	1	6	6		
	小便槽	15	1	4	4		
	冲洗地板接头	15	1	2	2		
2号干管	洗碗槽	20	2	1	2	$\sqrt{2+4+1}=2.7$	厨房
	垃圾处理槽	25	4	1	4		
	冲洗地板接头	15	1	1	1		
3号干管	船员大便器	15	1	10	10	$\sqrt{10+10}=4.5$	船员各房间
	冲洗地板接头	15	1	10	10		
4号干管	小型游泳池	50	17	1	17	$\sqrt{17+1}=4.2$	
	冲洗地板接头	15	1	1	1		

$$
\begin{aligned}
V_h &= (\Sigma\sqrt{\Sigma f\mu D})\times 28.39\times k\\
&=(5.2+2.7+4.5+4.2)\times 28.39\times 0.22\\
&=103.7 l/min\\
&=6.2 m^3/h
\end{aligned}
$$

2)海水泵：

(1)排量：

$$V_p=\frac{V_h}{0.75}=\frac{6.2}{0.75}=8.27 \quad m^3/h$$

(2) 压头：

$$
\begin{aligned}
H_p &= H_1+H_2+H_3+H_4+H_5+H_6\\
&=11+2+5+10+10+5\\
&=43 \quad mH_2O
\end{aligned}
$$

6.3 一般船舶常用的海水泵排量和压头以及压力水柜(见表 7.2.1—7)

表 7.2.1—7 **常用海水泵和压力水柜的规格参数**

序号	海水原及电动机			压力水柜	
	$V_p(m^3/h)\times p_p(Mpa)$	电动机 kW	台数	容量 l	数量,只
1	4×0.4	2.2	2	500	1
2	5×0.4	2.2			
3	5×0.5	3.7		1000	1
4	5×0.6	3.7			
5	8×0.5	5.0			

7 舷外水系统图例

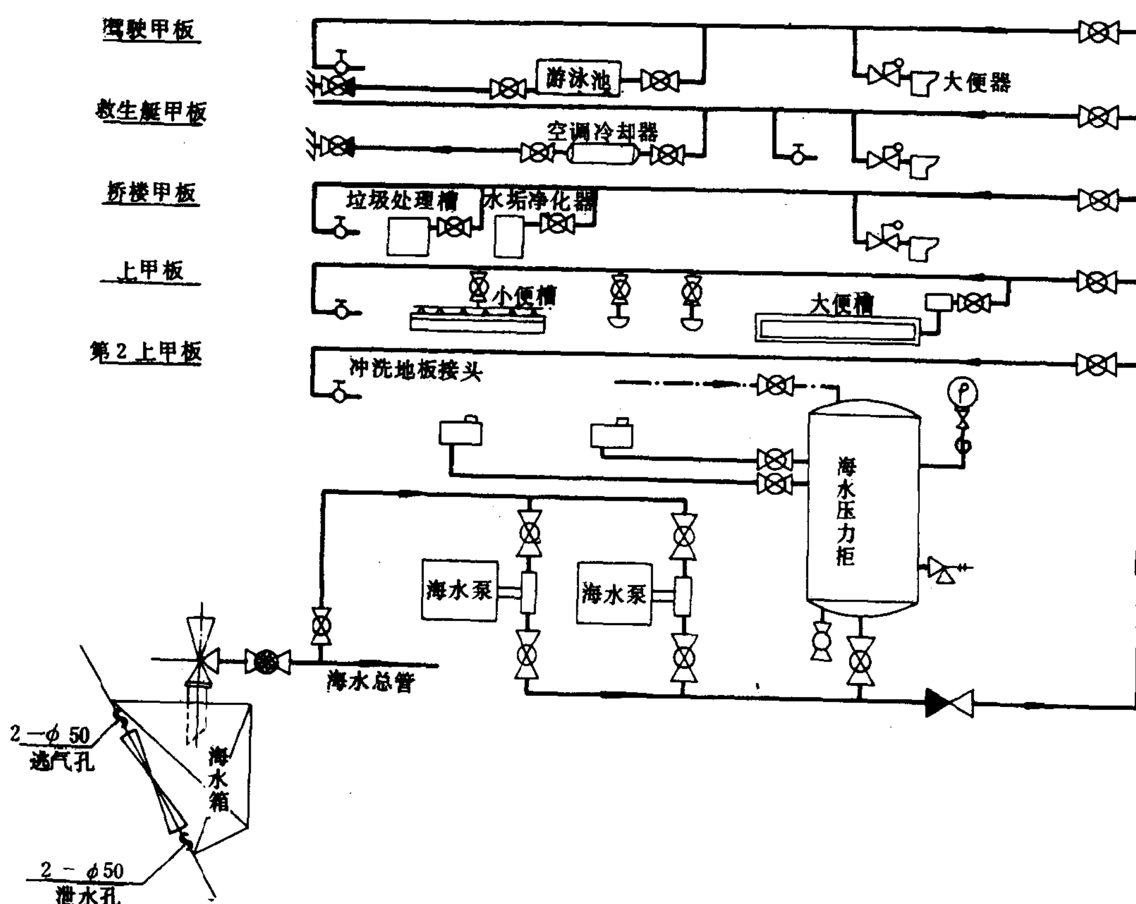


图 7.2.1—1 舷外水系统原理图

图 7.2.1—1 所示为舷外水系统原理图。系统包括 2 台海水泵(其中 1 台备用)及 1 只海水压力柜,自动压力供水,分区管理。舷外水自海水总管接出,但在大型船舶,最好单独设置通海阀和海水箱,避免抢水现象。图中供水器具仅列出其中一部分。

第 2 章　洗濯水系统

1　洗濯水系统

洗濯水系统是将淡水输送至洗脸盆、浴盆、莲蓬头、洗衣间、游泳池、淋浴间及其他洗濯用水处和船上各处的灭火水桶(太平桶)等。洗濯水耗量(包括热水)一般为 300～350l/(人,d)。

因为用海水冲洗甲板时钢板有腐蚀作用,所以某些远洋船舶的冲洗甲板水系统也用淡水。

在现代的船舶上,洗濯水系统包括两个系统:冷水系统和热水系统。

2 供水方式

供水方式与舷外水系统相似,也是采用压水柜自动供水或重力水柜由重力供水。在热水系统,就是多装一个热水柜(蒸汽或电加热),其水由淡水压力柜出水总管接供,水加热后供各处使用。热水柜热水出口温度为 70℃左右,温度的高低由温度调节阀来控制。

3 系统设备

洗濯水系统一般需要的设备,见表 7.2.2—1 。

表 7.2.2—1　**洗濯水系统一般需要的设备和数量**

用　途	设 备 名 称	数量	备　注
居住舱室洗脸洗澡用	专用淡水泵	2	其中一台备用。排量按计算决定。压头 40～60 mH_2O
	淡水压力柜或淡水重力柜	1	
	热水柜	1	

4　供水器具及其阀件和管径

洗濯水系统供水器具所用的阀件及其管径,参照表 7.2.2—2 选用。

表 7.2.2—2

处所	器具	阀件	公称通径 D_N mm	给水单位 个	给水单位 总水量 l/min	备注
个人和公用盥洗室	洗脸盆	自动关闭式或专用水龙头	15	1	28.39	设热水管
	浴缸、浴池	专用水龙头 截止阀	20～25	2～4	56.78～113.56	设热水管
	莲蓬头	截止阀 冷热水混合阀	15	1	28.39	设热水管
	洗手池	专用水龙头	15	1	28.39	设热水管
厨房和配膳室	洗濯盆	截止阀	15	1	28.39	设热水管
	洗濯槽，洗碗机	截止阀	15	1	28.39	设热水管
	烧饭锅	旋转式水龙头	20	2	56.78	不设热水管
洗衣间	家用洗衣机	截止阀	15	1	28.39	设热水管
	工业用洗衣机	截止阀	25	4	113.56	设热水管
	洗衣池	截止阀	15	1	28.39	设热水管
驾驶台前	窗口清洗	清洗喷嘴和截止阀	15	1	28.39	不设热水管
露天甲板	游泳池	截止阀	50～65	17～30	482.63～851.70	不设垫水管

注：① 表中所列的均为每一个供水器具的附件及其管径和水量；
② 远洋船舶的洗濯水系统安装冲洗地板接头。

5 支管和干管

参照舷外水系统的表 7.2.1—3 及表 7.2.1—4 选用干管。

6 淡水泵计算

6.1 供重力水柜用的淡水泵

计算同第 1 章 6.2.1 节。

6.2 供压力水柜用的淡水泵

6.2.1 排量 要求在 3～5min 内供给压力柜有效容积水量，其计算式为：

$$V_p=\frac{V_e}{3\sim5},\quad l/min \tag{7.2.2—1}$$

或 $$V_p=\frac{V_n}{0.75}, \quad m^3/h \qquad (7.2.2—2)$$

式中：V_e——压力水柜的有效容量，l。有效容积为量大耗水量的 3～4min 的水量。

6.2.2 压头 一般压力约为 0.15～0.4MPa（15～40 mH_2O）。

6.3 热水循环泵

装在全船热水供给系统各干管末端的抽水回热水柜的总回水管上，使热水系统中的热水循环流动，以保持随时用水具有一定温度，达到减少淡水的浪费。一般闭式热水循环系统泵的排量 1.5～2cm^3/h，压头 8～10mH_2O。

某客船设淡水泵 2 台（一台备用），自动压力供水，共分 5 根干管，分别供水至供水器具，见表 7.2.2—3，计算淡水泵排量和压头。

1）总耗水量：列出器具数目和供水支管管径与给水单位

表 7.2.2—3 **器具数目与给水单位**

干管序号	器具名称	供水管径 D_N、mm	给水单位、个	容具数目，个	共计给水单位 $f\mu D$	$\sqrt{\Sigma f\mu D}$	备注
1号干管	洗濯槽（冷、热水并用）	20	6	2		$\sqrt{12+3+2}=4.1$	厨房和配膳室
	洗手盆（冷、热水并用）	15	1.5	2	3		
	冲洗地板接头（冷水）	15	1	2	2		
2号干管	洗衣机（冷、热水并用）	15	1.5	6	9	$\sqrt{9+1+4.5}=3.8$	公用
	洗濯池（冷水）	15	1	1	1		
	洗手盆（冷、热水并用）	15	1.5	3	4.5		
3号干管	洗脸盆（冷、热水并用）	15	1.5	30	45	$\sqrt{45+24+18}=9.3$	旅客用
	莲蓬头（冷、热水并用）	15	1.5	16	24		
	浴缸（冷、热水并合）	25	5	3	18		
4号干管	洗脸盆（冷、热水并用）	15	1.5	30	45	$\sqrt{45+4}=7$	旅客用
	洗濯池（冷水）	15	1	4	4		
5号干管	洗脸盆（冷、热水并用）	15	1.5	20	30	$\sqrt{30+48}=8.8$	船员用
	浴缸（冷、热水并用）	25	6	8	48		

$$\begin{aligned} V_h &= (\Sigma\ \sqrt{\Sigma f\mu D})\times 28.39\times k \\ &= (4.1+3.8+9.3+7+8.8)\times 28.39\times 0.21 \\ &= 196.7, l/min \\ &= 11.8, m^3/h \end{aligned}$$

2）排量： $$V_p=\frac{V_h}{0.75}=\frac{11.8}{0.75}=15.73\ m^3/h。$$

3）压头：同海水泵压头。

6.4 一般船舶常用的淡水泵和热水循环泵的排量和压头以及压力水柜(见表 7.2.2—4)

表 7.2.2—4 **常用淡水泵、热水循环泵和压力水柜规格参数**

泵种	泵及电动机			压力水柜	
	$V_p(m^3/h)\times p_p(MPa)$	电动机,kW	台数	容量,l	数量,只
淡水泵	10×0.4	3.7	2	1000～1500	1
	10×0.5	3.7			
	10×0.55	5.5			
	15×0.55	7.0		2000	
热水循环泵	2×0.08	0.4	1	—	—

7 淡水注入管

船上需要装淡水注入管的水舱有:淡水舱、补给淡水舱、首尖舱、冷却水舱和饮水舱等。

淡水注入管接头或管口盖一般为铜质,管上需装一截止阀。注入管管径一般为65mm。当管径大于100mm时,则应用2×65mm注入口和配置丫形接头。

每个水舱至少装一根注入管,如装两根注入管时,两者要接一根连通管,以便从两舷的任一舷侧注水。

该水注入管管径与舱容及安装位置,见表 7.2.2—5 。

表 5.2.2—5 **淡水注入管布置**

系统名称	淡水舱容积 m³	注入口位置	注水方式	注入管管径 D_N mm	备注
共用注水系统	<100	船尾	两舷	65	散货船、矿砂船
	>100			100	
	<100	船中、船尾、尾楼前		65	油船、矿/油船
	>100			100	
共用注水系统	<100		单舷	65	任意选择
	>100			100	
冷却淡水舱		尾楼甲板		65	

8 淡水供水的应急接管

船舶在应急时能接通海水供冲洗大便器的情况下,洗脸盆应供给淡水,其设计应考虑:

(1) 利用热水管供给饮水以代替淡水;

(2)利用饮水系统(预先接有连通管和截止阀)供给饮水以代替淡水。

9 洗濯水系统图例

图 7.2.2—1 所示为洗濯水系统原理图。它包括冷水(淡水)和热水 2 个系统,系统结构与

舷外水系统相似。

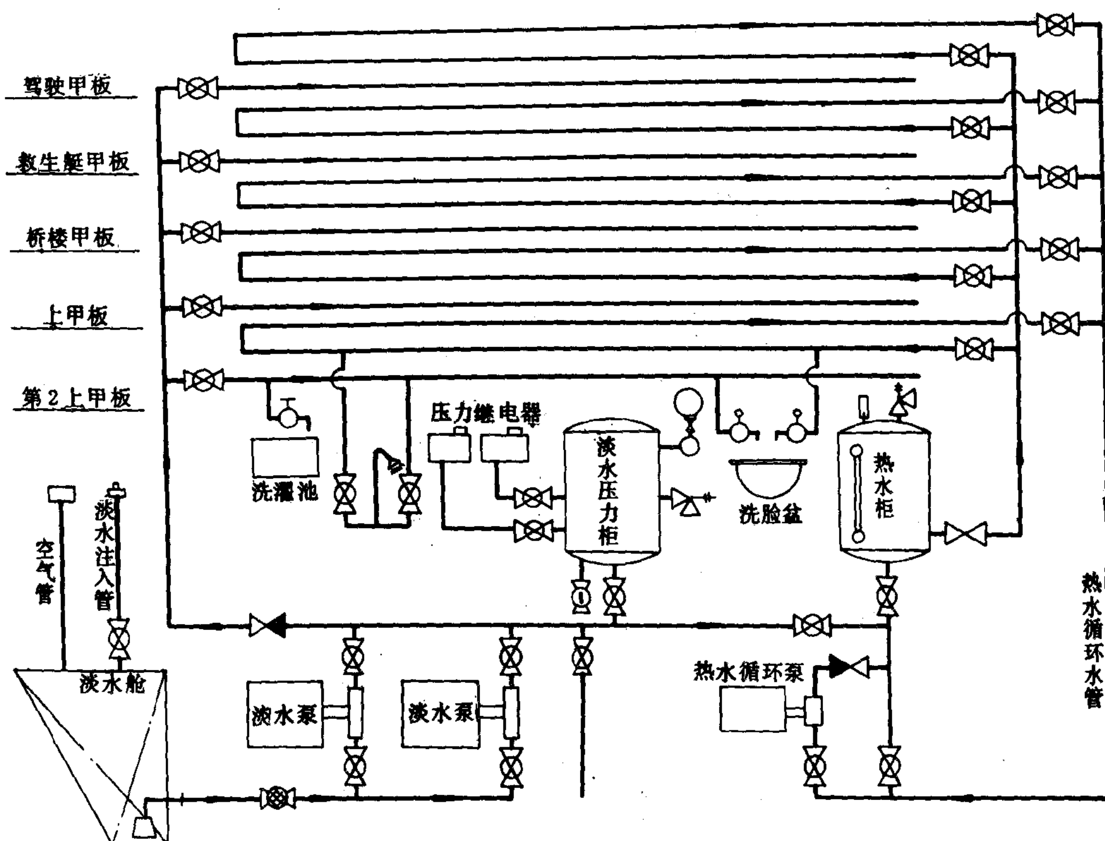


图 7.2.2—1　洗濯水(冷热水)系统原理图

第3章 饮水系统

1 饮水系统

饮水系统是把饮水输送到厨房、茶水间和医务室等需要供应饮水的器具和设备。饮水的耗量，一般为20～30 l/(人.d)。

江河和沿海船舶的饮水系统与洗濯水系统合并为一个系统，因为都是贮存在淡水舱内的自来水。近年，我国研制出一种船用高效净水器，江河水经过该器处理消毒后的水质，符合GB5749标准，可供船上生活用淡水，给长江和内河船舶解决了洗濯水和饮用水问题。

远洋船舶由于自来水贮存量有限，所以船上的淡水和饮水来源必要时要靠船上所装设制淡装置制造来的蒸馏水来补给。蒸馏水如作为饮水需进行适当的处理。处理方法参见本手册第8卷第5篇第3章。

2 生活饮水水质标准和卫生条件

生活饮用水水质，不应超过表7.2.3—1所列的限量。表7.2.3—2所示为世界几个国家的标准。

表7.2.3—1　**国家(GB)和交通部标准(JT)有关内河船舶生活饮水卫生标准**

序号	项　目	GB5749－76　(1976年)	UDC JT 0014－85
	一、感官性状指标		
1	色	色变不超过15度并不得呈现其它异色	不超过15度
2	浑浊度	<5度	不超过5度(洪水期不超过10度)
3	臭和味	不得有异臭、异味	不得有异臭、异味
4	肉眼可见物	不得含有	不得含有
	二、化学指标		
5	PH值	6.5—8.5	6.5—8.5
6	总硬度 mg/l(以碳酸钙计)	<250	不超过250
7	铁 mg/l	<0.3	不超过0.3
8	锰 mg/l	<0。1	
9	铜 mg/l	<1.0	不超过1.0
10	锌 mg/l	<1.0	不超过1.0
11	挥发酚类 mg/l	<0.002	不超过0.002
12	阴离子合成洗涤剂 mg/l	<0.3	不超过0.3
	三、毒理学指标		
13	氟化物 mg/l	<1.0适宜值0.5—1.0	

续上表

序号	项　　目	GB5749－76　(1976年)	UDC JT 0014－85
14	氰化物 mg/l	<0.05	不超过 0.05
15	砷 mg/l	<0.04	不超过 0.04
16	硒 mg/l	<0.01	
17	汞 mg/l	<0.001	不超过 0.001
18	镉 mg/l	<0.01	不超过 0.01
19	铬(六价)mg/l	<0.05	不超过 0.05
20	铅 mg/l		不超过 0.1
21	铝 mg/l	<0.1	不超过 0.2
	四、细菌学指标		
22	细菌总数个 g/ml	<100	少于 100
23	大肠杆菌群个/l	<3	应少于 3
24	游离性余氯 mg/l	0.3	加氯消毒后 30min 水舱水余氯应大于 0.5

表 7.2.3—2　**世界各国生活饮水卫生标准**

项　　目	美　国 (1976年)	WHO (1982年)	前 苏 联 (1973年)	EEC (1980年)	日　　本 (1979年)
色		<15 真色单位	<20 度(Pt－Co)	<20 度(Pt－Co)	5 度
浑浊度	<5 单位	<5 度、最好<1 度	<1.5mg/L	<4mg/L	2 度
臭和味		不得使多数消费者厌恶	2 级	2～3 级(12～25℃)	无异常
肉眼可见物					
pH 值			6.8～8.5	≤9.5	5.8～8.6
总硬度(mg/L,CaO 计)		500($CaCO_3$计)	10		300($CaCO_3$计)
铁　mg/L	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3
锰　mg/L	0.05	0.1	0.1	0.05	0.3
铜　mg/L	1.0	1.0	1.0	0.1	1.0
锌　mg/L			5.0	0.1	1.0
挥发酚类　mg/L				0.0005	0.005
阴离子合成洗涤剂 mg/L					0.5
氟化物　mg/L	1.4～2.4(与温度无关)	1.5	0.7～1.5	6.7～11.5	
氰化物　mg/L	0.2	0.1		0.05	检不出
砷　mg/L	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
硒　mg/L	0.01	0.01		0.01	
汞　mg/L		0.001		0.001	检不出

续上表

项　　目	美　国 (1976 年)	WHO (1982 年)	前 苏 联 (1973 年)	EEC (1980 年)	日　本 (1979 年)
镉　mg/L	0.01	0.005		0.005	0.01
铬(六价) mg/L	0.05	0.05		0.05	0.05
铝　mg/L	0.05	0.05	0.1	0.05	
细菌总数 个/mL		0	<100	0/100mL	100
大肠菌群 个/L		0	<3	0/100mL	检不出/100mL
游离余氯 mg/L					

注:WHO 世界卫生组织 World Health Organization。

EEC 欧洲经济共同体 European Economic Community。

交通部对江船给水设施的卫生条件还有以下主要规定:

1)凡以江河水作为生活饭水水源的船舶,应设置净水系统和消毒装置。如船上以港口自来水作生活饮水时也应有消毒装置。

港口、码头水域不得作为船舶生活饮水的水源。

2)净化器不得设在客舱、船员舱,厕所及人流多的地方,并应有栅栏和锁。

3)饮水舱和水柜的所有开孔应注意严防污水和污物浸入,水舱空气气管端应加防护罩,饮水舱不得少于二个,并应避免与油舱邻近。

4)凡由港口或供水船向船上饮水水舱装水时,必须使用专用水管。

5)船舶饮水管道不得与其它管道直接连接。

6)船舶给水设备所用材料及净水剂,均不得污染。

7)饮水水舱蓄水时间,夏季一般 不应超过 3 天,冬季一般不应超过 7 天,并应每天向水舱加氯强化消毒,其余氯含量不得少于 0.5mg/l 。

8)各船舶及主管部门应加强对船舶给水设施的管理,并建立有效的给水、消毒、排污和检修等制度及操作规程,以保证供水质量。

9)内河船舶的设计,制造等有关单位,在今后船舶设计制造过程中,要认真执行本标准。

3 供 水 方 式

采用压力柜自动供水或重力柜由重力供水方式,目前以压力柜自动供水占绝对多数。工作压力 0.3MPa 以内,压力差为 0.1MPa。

4 饮水杀菌装置

船上一般是采用集中杀菌方式。在饮水系统管路上装加氯装置或紫外线杀菌灯。

1)氯气杀菌装置:装在饮水泵与压力水柜之间的管路上,箱内投入次氯酸钠(Naclo),但是,这液体对钢、铁有腐蚀作用。

2)紫外线杀菌灯:也是装在饮水泵与压力水柜之间的管路上,主要是利用紫外线杀菌原理。

5 过 滤 器

一般在管路末端装一过滤器，经此过滤的水以供制作饮料、食品之用，或者作为饮水。其装置情况，见表 7.2.3—3。

表 7.2.3—3

序号	使用处所	过滤器的位置	备注
1	厨房	装在开水炉、蒸饭锅、汤锅、洗濯槽等水龙头接管末端	
2	配膳室	装在开水炉、咖啡壶、洗濯槽等水龙头接管末端	
3	医务室	装在消毒器接管末端	
4	走廊和餐厅	装在冷饮水喷头内	冷饮水喷头内不装杀菌装置

6 供水器具及其阀件和管径

饮水系统供水器具所用的阀件及其管径，参照表 7.2.3—4 选用。

表 7.2.3—4 饮水器具、阀件和管径

处所	供水器具	阀件	公称通径 D_N	给水单位		备注
			mm	个	总水量 l/min	
厨房和配膳室	洗濯槽	可旋转的水龙头	15	1	28.39	
	汤锅		15	1	28.39	
	蒸饭锅		25	4	113.56	
	开水炉	截止阀	15	1	28.39	
	万能饮事机械	可旋转的水龙头	15	1	28.39	
	和面机		15	1	28.39	
	土豆削皮机		15	1	28.39	
	冰淇淋冷冻桶		15	1	28.39	
	洗碗机		15	1	28.39	
	洗米机		15	1	28.39	
	豆浆机		15	1	28.39	
茶水间、走廊和餐厅、医务室	开水炉	截止阀	15	1	28.39	
	冷饮水器	截止阀	15	1	28.39	
	消毒器	可旋转的水龙头	15	1	28.39	
	医务用水	截止阀	15	1	28.39	

7 支管和干管

参照第 1 章的表 7.2.1—3 及表 7.2.1—4 选用干管。

8 饮水泵计算

总耗水量和排量计算，参见第一章中海水泵的计算。

举例：某客船设饮水泵 1 台，自动压力，共分 2 根干管，分别供水至供水对象，见表 7.2.3—5，计算饮水泵排量和压头。

总耗水量：列出器具数目和供水支管管径与给水单位。

表 7.2.3—5 **器具数与给水单位**

干管序号	器具名称	供水管径 D_N,mm	给水单位，个	器具数目，个	共计给水单位 $f\mu D$ 个	$\sqrt{\Sigma f\mu D}$	备注
1号干管	洗濯槽	15	1	1	1	$\frac{\sqrt{1+4+1+1}}{1+1+1+1}$	厨房和配膳室
	蒸饭锅	25	4	1	4		
	汤锅	15	1	1	1		
	开水炉	15	1	1	1		
	万能炊事机械	15	1	1	1		
	和面机	15	1	1	1		
	洗碗机	15	1	1	1		
	洗米机	15	1	1	1		
2号干管	开水炉	25	4	1	4	$\sqrt{4+6+1}$ =3.3	公用
	冷饮水喷头	15	1	6	6		
	医务用水	15	1	1	1		

$$
\begin{aligned}
V_n &= (\Sigma\ \sqrt{\Sigma f\mu D})\times 28.39\times k \\
&= (3.3+3.3)\times 28.39\times 0.21 \\
&= 39.4, l/min \\
&= 2.4, m^3/h
\end{aligned}
$$

排量：

$$V_p=\frac{V_h}{0.75}=\frac{2.4}{0.75}=3.2 \qquad m^3/h$$

压头：一般取压力约为 0.3～0.5Mpa(30～50mH_2O)。

8.1 一般船舶常用的饮水泵排量和压头以及压力水柜(见表 7.2.3—6)。

表 7.2.3—6 **常用的饮水泵和压力水柜规格参数**

序号	饮水泵及电动机			压力	水柜
	$V_p(m^3/h)\times p_p(MPa)$	电动机,kW	台数	容量,l	数量,只
1	4×0.3	2.0	1	500	1
2	5×0.4	2.2			
3	5×0.45	3.0			
4	5×0.5	3.7			

9 饮水系统图例

图 7.2.3—1 所示为饮水系统原理图。系统中的饮水泵，一般装置 1 台。但大型船舶，特别是大型客船，也有装 2 台的，其中 1 台备用。该系统图是按上述原则和要求进行设计的，但供水器具只是一部分，未全部表示。

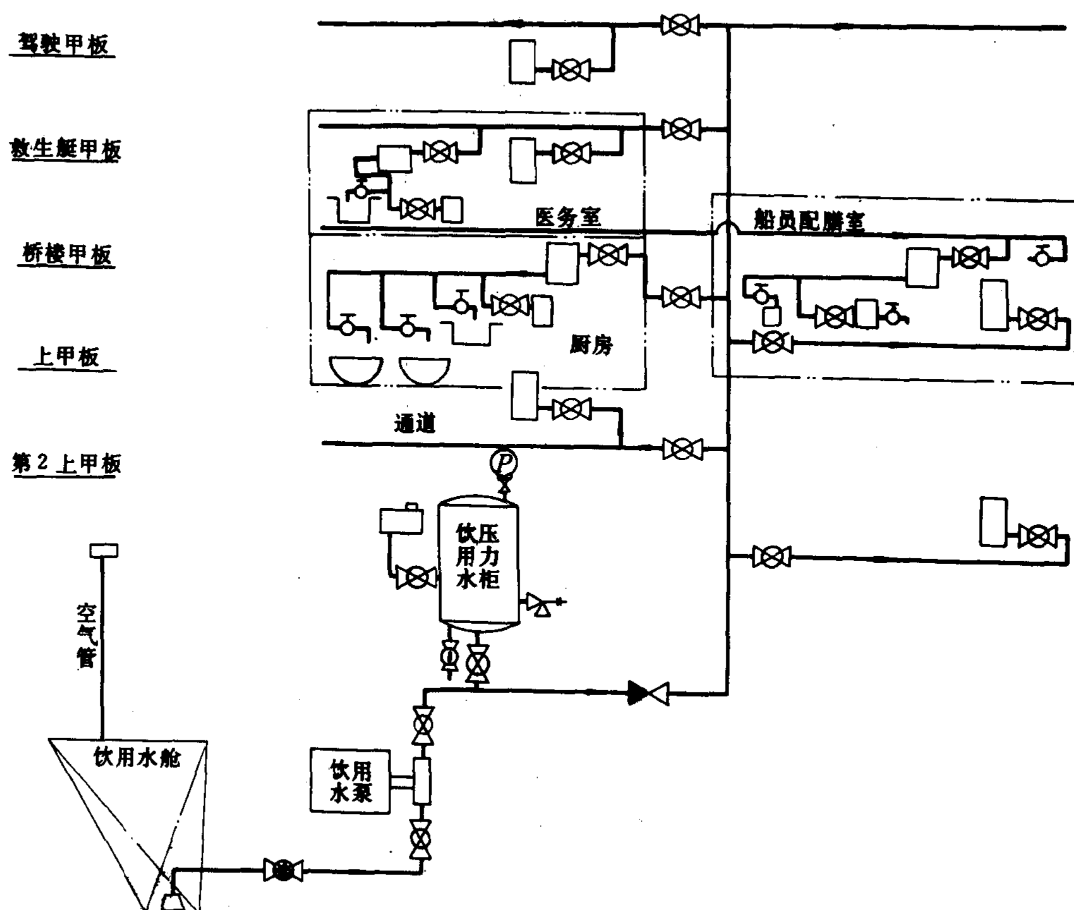


图 7.2.3—1　饮用水系统原理图

第 4 章　水柜和江水净水器

1 水　柜

供水系统有四种水柜，舷外水（海水）柜、淡水（清水）柜、饮水柜。另外，还有一种热水柜，有蒸汽加热、高温水加热和电加热，或同时装设蒸汽与电加热。形式有重力式和压力式。过去多用重力式，现在用压力式多。

1.1　重力水柜的容积

$$V_g = \tau V_h, \quad l; \qquad (7.2.4-1)$$

式中：V_g——重力水柜容积，l；

τ——持续使用时间，取 1～3h；

V_h——总耗水量，l/h。

1.2　压力水柜

海水、淡水及饮水三种压力水柜的计算方法相同。

1）压力水柜容积（图 7.2.4—1）：

$$V = V_a + V_e + V_o, \quad l \qquad (7.2.4-2)$$

（1）充入压缩空气的最大容积（V_a）：压缩空气充气与自然充气相比较，其有效容积（v_e）可增加约 1 倍。

$$V_a = \frac{p_1 V_e}{p_2 - p_1}, \quad l \qquad (7.2.4-3)$$

式中：p_1——压力水柜最低工作压力，一般为 0.15～0.3MPa；

p_2——压力水柜最大工作压力，一般为 0.4～0.45MPa，视船舶大小而定，但不宜过高；

V_e——压力水柜的有效容积，l。

（2）压力水柜的有效容积，（V_e）：

$$V_e = \tau V_h, \quad l \qquad (7.2.4-4)$$

式中：τ——持续供给最大耗水量（即总耗水量 V_h）的 2～4min 的水量容积。船上用水高峰是在 07:00～09:00、13:00～14:00 与 18:00～21:00 的范围内。持续用水时间为 2～3h。

（3）压力水柜的最低水位容积（V_o）：

这部分容积比 V_e 容积小，一般取为 V_e 的 0.20～0.25 倍。但液面高度略高于压力水柜底部出水口，即：

$$V_o = (0.2 \sim 0.25)V_e \quad l \qquad (7.2.4-5)$$

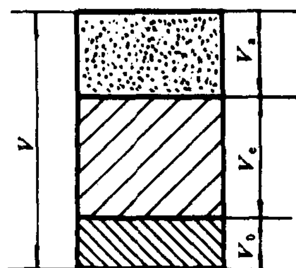


图 7.2.4—1

压力水柜容积图

（4）举例：某船淡水总耗量 V_h=5000l/h，要求 p_1=0.2MPa，p_2=0.38MPa，求淡水压力柜总容积（V）。

a) $V_e = \tau V_h = 2.5 \times \frac{5000}{60} = 208.3l$

b) $V_a = \frac{p_1 v_e}{p_2 - p_1} = \frac{0.2 \times 208.3}{0.38 - 0.2}$

$= 231.4l$

c) $V_o = 0.2 v_e$

$= 0.2 \times 208.3 = 41.7l$

淡水压力柜容积（V）：

$V = v_a + v_e + v_o$

$= 231.4 + 208.3 + 41.7$

$= 481.4l$，　　取压力柜 $0.5m^3$(cB455)。

2)船用压力水柜标准：标准号 CB455，有 0.2、0.3、0.5、1.0、1.5、2.0、3.0m³ 等 8 档规格。

3)自动化：

压力水柜的自动化主要是指泵的自动控制。泵有两种泵，一是电动离心式水泵，用压力继电器(自动开关)来控制电动机的停止和启动。如图 7.2.4—2 所示是洗濯水系统管路和自动控制系统原理图。当淡水由淡水泵 3 自淡水舱吸水输至淡水压力柜 4 中，压力水柜上部空间的空气(或压缩空气)被水压缩而压力增高至 0.4～0.45MPa 时，压力继电器 5 动作，使驱动水泵的电动机的电源关断，水泵即停止运转，这时系统的用水完全由压力水柜供给。随着用水的消耗，压力水柜内水的有效容积(V_e)减小，上部空气容积(V_a)增大致使柜内压力下降而到一定极限(0.15～0.3MPa)时，压力继电器 5 动作，使电动机的电源接通，水泵即启动而补充柜内的水量，直到恢复原来的压力为止。

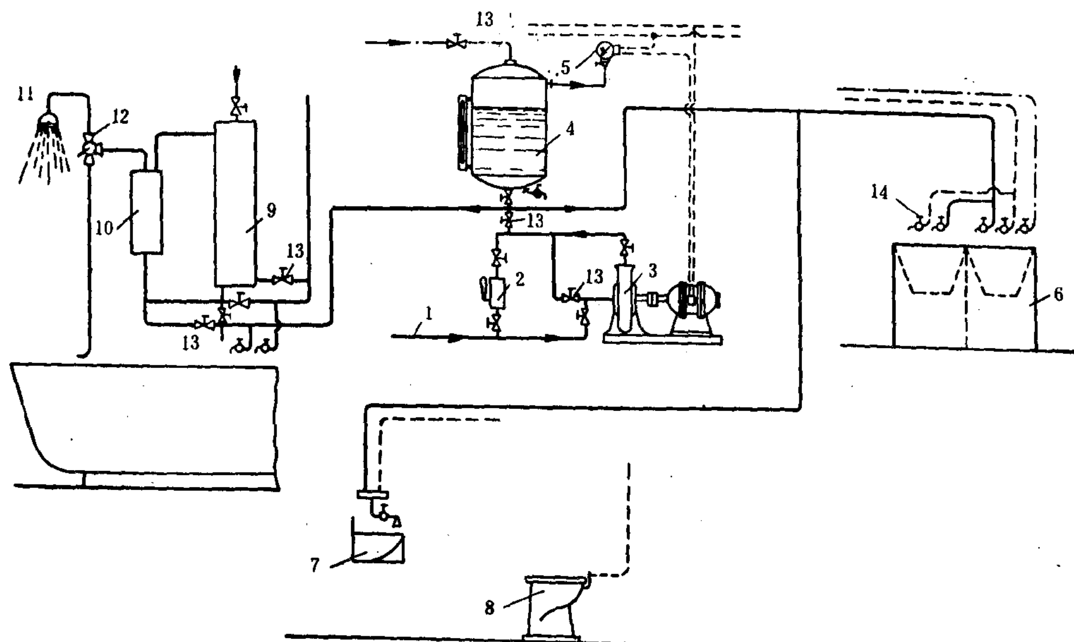


图 7.2.4—2　采用电动离心式泵自动式洗濯水系统装置图

1—淡水泵自动淡水舱的吸入管；2—备用手摇泵；3—离心式淡水泵；4—压力水柜；5—压力继电器；6—洗濯盆；7—洗脸盆；8—大便器(抽水马桶)；9—供浴缸用的热水器；10—热水与冷水的混合器；11—莲蓬头；12—三通旋塞；13—压缩空气管上和其它管路上的截止阀；14—放水旋塞。

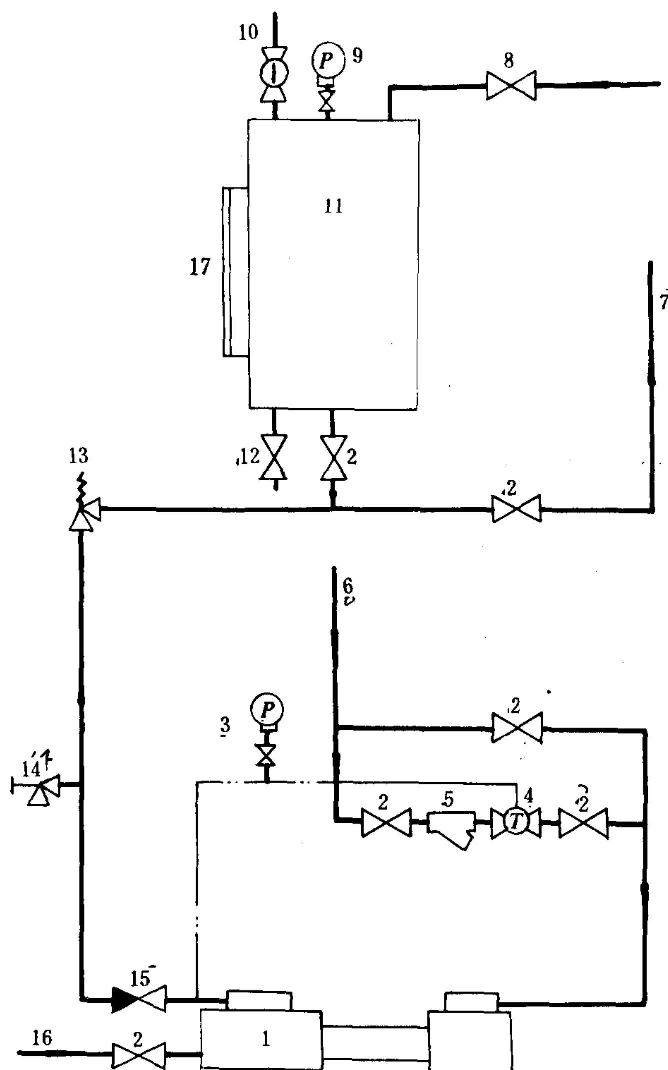


图 7.2.4—3 采用蒸汽往复泵自动式供水系统装置图

1—蒸汽往复泵；2—截止阀；3—压力表；4—水泵自动阀；5—蒸汽滤器；6—蒸汽管；7—供水总管；8—压缩空气管路上的截止阀；9—压力表；10—空气旋塞；11—压力水柜；12—放水阀；13—安全阀；14—试水阀；15—截止止回阀；16—泵自水舱来的吸入水管；17—玻璃水位表。

为增加压力水柜的有效容积和减少泵的启停次数，近代则在压力水柜内充入压缩空气，此空气可由一组贮气瓶或杂用空气瓶接供，管径 10～15mm。

压力水柜上或在进水管路上，须装安全阀，校正压力为 0.45～0.5MPa 或最大压力为工作压力的 1.1 倍。

另一种水泵为蒸汽往复泵，用水泵自动阀 4 来控制泵的工作蒸汽达到启停作用，它控制工作原理与上述的相似，所不同者，继电器是控制电源，自动阀是控制汽源来达到泵的启停。这种供水系统控制原理图，如图 7.2.4—3 所示。

4）供水方式的比较：

系统供水方式有重力式和压力式两种，而压力式又有压力水柜泵断续供水式和泵连续供水式，见表 7.2.4—1。

表 7.2.4—1 **三种供水方式的比较**

序号	项　目	重力式	压力式		说　明
			压力水柜	泵连续运转	
1	供水器具的供水管接头处的漏水现象	无	无	有可能	因为泵随着耗水量的减少，压力上升而使接头发生漏水
2	水击噪声	无	无	有可能	断流时
3	供水状态	稳定	稳定	不稳定	因为耗水量的变化
4	严寒季节冰冻	有可能	无	无	重力柜和溢流指示管均在最高层露天甲板
5	防溅水措施	不需要	不需要	需要	因泵的压力不能调节，下面甲板层舱室受到高压
6	降低船舶重心	无	有	有	因为压力水柜可装在机舱里
7	泵的启、停次数	较多	多	少	虽然启停次数多，但泵能有时间停息

续上表

序号	项　　目	重力式	压　力　式		说　　明
			压力水柜	泵连续运转	
8	泵运转时间	较少	少	连续	泵浦运转时间越少越好
9	安装位置	最高甲板层	任意	机舱	
10	占地面积	大	大	小	
11	泵的压头	不变	不变	变	

1.3 热　水　柜

1)热水量：一般为 $V_h/2$，由淡水压力水柜接供。

2)热水柜加热面积计算用的资料，如表 7.2.4—2 所列。

表 7.2.4—2　　**热水柜计算数据**

加热用的蒸汽或高温水的温度(t_1)°c	给水温度(t'_1)°c	热水出口温度(t'_2)°c	传热系数(k)，W/m²k			污垢系数 φ_s
			加热管材料	蒸汽加热(143℃)	高温水温度(80℃)	
			铜管或黄铜管	1104.9～1163	337.3～348.9	
80～143	10～17	60～70	钢管	523.4	—	0.85

3) 热水套：小型船舶可在主机排气管上设热水套以代替专用的热水柜；大型船舶可在发电机排气管上设热水套以补充热水柜的热水量或作热水柜的预热器，提高进水温度，是节能和废热利用的措施。采用热水套，必须注意安全和排气管腐蚀等问题。

4)船用热水柜标准：标准号 CB456，有 0.3、0.5、1.0m³ 共 3 档规格。

2　江水净水器

JSL 型江水净水器是我国内河和长江船舶的一种先进净水器，它的工艺流程与处理腐蚀度原水的自来水厂相近似，能处理浊度在 2000mg/l 以下的原水，经净化和消毒后的水质符合国家生活饮水水质标准(GB5749)。

2.1 工 作 原 理

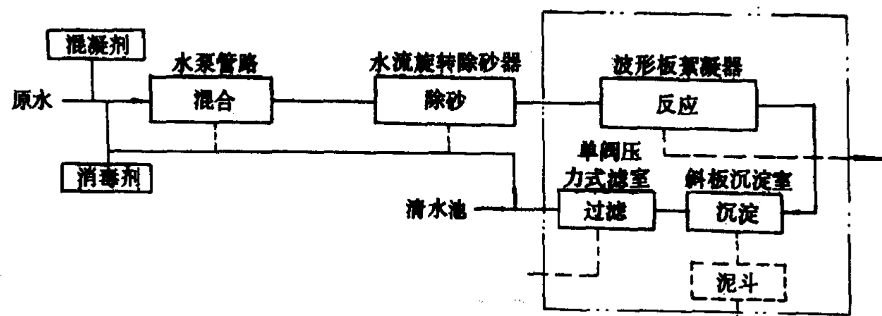


图 7.2.4—4　净水工艺流程图

主要有 6 道工序(功能)：混合→除砂→反应→沉淀→过滤→消毒。其工艺流程、净水系统原理图和外形图，如图 7.2.4—4、7.2.4—5 和 7.2.4—6 所示。

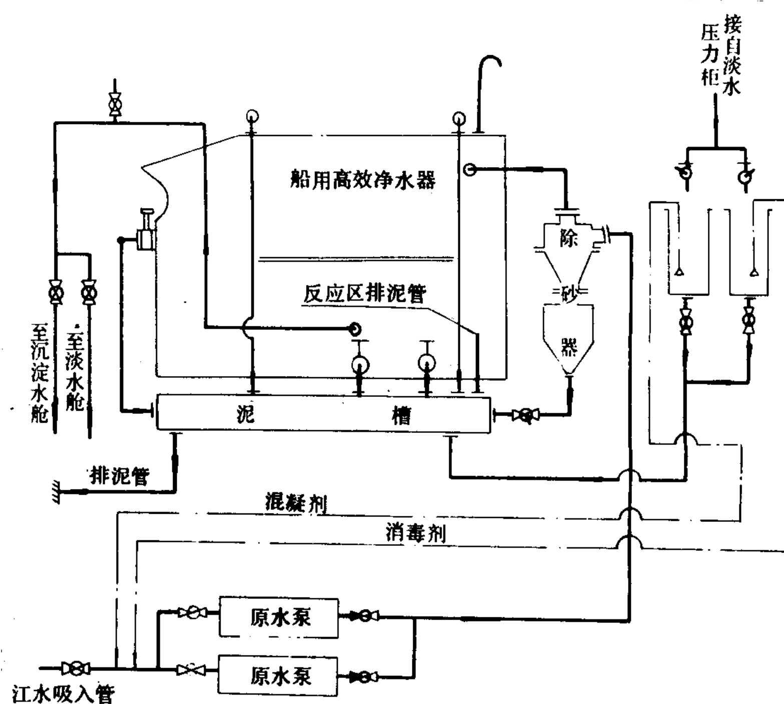


图 7.2.4—5　净水系统原理图

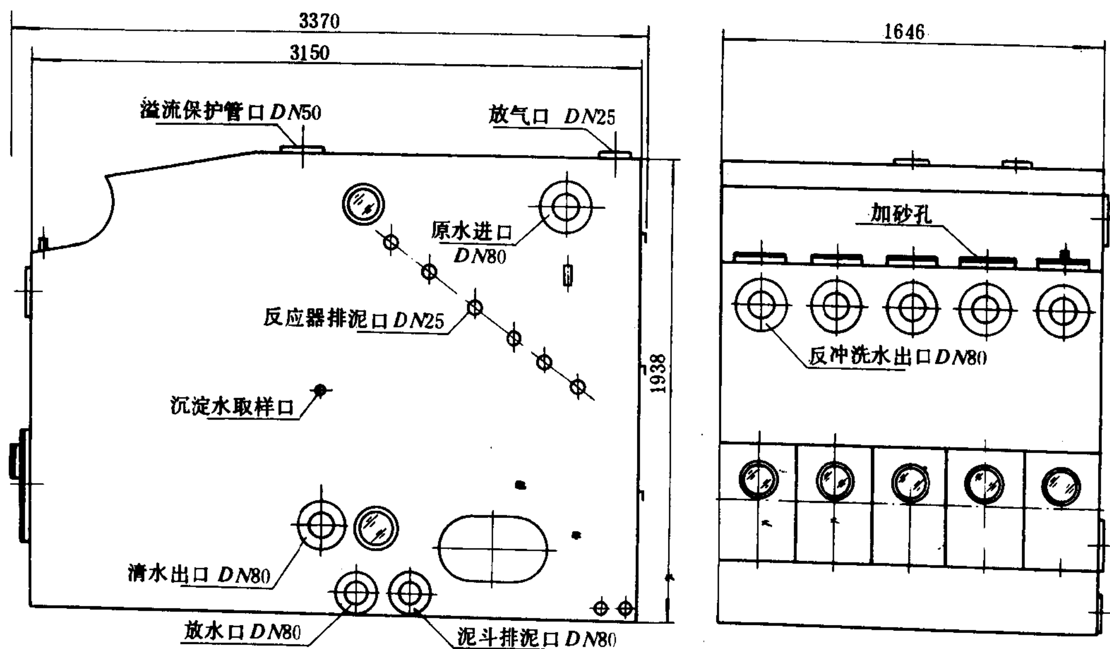


图 7.2.4—6　JSL—20 型净水器外形图

2.2 操作原理

2.2.1 药剂配置

1)推荐使用碱式氯化铝作混凝剂，每 1m^3 原水年平均投加量 20g。

2)推荐用漂粉精作消毒剂，每 1m^3 原水投加量<2g。

3)药剂调配时，必须搅拌，使之充分溶解。

2.2.2 初始运行

1)调配药液，须先检查投药系统是否正常。

2)开启原水的进、出水阀、除砂器排砂阀、滤室反冲洗阀、滤室排气旋塞、滤后水排空阀。

3)接通电源，启动原水泵。

4)观察投药系统工作是否正常。

5)当除砂器内的砂排光后，关小排砂阀至"微开"位置。

6)待泥斗无泥后，关小排泥阀至"微开"位置。

7)关闭滤后水排空阀，并逐个进行单元滤室反冲洗，其反冲洗操作方法：开启第一单元滤室的反冲洗阀，关闭其余单元的反冲洗阀，待出来的冲砂水为较清洁水时，开启第二单元的反冲洗阀，关闭第一单元的反冲洗阀，如此依次进行，直至滤料冲洗干净为止。新加滤料需反复进行数次。

8)开启滤后水排空阀，调节水量和投药量，取样检查，待水质符合要求后排至淡水舱(或专用贮水舱)，关闭排空阀。

2.2.3 正常运行

1)定时进行下列工作，并作好记录。

(1)取样测定原水、清水、沉淀水的浊度，贮水舱及管路中水的余氯含量。

(2)观察加药系统工作是否正常及投药量。

(3)观察反应矾花产生情况，适当调整投药量。

(4)记录流量及运行时间。

2)滤室反冲洗：进行反冲洗的目的是清洗滤料，使其恢复过滤能力。当发生下列情况之一时，需进行反冲洗，同本节 2.2.2。

(1)滤水后的浊度≥5mg/l 时；

(2)滤池压力增大至 0.01MPa 时；

(3)连续工作 8～12h；

(4)停用时间超过 24h；

3)排泥

(1)泥斗排泥：当原水浊度<500mg/l 时，8～12h 排泥一次；500～1000mg/l 时，6～8h 排泥一次；>1000mg/l 时，4h 排泥一次。

(2)操作方法：

①全开泥斗排泥阀，待出水较清洁时关闭一会，然后再全开，反复数次，直至不再有泥水流出为止。

②排泥完毕后，将排泥阀常开 2～3 格，进行连续排泥。

③反应区排泥：当原水浊度<500mg/l 时，15 天左右排一次；<1000mg/l 时，7 天左右排一次；>1000mg/l 时，1～2 天排一次。操作时依次打开各阀、直到出水较清时关闭。

④除砂器排砂：每天全开排砂阀一次，到贮砂缸的砂排完时关至"微开"位置。

2.2.4 净水器停用(24h 以上时)

1)进水滤池反冲洗，同本节 2.2.2 之 7)。

2)泥斗排泥,同本节 2.2.2 的 2)。

3)反应区排泥,同本节 2.2.2 的 3)。

4)除砂器排泥,同本节 2.2.2 的 4)。

上述操作完毕后,停止原水泵和停止投药。

2.3 维修保养(见表 7.2.4—3)

表 7.2.4—3 **净水器的故障及其处理方法**

序号	故 障	故障原因	处理方法
1	投药不稳	加药管路漏气	查漏,并排除故障
		加药管路堵塞	检查吸口,浮子流量斗、投加点等处有无堵塞
		泵的真空度不够	检查,并排除故障
2	矾花细小	投药不稳	见本表序号 1 栏各条
		药量过少	增大投药量
		水量过大	减少水量
3	絮体松散上飘	投药量过多	减少投药量
4	絮体正常,沉淀水仍浑浊不清	泥斗积泥	加强排泥
		斜板积泥	排空泥斗,反复进行水冲洗
5	反冲后水仍不能<5mg/l	反冲周期过长	再次反冲
		反应沉淀效果差	按本表序号 1、2、3、4 处理
6	滤室使用周期缩短	滤料结实,反冲强度不够	适当增大水量和延长时间
		冲洗时间不够	延长冲洗时间
		滤料跑失过多	补充滤料
7	反冲洗大量滤料跑出	反冲洗强度太大	控制反冲洗强度
8	清洗出口发现滤料	滤帽破损	更调滤料

2.4 JSL 型江水净水器规格

根据标准号 JT4057,有 5、10、20、40m^3/h 共 4 档规格。

参 考 文 献

[1] 荣次仙编著:船舶系统,人民交通出版社,1959 年

[2] 中华人民共和国船舶检验局:钢质海船入级与建造规范及其修改通报,人民交通出版社,1983 年、1986 年

[3] 国内船清水耗费量にフいて日本船用机关协会志 Vol6No8、1971 年

[4] 富山雄彦はか共著:给排水、卫生设备,1975 年 2 月

[5] 船舶にねける清水消费量について关西造船协会志,1961 年 10 月第 99 期

第3篇 船舶压载、油污水和舱底水系统

第1章 船舶压载系统[①]

1 压载舱及其要求

1.1 设压载舱的目的

压载舱主要用来改变和调整船舶的吃水，从而得到船体纵、横向的平衡和得到安全的稳心高度，减少船体的共振现象，以及避免出现过大的弯曲力矩、剪切力和改善空船适航性等。

1.2 对压载系统的一般要求

1)船舶在营运中的 正浮或倾斜时，压载系统应保证能排出和注入各压载舱的压载水。

2)压载舱长度超过 35m 时，该舱前、后端都应设吸口。

3)压载管系和压载舱，必须避免舷外水进入货舱、机器处所及其它舱室。

4)压载水管路不得通过饮水舱、锅炉水舱或滑油舱。

5)干货舱、油舱(包括深油舱)兼作压载舱时，为了两个系统平时避免互相沟通，位于压载管系联结处，或泵与阀之间的联结处应装设盲板法兰，或其它隔离装置。一般情况下压载管系不得与其它管系接通。

6)要求舱底水系统应完全与压载系统分开，这样可使两个系统同时工作，并防止污水直接通向舷外或压载水进入舱底或干舱。

7)150 总吨及以上的新船和 4000 总吨及以上的营运船舶，不得在任何燃油舱内装载压载水。其它船舶亦尽量避免。

8)如有非常情况或需要装有大量燃油，致使在燃油舱中必须装载压载水时，这种压载水应符合 73/78 防污公约附则 1 第 16(2)条的规定(参见油船压载系统)。

---

① 油船压载系统请看第 7 卷第 7 篇第 3 章。

1.3 各种船舶的压载方式和压载水舱的作用

表 7.3.1—1　　船舶压载方式和压载水舱的作用

名　称	作　　用	何种船采用	备　注
船首、尾尖舱	调整船舶前后吃水消除或减少，纵倾改善适航性、操纵性，减少船舶阻力，破冰船加重船首重量压碎冰块	货船、油船、客船、破冰船、火车轮渡等	
双层底舱	调正双层底舱水将获得较佳稳性、改善摇摆周期	货船、油船、客船、军舰、浮船坞、火车轮渡、起重船等	拖船尾部往往尚需增加铸铁块作压载
边水舱	弥补双层底压载水容积不够时所设。亦是用来调整船舶横倾和纵向弯曲及减少船体振动	矿砂船、油船	
顶边舱	因装散舱货物用 来降低船舶稳心高度 GM 有时亦 可用来装谷物	散装货船	

注：渡船及江河小客船无双层底舱时，则以铸铁块、石头、水泥等重物作固定压载。

2 压载系统

2.1 压载系统装置的原则和一般要求

船舶在营运中的任何情况下，压载系统应能保证随时压入或排出符合设计要求的压载水量。一般要求压载系统能满足规范上的要求，并在此基础上，能配合装卸过程所要求的压排时间，特别在快装快卸过程中亦能给以时间上的满足；其次要求压载管系布置简单，操作方便。

2.2 压载系统的形式

1)支管式(亦称传统式)，这种形式大都用于压载管径较小，舱数不多情况下的普通货船双层底舱的布置。

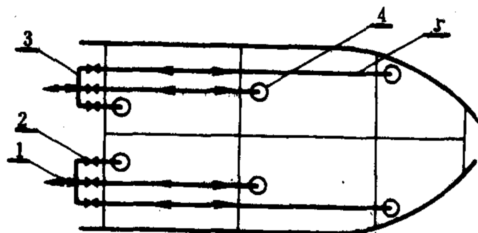


图 7.3.1—1　支管式压载水管系之一(用于双层底舱、深舱、舷侧顶边舱。每舱一吸口)
1—总管；2—阀；3—集合管；4—吸口；5—支管



图 7.3.1—2　支管式压载水管系之二(用于双层舱、深舱。每舱在舷侧和近船中处设一吸口)
1—总管；2—阀；3—集合管；4—吸口；5—支管

2)总管式，这是专用船广泛采用的压载管路。它沿船的纵向敷设总管，从总管向各压载舱

引出支管，在支管上安装阀和吸口。

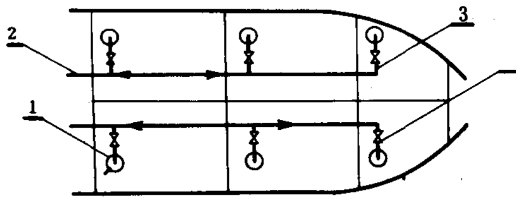


图 7.3.1—3　总管式压载水管系之一（用于双层底舱、深舱、舷侧顶边舱。每舱一吸口，左右各一根总管）
1—吸口；2—总管；3—支管；4—阀

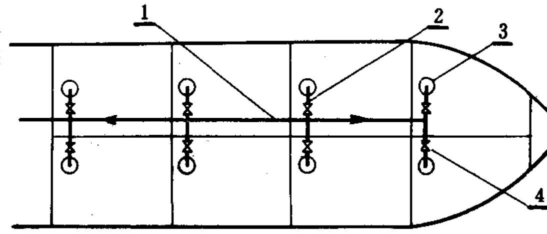


图 7.3.1—4　总管式压载水管系之二（用于双层底舱、深舱。全船设总管一根，每舱一吸口）
1—总管；2—支管；3—吸口；4—阀

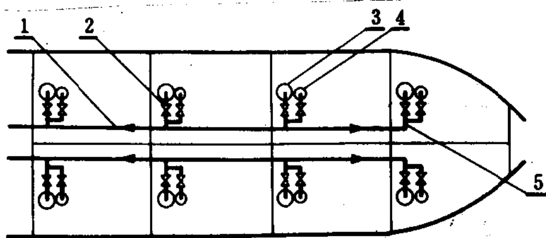


图 7.3.1—5　总管式压载水管系之三（用于双层底舱、深舱、舷侧顶边舱。每舱二吸口，左右各一根总管）
1—总管；2—阀；3—吸口；4—扫舱吸口；5—支管

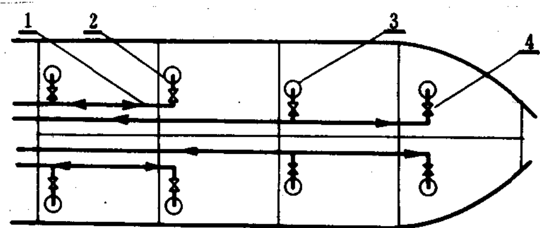


图 7.3.1—6　总管式压载水管系之四（用于双层底舱、深舱、舷侧顶边舱。每舱一吸口，左右各二根总管）
1—总管；2—支管；3—吸口；4—阀

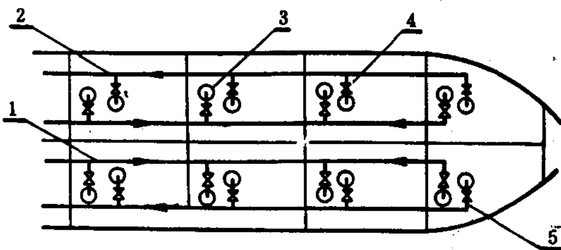


图 7.3.1—7　总管式压载水管系之五（用于双层底舱、深舱、舷侧顶边舱。每舱二吸口，左右各二根总管）
1—船中总管；2—舷侧扫舱总管；3—吸口；4—阀；5—支管

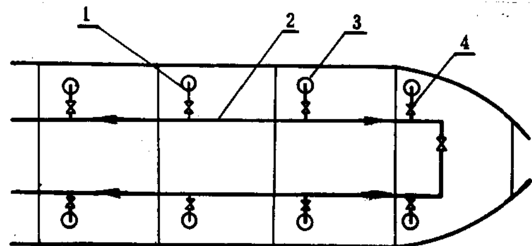


图 7.3.1—8　环形总管式压载系统之一（用于双层底舱、深舱、每舱一吸口，左右对称）
1—支管；2—总管；3—吸口；4—阀

3）环形总管式，这形式实际是总管式，它仅将两根总管的顶端相互连接而成环形。

4）管隧式，这种形式大都设于船中或稍偏船中心线一侧，在双层底内设一管隧，压载总管及其它管路敷设于内。散装货船和矿砂船都采用这种形式。

5）半管隧式，如管隧只占船长的一部份，其余仍沿用一般敷管法，则称半管隧式。

6）顶边舱的压排水式，顶边舱位于船舱左右舷的上方上甲板下，它的压、排水与其它压载舱不同。这种舱一般用于装运木船或散装货船上。它的管系布置如图 7.3.1—13、14 中所示，只用一根管子作压、排水。其压载系统布置多采用总管式和环形总管式。

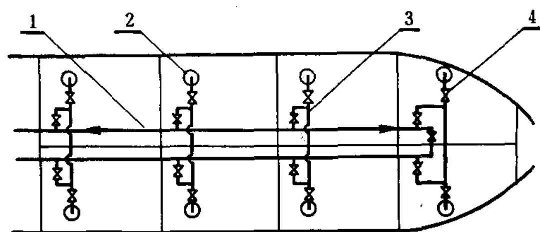


图 7.3.1—9 环形总管式压载水系统之二(用于双层底舱、深舱、每舱一吸口,左右对称并能吸排相通)

1—总管;2—吸口;3—支管;4—阀

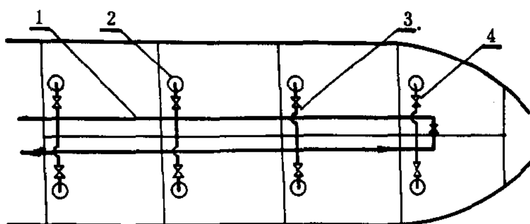


图 7.3.1—10 环形总管式压载系统之三(用于双层底舱、深舱 、每舱一吸口,不对称布置)

1—总管;2—吸口;3—支管;4—阀

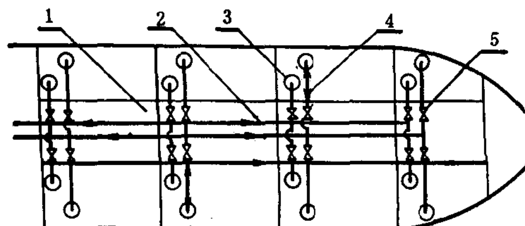


图 7.3.1—11 管隧式压载水系统(用于双层底舱、深舱;两根总管,每舱二吸口)

1—管隧;2—总管;3—吸口;4—支管;5—阀

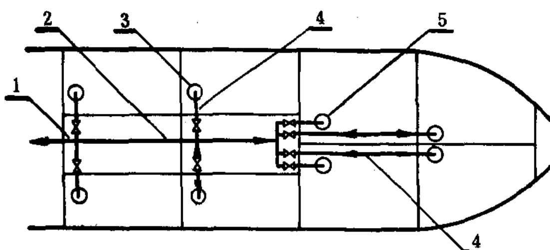


图 7.3.1—12 半管隧式压载系统(用于双层底舱、深舱、每舱一吸口)

1—管隧;2—总管;3—吸口;4—支管;5—阀

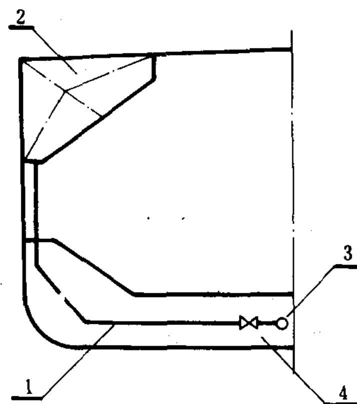


图 7.3.1—13 顶边舱压、排水系统之一

1—支管;2—顶边舱;3—总管;4—阀

图 7.3.1—15 所示形式是顶边舱与双层底舱联通成一个舱,顶边舱不设压载管,只是在顶边舱的下部装舷侧阀门,这样可利用重力作用,将压载水排出。

图 7.3.1—16、17、18 则为压、排水分开式。图 7.3.1—16 为压载水从顶部压入,舷侧自动排出。图 7.3.1—17 的形式是压、排水可以分开,也可以不分开。图 7.3.1—18 顶边舱与双层底舱中间用连接管相连。压水时由双层底舱压满后直接进入顶边舱 ,排水时可上、下同时排水,大大缩短了时间。

7)深舱压、排水式,位于机舱前和船首尖舱的独立压载水舱,其进水方式大都直接由舷侧阀门压入,或由上甲板注入。排出时由潜水泵或喷射泵或由重力排出。如图 7.3.1—19 所示。

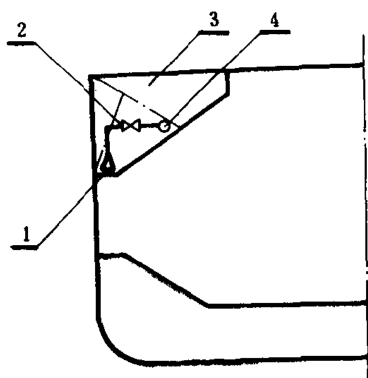


图 7.3.1—14　顶边舱压、排水系统之二
1—吸口；2—阀；3—顶边舱；4—总管

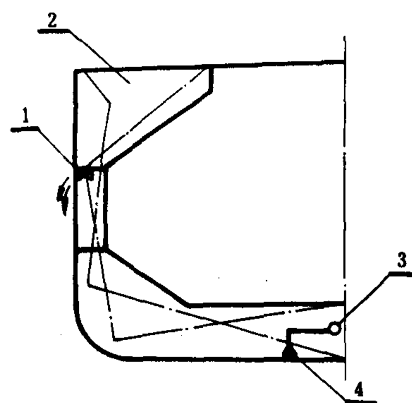


图 7.3.1—15　顶边舱压、排水系统之三
1—舷外排出阀；2—顶边舱；3—总管；4—吸口

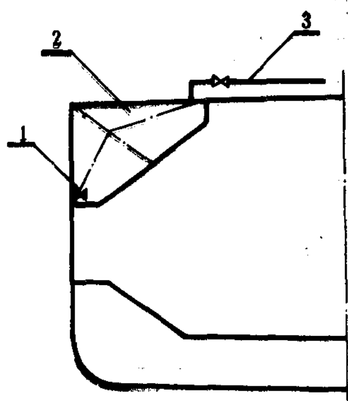


图 7.3.1—16　顶边舱压、排水系统之四
1—舷外排出阀；2—顶边舱；3—注入管

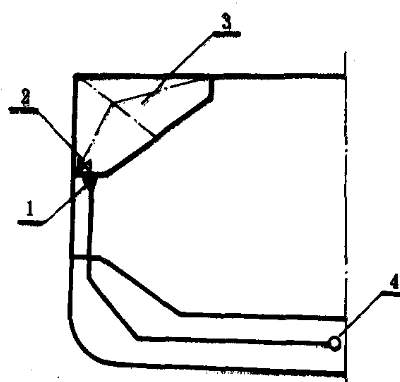


图 7.3.1—17　顶边舱压、排水系统之五
1—坠阀；2—舷外排出阀；3—顶边舱；4—总管

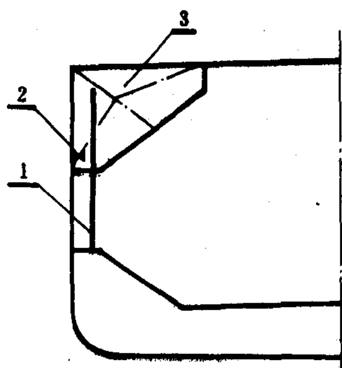


图 7.3.1—18　顶边舱压、排水系统之六
1—注入管；2—舷外排出阀；3—顶边舱

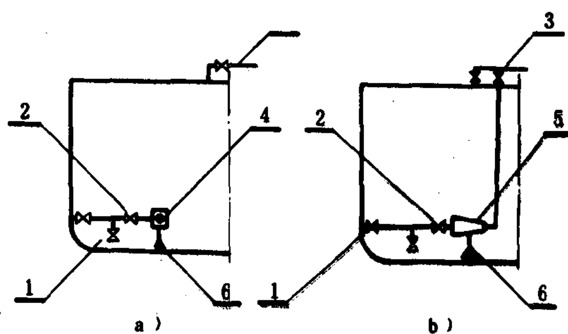
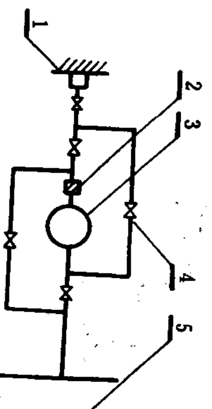
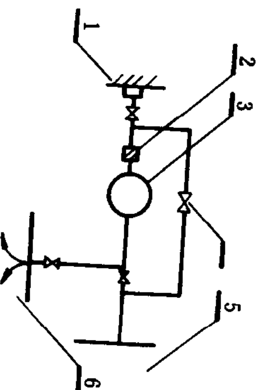
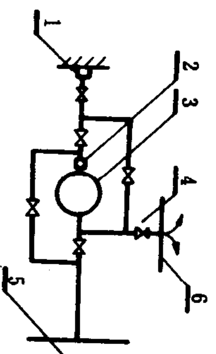
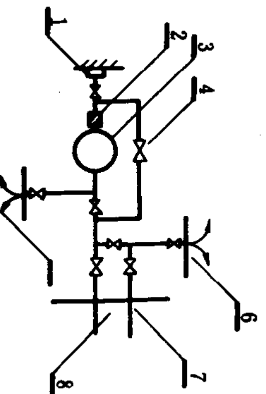
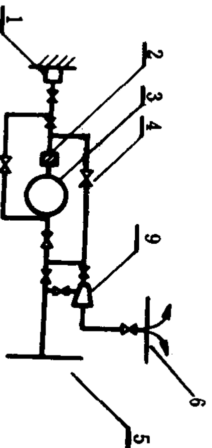


图 7.3.1—19　深舱和船首尖舱独立压、排水式
1—阀；2—止回阀；3—注入阀；4—潜水泵；
5—喷射泵；6—吸口

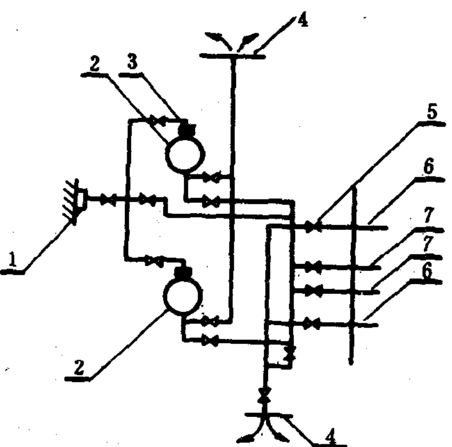
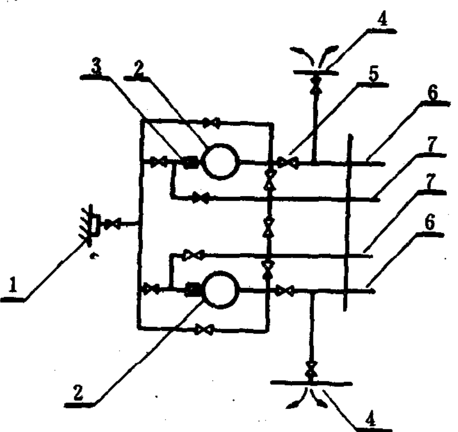
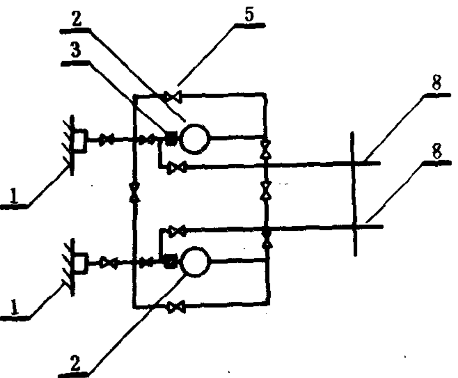
2.3 机舱压载泵与管系布置(见表 7.3.1—2)

表 7.3.1—2

机舱压载泵与管系的布置

		各种布置形式					图号示意
1	单泵压、排水管系	 图 7.3.1—20 仅有一个海水门吸入口兼作压、排水。	 图 7.3.1—21 由海水门压入，舷旁阀排出。	 图 7.3.1—22 在图 7.3.1—20 基础上，于舷旁装一只排出口。排水时，任开一阀门。	 图 7.3.1—23 排水设有二个舷侧阀门可排出。顶边舱可利用重力排出。	 图 7.3.1—24 在图 7.3.1—20 基础上加装扫舱喷射器。喷射水源可由压载泵供给。	1—海水门；2—滤器；3—泵；4—阀；5—压载舱；6—舷外排出口；7—舷侧顶边舱；8—双层底舱；9—喷射器

续上表

		各种布置形式			图号示意
2	双泵压、排水管系	 图 7.3.1—25 可双泵同时工作或一台工作，一台备用。有一路可不通过泵，直接由海水门排出。	 图 7.3.1—26 基本上与图 5.3.1—24 相似，但有二路可不通过泵，直接排出海水门外。	 图 7.3.1—27 有二个海水门可作压、排水。	1—海水门；2—泵；3—滤器；4—舷外排出口；5—阀；6—顶边舱；7—双层底舱；8—压载舱

续上表

		各种布置形式			图号示意
3	平衡泵管系	图 7.3.1—28 当船舶倾斜时，此泵可向左或右压载专用平衡舱注水。			1—电磁阀；2—操纵室；3—平衡泵（亦称倾斜泵）；4—右专用平衡压载泵；5 左专用平衡压载舱

3　压载泵和压载管管径的选定

3.1　压载泵的选择（见表 7.3.1—3）

表 7.3.1—3　　**压载泵的选择**

	名称	散装货船	油船	矿砂集装箱船	备注
能量	压、排水时间无特殊要求情况时 $Q=\frac{V}{C}$	G=7～12h	C=10～14h	C=12～18h	若压载泵为 x 台则每台能量$=\frac{Q}{x}$
	压、排水时间有一定要求情况时 $Q=\frac{V}{T}k$	一般取 k=0.8～0.9 如使用深压载水舱时取 k=1.1 如使用双层底压载水舱时取 k=1.25			总压载水量不包括自流排水压载水量及油舱兼用压载水舱水量
总扬程	总扬程＝实际扬程（位置水头）＋管系阻力＋余度 余度＝1/10 实际扬程	20～30m	25～35m	20～30m	
台数和型式		2 台电动立式离心泵	1 台涡轮驱动立式或卧式离心泵	2 台电动立式离心泵	
扫舱泵和喷射泵的总能量	残水量（占总压载水量的百分数）	3%～5%	1%～2%	2%～3%	
	总能量	(0.11～0.33)Q′	(0.04～0.17)Q′	(0.07～0.23)Q′	
		扬程	型式	台数	
	扫舱泵	10～20m	立式或卧式蒸汽机或电动往复泵	1～2	
	喷射泵	10～20m	水驱动	1～2	

注：Q＝泵总流量（m^3/h），V＝总压载水量（包括兼用压载舱水量）（m^3），T＝总排水需要时间（h），C＝实际标准值，K＝常数，Q′＝主压载泵流量（m^3/h）。

3.2　压载管系管径的确定

3.2.1　泵与海水阀之间管径的确定

选择这管径时要考虑水泵的有效吸水压头，应使泵吸水进入叶轮时在泵吸口处不发生空泡现象，这样才能达到泵工作时的额定排量。

3.2.2　泵与压载舱之间管径的确定

先预定一个排水时间，考虑压载水在管内的流速为 2～4m/s，再假定各分路的管径，然后进行管内的阻力计算，并从选定某泵的性能曲线图查出流量，算出排水时间，若与预定时间不一致时，修改部份管径。如此反复计算，直至二者数字接近时，即可得最佳的管径。

4　压载管系阀件和附件型式及其操纵

4.1　常用阀件型式(见表 7.3.1—4)

表 7.3.1—4　**常用的阀件型式比较**

型　　式	使　用　部　位	优　　缺　　点
截止阀	适用于 100～150mm 以下的管系上。	结构简单,维修容易。但体积大,内阻力大。
直角载止阀	同上,用于管系改变方向处。	结构简单维修容易。但体积大,内阻力大。
气动或液压{截止阀、直角截止阀}	适用于远距离自动遥控的小口径管子上。	减轻体力劳动,启闭迅速。但维修麻烦,气动活塞易咬死失灵。
闸门阀	适用直径大于 150mm 以上的大口径管系上。	管内阻力小,密封性可靠,但重量和尺寸都很大,操作不方便。
蝶阀	适用于直径在 400mm 以上大口径管系上。	操作方便迅速,亦可气动或液压遥控。管内密封性较差。
自动止回阀(舌形)	适用顶边舱或生活污水排出阀,一般都设在舷旁排出处,防止海水倒灌。	只有一个方向,易于控制,如阀门被搁位,海水易倒灌。

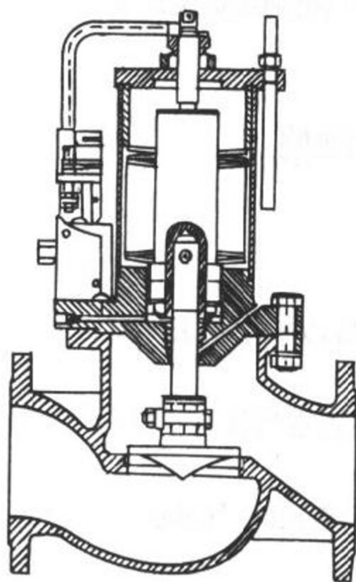


图 7.3.1—29　气动控制截止阀

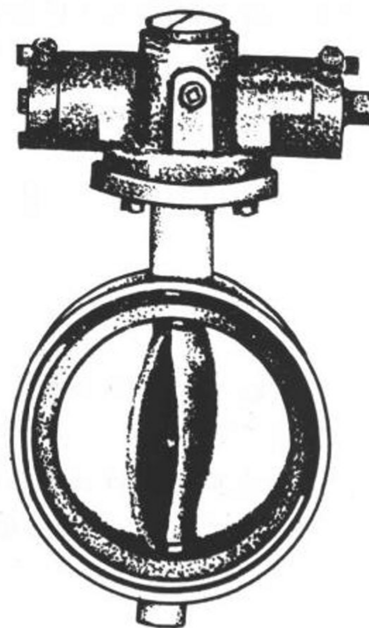


图 7.3.1—30　气动控制蝶阀

4.2　阀 的 操 纵

压载管系中的阀门应装设在人容易到达的地方,以便操作和检修,或通过传动机构达到操纵的目的,其操纵形式有:

1. 手动式　直接由人工操作。

2. 机械式　用于操作距离不很远,而进出又不方便之处,一般采用齿轮轴传动方式开启阀门。

3. 动力式　在较远距离情况下如管隧处,采用液压、气动或电动三种型式,如遥控装置发

生故障，应能用手动操纵作为备用。又如在甲板上或管隧内装有供应气动力的接头时，也可用一台移动式的手摇空气泵或小型压缩机接到此接头上，达到使气动阀门开闭的目的。

4.3 压载管系的附件

4.3.1 压载舱内管子吸口的型式和安装距离

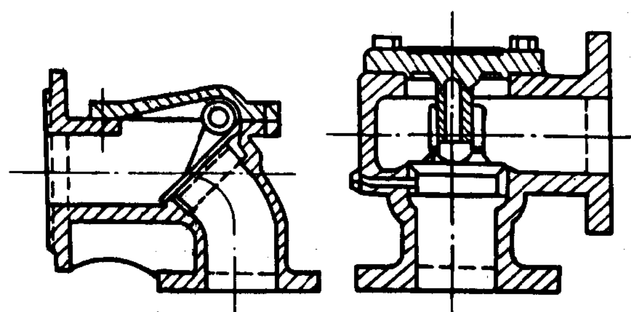


图 7.3.1—31 单向（舌形）阀

在舱内的管子吸口安装，即至船底的距离与其吸干性能有关。这个距离应尽可能小，一般为：

圆形吸口，其直径在 90～200mm 时，距离为 15～35mm。

椭圆形吸口，其直径都在 200mm 以上时，距离为 30～50mm。

4.3.2 压载管系的支架

在航行中因船体产生震动，故设置了支撑管系的支架，避免较长的管系发生共振而损坏。

4.3.3 压载管系的膨胀接头

由于船舶在轻、重载时和大风浪中的颠波，使船体产生挠曲的暂时变形；以及处于燃油、压载水兼用的舱内，管系因温度的变化而有胀缩的可能，因而使用膨胀接头可弥补这个缺陷（详见第 1 篇第 2 章）。

5 压载管系的管理和维修

5.1 压载管系的操作

1）输送压载水时，必须在接到值班驾驶员的书面通知后，方能操作压载系统（航行中输送压舱水必须有船长签字）。

2）在输送压载水前，木匠必须测量舱内实际水位，并检查空气管上的帽盖（现新造海轮已不采用，但老旧船舶应注意）是否打开。

3）机匠在输送压载水前，应检查有关阀门开启或关闭是否正确，气动遥控阀是否处于气动位置。

4）开启气路控制进口阀及电气指示开关。在艉机型船此时应注意先输送船首的压载舱，然后按次序逐个向后，若装货快时，各压载水舱阀门可同时开启。

5）压载泵运转时，应注意泵的出口处压力表，吸入真空表及电流表，通过读数判断工作情况，如读数渐渐低落或有波动，说明压载水接近输完或某一舱已吸空，这时要开启另一压载水舱的阀门。

6）在值班时如遇有不正常情况，应先停泵并及时报告值班轮机员，待排除或摸清情况后再继续输送压舱水。

7）在输送压舱水时，随时与木匠联系及时询问压载水动态，双方配合密切，方能判断各舱输完的时间，来说明压载系统工作是否正常。

8）压舱水全部输完后，随即关闭压载泵的进出口阀及系统上的出海阀，最后将手控的三位

五通阀放在停止位置上。

5.2 压载管系的管理

1)阀门手轮上应设有指示牌并标明去向舱位。

2)定期检查压载管系减漏情况和压载泵装置上的压力表、真空表、电流表等;有损坏时要及时换新或修理。

3)扫舱泵或喷射器输送污水后,要随即用海水冲洗干净。

4)航行在远洋航线上,不常压排水,要定期将各阀门动作,以防咬死,特别是遥控气动阀门更应注意。

5.3 压载管系的修理(见表 7.3.1—5)

表 7.3.1—5　**压载管系的修理方法**

修理方法	材　料	说　明
打水泥箱	黄砂、水泥、石子、木板、钉	通常用于地位狭窄、死角等或阀门外壳上有大烂洞
风焊、电焊	风焊枪、氧气、乙炔、电焊条等	用于一般法兰与管子连接处,管子弯头等处的小损坏,可拆下烧焊
夹箍	橡皮、扁铁条、螺丝	多用于平直管系上的破烂洞、裂缝等处的临时修理
粘胶剂	S—2 聚硫密封胶、橡皮、玻璃纤维布等(各种常用粘胶剂见第 3 卷第 2 篇第 2 章)。	在渗漏处要除清铁锈油垢等,然后涂以胶剂,敷上玻璃纤维布,但在有压力处,另还需加橡皮,外用夹箍,这样耐压可达 0.4MPa 并能抗震。

5.4 压载管系压排水操作常见故障和事故

5.4.1 压入和排出压载水时常见的故障(见表 7.3.1—6)

表 7.3.1—6　**压入和排出压载水时常见的故障**

故障现象	原　因	排 除 法
压不进水或进水量少。在泵装置上反映压力低,电流小,真空高。	1. 海水阀未开或开度不足。 2. 舷侧海水阀被杂物吸堵。 3. 气动遥控阀卡住或气路无气。 4. 部份管道冰堵。	1. 开启海水阀,开足开度。 2. 暂时关闭阀门,待外物流去再开启,或用压缩气体冲洗。如有高低二只阀,暂调换。 3. 拆装修理 。查找无气原因再修理。 4. 用软管接蒸汽吹洗。
压载水排不出或排出量少,在泵装置上反映压力低、电流小,真空低。	1. 装货时发生船身左或右倾。 2. 船首前倾。 3. 泵的性能差。 4. 管系有破损。 5. 气动遥控阀卡阻或无气。 6. 某一支路管系上阀未关紧。 7. 串并联转换旋塞位置放错(6CBL—7 离心泵)	1. 及时与值班驾驶员联系,仍以装卸货方法将船身压平。 2. 关闭尾向压载舱阀,先将首向压载舱排水。 3. 密封环磨损需换新。 4. 烧焊或用夹箍等法修理。 5. 拆装修理,查找原因。 6. 逐个关闭阀门查找。 7、位置校正。

5.4.2 压载舱常见事故

1)双层底压载水舱面板凸起:归船在厂修中对双层底压载水舱作水密压载试验时,用不正确的操作方法,由空气管向内灌水;因为测量管深入到接近船底板,当压力超过测量管口后,双层舱内的空气无法排出,随着注水的逐步增加,双层底内压力亦升高,直至纵横向的肋板与双层底面板脱焊,造成面板凸起,如图 7.3.1—32 所示。还有在舱与舱之间驳运压载水时,因工作上的疏忽,未及时测量水位,导致驳运压载水过量,也会引起双层底面板凸起。

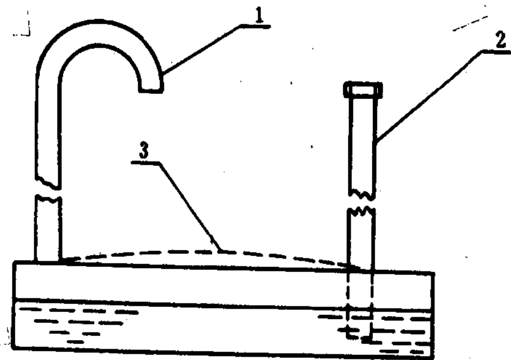


图 7.3.1—32 双层底压载水舱面板凸起

1—空气管;2—测量管;3—水舱面板凸起处

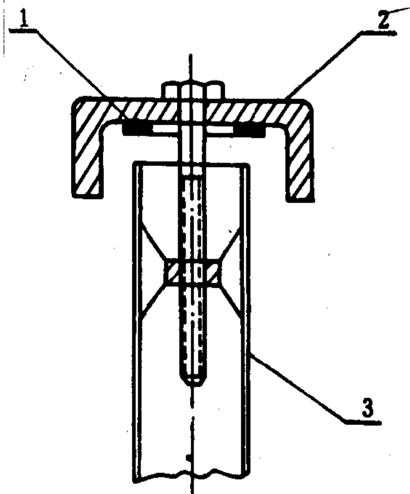


图 7.3.1—33 空气管旋转帽盖

1—橡皮圈;2—活络帽盖;3—空气管

2)顶边水舱爆裂:由于边水舱空气管冰冻堵塞或空气管上旋转帽盖(图 7.3.1—33)未打开,这时向边水舱内压水,造成边水舱受压,使水舱边板撕裂,主甲板及舷侧板变形凸起,舱口围壁抬高等严重后果。

3)铲车压坏压载水舱面:港方将铲车吊入货舱内装卸散装货(煤、矿砂、黄砂等)时,常发生由于水舱面板的厚度承受不了铲车动负荷而损坏水舱面的事故。因此有关海船规范要求:

如采用铲车在船舱内装卸作业时,其水舱面板(内底板)的厚度,应不小于表 7.3.1—7 所规定的板厚。

表 7.3.1—7 使用铲车时船舶内底板的厚度

板厚(mm) \ 总重量*(t) \ 铲车型式	2	3	4	5	6	7	8	9	10
两个前轮	6.5	7.5	8.5	10.0	11.0	12.0	13.0	13.5	14.0
四个前轮	6.0	6.5	7.5	8.0	9.0	9.5	10.5	11.0	11.5

*总重量指铲车与货物的重量之和。

第 2 章　舱底水系统

1　舱底水系统的用途和组成

1.1　舱底水系统的用途

舱底水是一般船舶正常营运中的必然产物，所以在船舶中设置了舱底水系统，主要用来排除船舶舱底积水，以及在船体破损时的大量进水，以保证船舶安全正常航行。

机舱、炉舱、轴隧（或称轴等）、煤舱、货舱、水线以下的居位舱室、锚　舱、侧堆机室、不作压载用的首尾尖舱、隔离空舱、首隧、货油泵舱以及较大的双层空舱等处均应设排除舱底积水的管路。

1.2　舱底水系统的组成

舱底水系统主要由舱底水泵、吸口（吸入滤网）、舱底水管（支管和总管）、泥箱和阀门组成。

2　舱底水的来源和舱底积水对船舶产生的影响

2.1　舱底水的来源

舱底水来自以下几个方面：

1)机舱内冷却管路的海水、淡水的漏泄；燃油和润滑油管路的燃料油、润滑油的漏泄；蒸汽管路凝水漏泄；水柜、油柜及机械设备中油、水的漏泄和泄放；燃煤锅炉舱浇灭炉灰的用水等流入舱底；

2)尾轴填料箱处的漏水和冷却润滑水；

3)甲板开口处水密性不良引起的渗漏 ；

4)水线附近甲板和舱室的疏水泄放至舱底；

5)军用船舶某些专用舱的降温和灌水后的积水；

6)扑灭火灾用消防水；；

7)船体破损后的大量进水等。

以上这些水最终都汇集于舱底，统称为舱底水。通常以机舱的舱底水为最多。

2.2　舱底积水对船舶产生的影响

舱底积水对船舶产生下列不利的影响：

(1)对船体有腐蚀作用；

(2)货舱内积水过多，会使货物受潮而造成货损；

(3)机舱底部积水过多，会影响轮机人员操作、机电设备受潮或浸水损坏，甚至影响船舶稳性和航行安全。

正常营运的船舶，机舱舱底积水量一般为1～10m³/d，而20～30万t级油船约为20m³/d。

3 对舱底水系统要求和布置原则

3.1 对舱底水系统的要求

1)所有机动船舶均应设舱底水系统，并能有效地排除任何水密舱中的积水。

2)舱底水系统应在船舶正浮或横倾不超过5°时，均能通过不少于一个吸口(一般均应在两舷设置吸口)排干任何舱室或水密区域内的积水。

3)系统中的管路应能防止舷外海水(或河水)、或来自压载水舱的水进入货舱或机炉舱；或从一舱进入另一舱的可能性。对与舱底水系统和压载水系统有连接的任何深舱，应采取有效措施，以防止深舱装有货物时不慎灌入海水，或在深舱装有压载水时，通过舱底排水管抽出压载水。

4)为防止各舱舱底水相互沟通，管路中的分配阀箱、舱底水管和直通舱底水泵支管上的阀门等均应为截止止回阀。

5)舱底水泵、压载水泵、消防水泵等若相互接通时，管路中的布置应能保证各泵能同时工作而互不干扰。

6)舱底水泵应为自吸式泵。

3.2 对客船排水的附加要求

客船的安全性要求较高，对舱底水系统有如下附加要求：

1)应配备有效的舱底排水系统，以能抽除和排干任何水密舱中的水，并应在海损后所有实际可能的情况下，无论船舶正浮或倾斜时均能操作。为此，应设几根吸水管，但在船舶首尾两端的狭窄舱室内，设一根吸水管即可。对结构形状特殊的舱室可要求增设吸水管。吸水管在舱内的布置应使水能流至吸水管。对于某些个别舱室，验船部门认为不一定需要设置排水设备，可免设。

2)至少应有3台动力泵与舱底水总管连接，其中一台可为主机带动。如其业务衡准数(参阅本章6.2.1中公式)≥30，则应增设1台独立动力泵。

3)如实际可行时，动力舱底泵应置于分开的水密舱内，其布置或位置应使这些舱室不致因一同破损而浸水。如主机、辅机和锅炉置于两个或两个以上的水密舱内，则舱底水泵应尽可能远地分布于这些舱内。

4)船长为91.5m及以上或业务衡准数为≥30的船舶、舱底水泵的布置应在该船遭受的一切浸水情况下至少有1台动力泵可使用。此项要求可采取下列措施予以满足：

(1)所需各泵中的一台应是可靠的可潜式应急泵，其动力源位于舱壁甲板以上；或

(2)舱底水泵及其动力源在整个船长范围内分布，应使未破损的一舱内至少有1台泵可供使用。

5)位于机炉舱内的独立动力舱底水泵应有引自该处的直接吸水管，但此种吸水管在任一处所内应不多于2根。如设有2根或以上的吸水管，则至少每舷应有1根。主管机关可要求在其他舱室内的各独立动力舱底水泵配有单独的直接吸水管。各直接吸水管应适当地布置；而在机(炉)舱内吸水管的直径不应小于舱底排水总管所要求的直径。

6)除直接舱底吸水管或5)条要求的吸水管外，可在机舱应增设1根自主冷却水泵引至机器处所排水支管，此管应装有止回阀。对蒸汽动力船至少应不小于主循环水泵进口直径的2/3。

7)如验船部门认为主冷却水泵不适宜作此用途时，则应自可用的最大独立动力泵到一根应急的直接舱底吸水管至机器处所；此管的直径应与所用泵的主进水管口径相同。最大独立动力泵的排量应超过所需舱底水泵的排量，超过量应经验船部门同意。

8)海船海水进水阀和直接吸水管阀的阀杆应延伸至机舱花铁板以上<60mm。小船和河船可适当减低。

9)装有舱底水吸管的舱室应有防止因水管断裂或水管在其他舱室内由于碰撞或搁浅受损致使此舱浸水的设施。为此，当该管子的任何部分距舷侧不足$\frac{1}{5}$船宽或在箱形龙骨内者，应在其开口端所在舱室内的管子上装设止回阀。

10)与舱底水系统相连的分配阀箱、阀及旋塞，应设在可以到达之处。其布置应使浸水时，舱底水泵中的一台泵能用于任何舱室的排水。此外，在距舷侧1/5船宽处绘一线，处于线外侧的舱底水泵或其与舱底水总管连接的管子损坏时，不应使舱底水系统丧失作用。如果仅有一组管子为各泵共用时，则控制舱底水管的阀件或旋塞，必须能在舱壁甲板以上操作。若除主舱底排水系统外，还设有应急舱底排水系统时，则该应急系统应独立于主系统，其布置应在浸水时有一台舱底水泵能用于任一舱室的排水；此时应能在舱壁甲板以上操纵应急系统所需的阀及旋塞。

11)上条所述的能自舱壁甲板以上操纵的一切旋塞和阀，在它们的操纵处应有明显标志的控制器，并应配备其开启或关闭位置的指示牌。

3.3 首、尾尖舱的排水

1)为避免管路敷设过长，对不作压载用的首、尾尖舱的舱底排水，可用手摇泵排水；手摇泵应设在舱壁甲板以上，其吸高不超过7m。

2)如首、尾尖舱由机舱的舱底水泵排水，须在首、尾尖舱内装设舱底水支管和吸口，并应在防撞舱壁的内侧设置能在甲板操纵的截止阀。管子穿过防撞舱壁的数目不得多于1根。

3)首、尾尖舱如被纵向分隔成两个分舱以装载不同的液体时，则每一分舱可各装1根穿过防撞舱壁的管子。

3.4 对冷藏货舱舱底排水要求

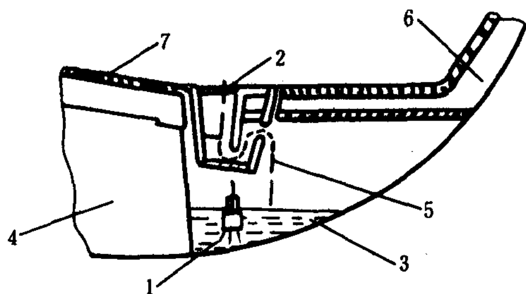


图7.3.2—1 冷藏货舱的舱底水排出

1—吸入滤网；2—格栅；3—舭水沟；4—双层底空间；5—将水转流到舭水沟的水封梯板；6—绝热材料；7—复板

冷藏货舱是低温舱室。为防止该舱冷量外逸，要求其上、下四周均用绝热材料层与船体结构隔离。冷藏货舱内的舱底水是要通过专门的盐水水封流到舱底两舷的污水沟，否则会引起冷量外逸和舱底水管路的冰冻。盐水水封的结构如图7.3.2—1所示。盐水水封槽一般置于一块活动的绝缘盖上。

3.5 油船货油泵舱和隔离空舱的舱底排水要求

3.5.1 货油泵舱的排水要求

1)货油泵舱的舱底排水应由专用舱底泵或喷射泵进行。在舱底的二舷设置排水吸口。若用货油泵或扫舱泵进行排水,则应在舱底水管吸入端装设截止止回阀,在泵的吸入管与舱底水阀箱之间装设截止阀,进行隔断。

2)小型船舶货油泵舱的舱底水可用管径为50mm的手摇泵进行排水。

3)货油泵舱的舱底水吸入管不得进入机舱(或炉舱),以防止低闪点的油类进入机炉舱发生爆炸的危险。

货油泵舱如与机舱相邻,货油泵舱的舱底排水也不能借助机舱的舱底水泵进行排放。

4)货油泵舱的舱底水不得排放舷外。可将货油泵舱的舱底水排入污油水舱,然后由港口接受设施接收并处理;或装设油水分离装置处理,达到排放标准后排放舷外。但一般均采用前者方法。

3.5.2 隔离空舱的排水要求

1)与货油泵舱相邻接的后隔离空舱可由货油泵进行排水,但其吸入管的布置须符合3.5.1条的规定。但排水需排至污油水舱。

2)首部隔离空舱可用首泵舱内的舱底泵或压载泵进行排水。隔离空舱也可用舱底水系统的喷射泵进行;或通过舱底水吸口和支管引至机舱截止止回阀箱,用舱底水泵进行排水。但舱底水中不得杂有货油(漏入)。

3.6 其他舱室的排水要求

1)交替装载液货或干货的货舱和深舱:

交替装载液货或干货的货舱和深舱的液货或压载水的注入管以及抽吸管应设有盲板法兰或其他隔离装置。舱底水支吸管也应在舱壁处设置盲板法兰,以便在装载干货时将注入管和抽吸管隔断,而装载液货或压载水时将舱底水支吸管隔断。

2)首尾尖舱和机器处所之上的舱室排水要求:

(1)首尖舱以上的锚链舱和水密舱室,应设手摇泵或通过接至动力舱底泵的吸口或其他设备进行排水。

(2)尾尖舱以上的小围蔽舱室和舵机室,应设手摇泵或接至动力舱底泵的吸口进行排水。这些舱室也可用内径不小于38mm的疏水管将水泄入轴隧或尾机型船舶的机(炉)舱内,并应在照明良好且易于察看的地点装设自闭式旋塞或截止阀。但此种方法不适用于客船。

3.7 舱底水系统的布置原则

舱底水系统管路的布置,应视船舶对系统的要求和船舶结构等具体情况而定。

民用船舶上通常采用集中式和半集中室布置。对中小型船舶,大多数采用集中式布置。集中式是指舱底泵和各舱吸入支管的控制阀箱全部集中在机舱内,使任一舱的排水工作,都集中在机舱一个舱内操作。图7.3.2—2为按集中原则布置的舱底水排出系统。

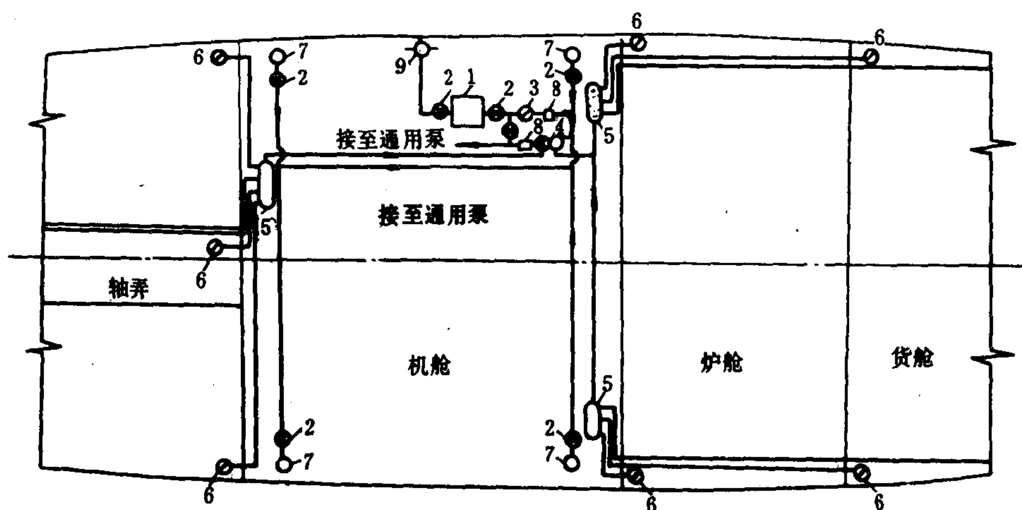


图 7.3.2—2　按集中原则布置的舱底水系统图

1—舱底水泵；2—截止阀；3—截止止回阀；4—截止阀箱；5—截止止回阀箱；

6—止回滤污器；7—滤污器；8—泥箱；9—舷旁排出阀

对大型船舶，当需要进行排水的船舱数量很多，难于采用集中式布置，以及为节省管子，则采用半集中式布置。半集中式布置是指各舱吸水支管的控制阀箱分设于机舱、炉、舱及轴隧等处。图 7.3.2—3 为按半集中原则布置的舱底水系统图。

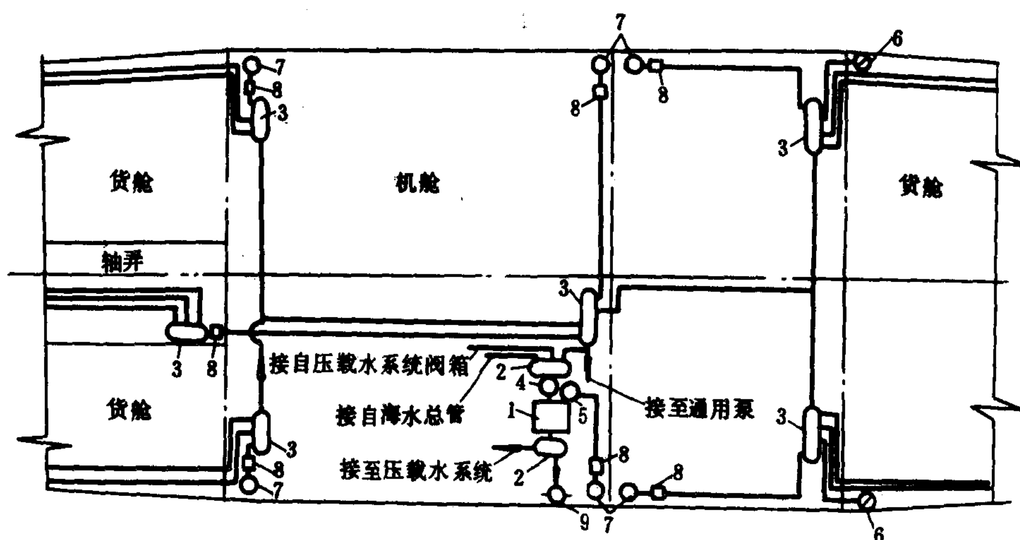


图 7.3.2—3　按半集中原则布置的舱底水系统图

1—舱底压载水泵；2—截止阀箱；3—截止止回阀箱；4—截止阀；5—截止止回阀；

6—止回滤污器；7—吸入口；8—泥箱；9—舷旁排出阀

4 舱底水吸口的布置

4.1 货舱舱底水吸口的布置

货舱舱底水的吸口布置应符合表7.3.2—1的要求。

表7.3.2—1 **货舱舱底水的吸口布置**

船体结构型式	货 舱 情 况	每二舱舱底水吸口
单层底船舶	船底向两舷升高≥5°	后端靠近中纵剖面处1只
	船底向两舷升高<5°	后端每舷1只
双层底船舶	内底板向两舷延伸形成舭污水沟	每舷1只
	内底板向两舷升高	中纵剖面处1只
	内底板向两舷延伸，并不形成污水沟	每舷设1只污水井及1只吸口
	仅有一个货舱，且该货舱长度>35m	前后端均应设置吸口
	首、尾端狭窄货舱	中纵剖面处1只

4.1.1 对交替装载液货或干货的货舱和深舱，如果舱内底板以不小于5°的下倾角向中纵剖面倾斜，则可在中纵剖面处设1只吸口，而不设边吸口。

4.2 机(炉)舱舱底水吸口的布置

1)一般的吸口布置

机(炉)舱内舱底水吸口的布置应符合表7.3.2—2的规定。

表7.3.2—2 **机舱内舱底水吸口布置**

机舱位置型式	船体结构型式	机(炉)舱情况	舱底水支吸口位置	直通舱底水泵吸口
舯机型船舶	单层底统舱	船底向两舷升高≥5°	中纵剖面处1只	中纵剖面处1只
		船底向两舷升高<5°及所有客船	中纵剖面处1只和每舷1只	中纵剖面处1只
	双层底统舱	内底板扩展至机舱全长，并在两舷形成舭水沟	每舷1只	每舷1只
		内底板扩展至机舱全长和全宽	每舷一只污水井每井内1只吸口	每舷污水井内1只吸口
尾机型船舶			机舱前端每舷和后端一般各设一只吸口，前端每舷应设1只舱底水泵吸口。前端未设直通舱底水泵吸口的二舷应设应急吸口。小船可适当减少。	
其 它 船 舶	用水密舱壁与机舱隔开的炉舱或辅机舱，电力推进船舶的独立电动机舱		按货舱要求	每一水密分舱至少设1只

(1)在客船上，每台独立舱底水泵处均应设有直通舱底水泵的吸口，但任一处内上述吸口不必多于2只；当装有2只或2只以上的吸口时，则该处每舷至少有1只吸口。

(2)电力推进船舶的机舱、除按机舱情况布置支吸口和直通舱底泵吸口外，在发电机和推进电机处设有排除积水的设施。

2)机舱应急吸口的布置

机舱设有应急舱底水吸口，当发生海损或其他事故，机舱中汇集大量舱底水时，可以应急抽吸。一般应急舱底水吸口通过舱底水管直接到主冷却水泵或总用水泵上，因它们的排量都较大，可及时地排除舱底水。图 7.3.2—4 为连接于主冷却水泵的应急舱底水管路。

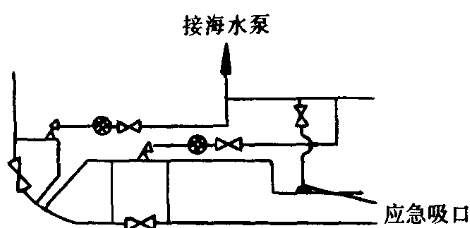


图 7.3.2—4 应急舱底水管路

1)在每一台主机处应设一个应急舱底水吸口，该吸口与一台主冷却水泵(或总用泵)相连，其上并装有截止止回阀，阀杆应适当延伸，使手轮在花铁板以上的高度至少为 460mm。

2)在蒸汽动力的船舶上，应急吸口的直径至少应为主循环泵进口直径的 2/3；在其他船舶上，应急吸口直径应不小于泵的进口直径。

3)小于 500 总吨的船舶可不设应急舱底水吸口。

4)当主冷却水泵不宜用来输送舱底水时，则应急吸口可接至除舱底水泵外的最大一台动力泵，其排量不得小于所要求的舱底泵排量。吸口尺寸至少应与泵的进口尺寸相同。

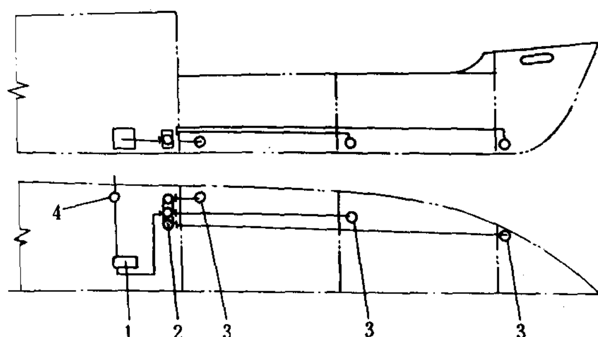


图 7.3.2—5 首、尾有吃水差时，舱底水系统吸口布置图

1—舱底水泵；2—截止止回阀箱；3—吸口；4—排出阀

5)当与应急吸口连接的泵为自吸式泵时，则该船同舷的直通舱底泵吸口可免除，但客船除外。

6)应急舱底水吸口阀应设有清楚而永久性的名牌。

4.3 舱底水吸口沿船长方向的布置

舱底水吸口沿船长方向的布置，须视船的纵倾和船体型线情况，布置于舱底的较低位置处。

1)航行中有首尾吃水差时，舱底水吸口设置于各舱的后隔舱壁前，但尾部各舱的舱底水吸口位置应参照船体线型图决定。船舶有吃水差时，舱底水系统吸口布置如图 7.3.2—5 所示。

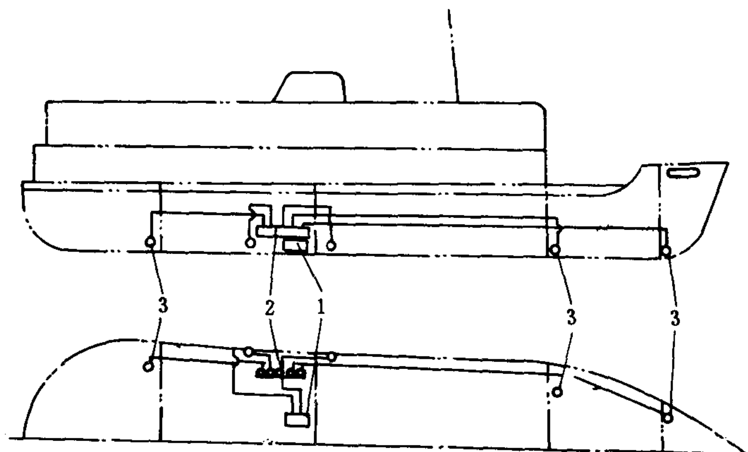


图 7.3.2—6 首、尾无吃水差时，舱底水系统吸口布置图

1—舱底水泵；2—截止止回阀箱；3—吸口

2)航行中无首尾吃水差时，首部各舱的舱底水吸口设置于各舱的前舱壁后，如图 7.3.2—6 所示。

4.4 管隧中舱底水(包括压载水)管路的布置

为减少隔舱壁开孔和便于操纵管理，机舱后各货舱和轴隧等处的舱底水，通常由各自的吸口，经支管通过轴隧到机舱内的舱底水水管。

为避免舱底水管(包括压载系统的水管)向首部延伸时穿过一系列的水密舱壁和便于安装及维修管路，在大型船舶中，从机舱前部至首尖舱为止的纵中剖面附近，可专门设一管隧(或管弄)，将舱底水管和压载水管铺设在管隧之中。图 7.3.2—7 为管隧内舱底水管的布置简图。

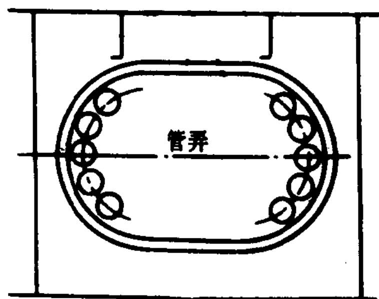


图 7.3.2—7 管隧内管路布置简图

4.5 污水井的布置

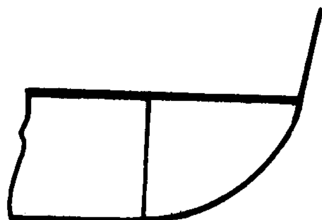
布置污水井时，必须考虑到船舶的纵倾和横倾。

1)聚集舱底水的污水井，应布置在舱底水最可能自然集中的地点。

2)污水井容积视积水情况对各舱室的影响程度而定，有时可按舭侧污水沟的容积作为参考指标。锚链舱等处的污水井容积为 0.04m³ 左右即已足够。

3)从每只污水井应铺设独立的管路至阀箱。

图 7.3.2—8 表示当双层底顶板一直延伸至两舷傍板时，在两舷设置污水井，以代替舭侧的污水沟。此污水井可由两水密肋板、双层底边板和舭板所组成。污水井的容积不得小于 0.15m³，在小型舱室中，污水井的容积可适当减小。污水井上复置有滤板，其上钻有 10mm 的圆孔若干个，圆孔截面积之和应为吸水管截面的三倍以上。为便于消除其中的污物，滤板须做成活络可折的。


图 7.3.2—8 在两舷设置的污水井

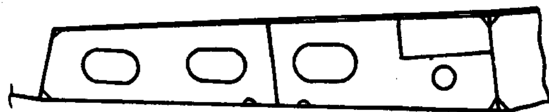

图 7.3.2—9 辅助污水井

图 7.3.2—9 为双层底顶板由两舷向中心斜降时，在横剖面的中部所设的辅助污水井。

图 7.3.2—10 为客船上的污水井。它设于双层底的面板上，污水井离底的高度应不少于 460mm。

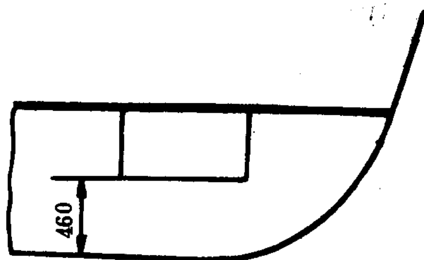


图 7.3.2—10 客船上的污水井

4.6 附 件

4.6.1 吸入止回阀

1)吸入止回阀的功用和布置位置：

为了防止水密舱室间、水密舱室与货舱和机舱(炉舱)处、干燥舱室与海水或舱柜间发生沟通的可能性，在下列附件上应装设截止止回阀：

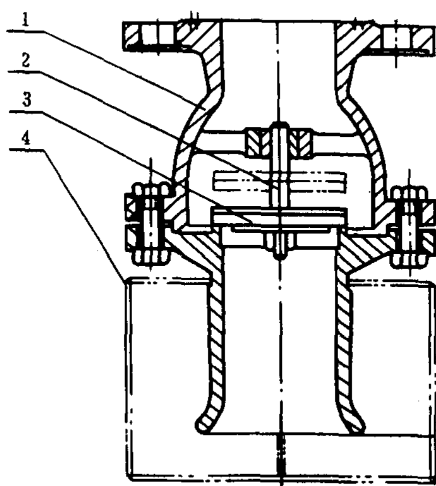


图 7.3.2—11　铸铁吸入止回阀

1—阀体；2—阀杆；3—密封环；41—滤网

(1)舱底水分配阀箱；

(2)舱底水泵或舱底水总管上舱底水吸入软管的接管。

(3)直通舱底泵吸入管和舱底水泵与舱底水管的连接处。

2)吸入止回阀的种类：

吸入止回阀有法兰连接铸铁止回阀和法兰连接铜制吸入止回阀两种。图 7.3.2—11 为铸铁吸入止回阀的结构图。图 7.3.2—12 为铜制吸入止回阀的结构图。铸铁吸入止回阀的船舶专业标准为 CB＊621—67；铜制吸入止回阀的船舶专业标准为 CB＊622—80。

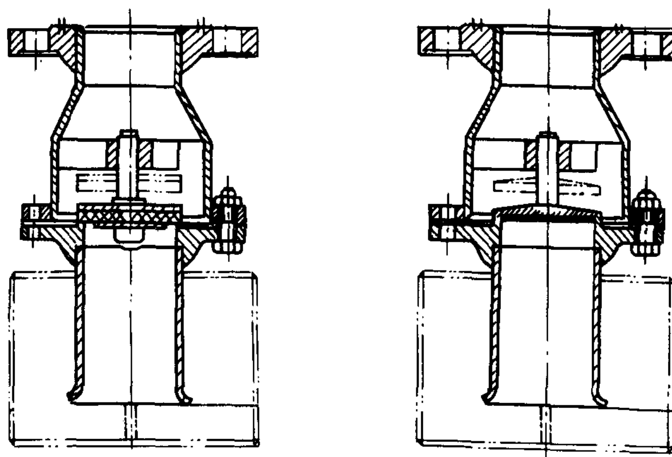


图 7.3.2—12　铜制吸入止回阀

4.6.2 吸入滤网

为防止舱底水中的污物进入管路，堵塞泵的阀门和损坏阀件，应在舱底水吸入管路上装设吸入滤网(又称滤污器)。吸入滤网的滤孔直径为 8～10mm，全部滤孔的截面积应不小于吸入支管截面积的三倍。

吸入滤网有钢制和塑料制两种。

1)钢制吸入滤网的类型和基本参数见表 7.3.2—3 。

表 7.3.2—3　　**钢制吸入滤网的类型和基本参数**

类　型	名　　称	公称通径 D_N(mm)
A	带夹环圆形吸入滤网	25～100
B	圆形吸入滤网	125～250
C	带夹环楔形吸入滤网	40～100
D	楔形吸入滤网	125～150

A 型和 B 型适用于平底船，C 型和 D 型适用于尖底船。

各型钢制吸入滤网尺寸见 CB＊623—80 。

钢制吸入滤网结构图见图 7.3.2—13 。

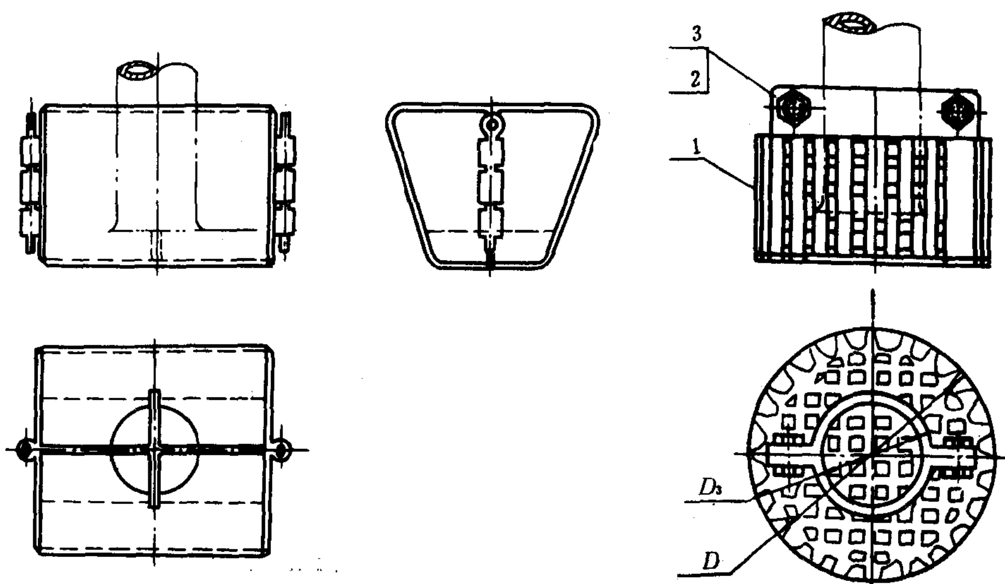


图 7.3.2—13　各种钢制吸入滤网

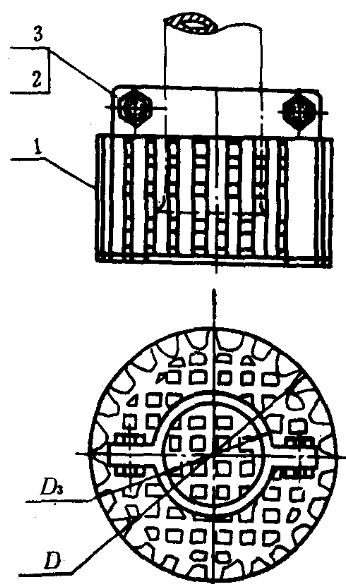


图 7.3.2—14　塑料吸入滤网

1—滤网；2—螺栓；3—螺母

2) 塑料吸入滤网：

塑料吸入滤网见图 7.3.2—14 。塑料吸入滤网的参数和尺寸见 CB＊3052—84 。

塑料滤网的材料为 ABS(苯乙烯—丁二烯—丙烯腈三元共聚物)。塑料吸入滤网的优点是耐腐蚀，使用寿命长。

3)吸入滤网的布置：

机舱舱底水系统吸入滤网的安装布置如图 7.3.2—15 所示。

图 a)为舱底从龙骨向船舷的斜度小于 5°的大平底的中央各舱；图 b)为舱底从龙骨向船舷的斜度大于 5°的大尖底船的中央各舱；图 c)为具有双层底，且顶板向中线倾斜的各舱；图 d)为具有双层底，且顶板为水平的各舱。图 e)为具有双层底，且顶板伸向船体旁板(无舭水沟)的中央各舱。

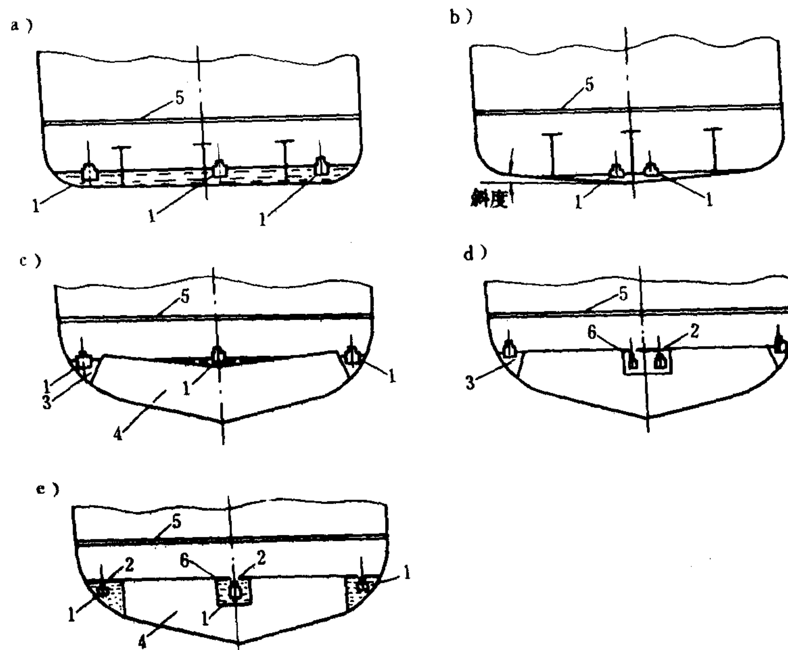


图 7.3.2—15　各种类型船舶舱底水吸口滤器布置图

1—吸入滤器；2—格栅；3—舭水沟；4—双层底空间；5—花铁板；6—污水井

4.6.3　泥箱

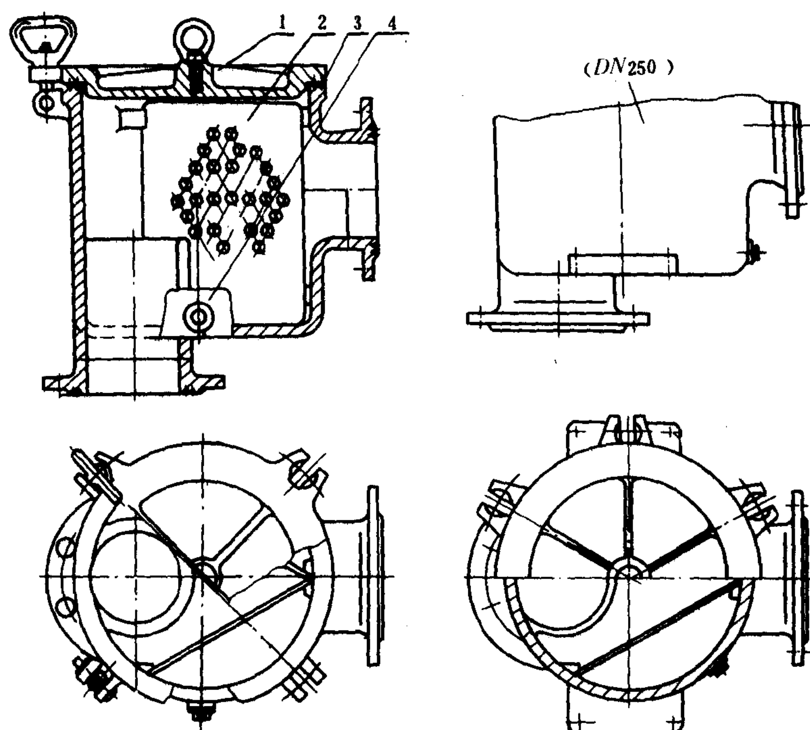


图 7.3.2—16　船用泥箱

1—盖；2—滤板；3—本体；4—螺塞

1)机舱内和轴隧内的舱底吸入管路及直通泵吸口均须设置泥箱。应急吸口可不设泥箱。为便于检查和清除污物,泥箱需布置在易于接近之处。

图 7.3.2—16 为船用泥箱结构图。船用泥箱的主要参数和尺寸见 CB＊3198—84 。

2)泥箱的布置如图 7.3.2—17 所示。泥箱下面有一根直的端管通至污水沟或污水井。在开口端不需再设吸入滤网。杂碎污物均在泥箱中消除掉。

小于 100 总吨的船舶,可在机、炉舱的舱底水吸入管端装设滤网箱,以取代泥箱。

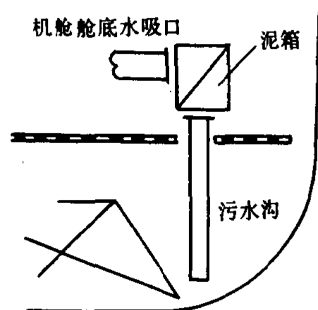


图 7.3.2—17 泥箱布置图

4.6.4 盲、通两用法兰

对于既可装载压载水又可装载干货的深舱和货舱,应设有∞型盲、通两用法兰,一端为盲板,另一端为法兰。根据需要换用,以便当装设干货时,隔断压载水注水管和抽吸管,而装压载水时隔断舱底水吸入管。

图 7.3.2—18 为三种盲断布置方案。图 a)的系统是经常使用的,但在舱底排水管路上和燃油、压载管路上均须设盲通两用法兰。图 b)和 c)的布置方案,转换时最简便、并能节省劳动力。使用此种管路布置,在装载植物油等液货时,液货的排出一般需借助岸上设备,故仅需将舱内的吸口隔断即可。在液货卸完后,可不用清洗吸井和吸入管的吸入端。

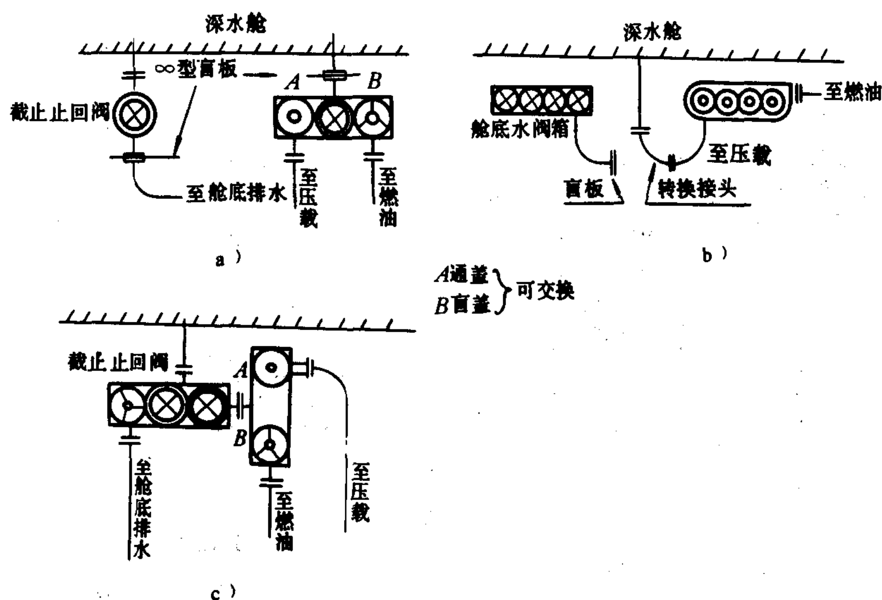


图 7.3.2—18 盲断布置的三种方案

5 舱底水管系的计算

5.1 舱底水管管径的确定

舱底水系统管路除排放船舶正常营运中的舱底水外,还有船舶海损时应急排水的任务,故舱底水管的直径和舱底水泵的排量远远超过船舶日常营运中排除舱底积水的需要。

5.1.1 货船舱底水总管内径的确定

舱底水总管内径按下式计算。实际内径可按主管机关所允许的最接近的公称通径取整。

$$d_1 = 1.68\sqrt{L(B+D)} + 25 \quad (7.3.2\text{—}1)$$

式中：d_1 ——舱底水总管的内径，mm；

L ——船长(指在最深分舱载重线两端的垂线间量得的长度)，m；

B ——船宽(指在最深分舱载重线或其下，由一舷肋骨外缘间的最大宽度)，m；

D ——至舱壁甲板的型深，m。

1)舱底支管的直径应符合主管机关的要求。

2)在任何情况下，舱底水总管的内径不得小于最大舱底水支管的内径。

3)直通舱底泵的舱底水管内径，不得小于该船的舱底水总管的内径。

4)连接舱底水总管和分配阀箱的连接管的截面积，不得小于连接该阀箱的两个最大舱底水支管的规定截面积的总和，也不必大于所规定的舱底水总管的截面积。

5.1.2 舱底水支管内径的确定

货舱和机舱的舱底水支管内径应不小于按下式计算值：

$$d_2 = 2.15\sqrt{l(B+D)} + 25 \quad (7.3.2\text{—}2)$$

式中：d_2——舱底水支管内径，mm；

l——舱室长度，m。

1)对开底驳，按式(7.3.2—2)计算舱底水总管内径 d_1 时，船宽 B 应以$\frac{B}{2}$代入。

2)对双体船，按式(7.3.2—2)计算舱底水总管内径 d_1 时，船宽应以单体船宽代入。

3)在计算舱底水总管内径时，应仔细考虑。当管内水流速度取恒值($v \geq 2m/s$)时，每台舱底泵的排量仅与总管内径 d_1^2 成正比。

4)舱底水支管的内径一般应不小于 50mm；对小容积分舱，其支管内径可减小到 40mm。

5)轴隧舱底水支管一般不得小于 65mm，当船长等于或小于 60mm 时，其内径可以为 50mm。

5.1.3 油船机舱舱底水管径的确定

油船机(炉)舱的舱底水总管内径应不小于按下式计算值：

$$d_3 = 3\sqrt{l(B+D)} + 25 \quad (7.3.2\text{—}3)$$

式中：d_3——舱底水总管和直通舱底泵的舱底水管内径，mm。

1)机舱和首部的抽吸管布置除遵守油船的规定外，均应符合货船的有关规定。

2)在船舶首、尾端部连接于泵、舱柜或舱室的舱底水管，不准通过货油舱或与货油舱相连接。必要时，这些管路可以通过专用压载舱和货油舱区域内的空舱。

6 舱底水泵

6.1 型　式

舱底水泵一般有手动泵、喷射泵和动力泵三种。

舱底水泵往往兼作消防泵或压载水泵，当兼消防泵时，其排量和扬程应满足消防水泵的要求。在内河船舶上，一般选用 CWZ 型船用电动卧式自吸泵作舱底水泵并兼消防水泵。在海船

上，为节省机舱空间，多采用CLL型船用离心泵作舱底泵。上述两型泵效率较高，已取代BA、BL型产品。海船上还广泛采用电动往复泵作舱底水泵用。

6.2 泵数量

舱底泵的数量视船舶大小、型式和服务对象而定。

1)每艘机动船舶的舱底水泵数量应符合表7.3.2—4的规定。

表7.3.2—4 **动力舱底泵的数量**

船舶种类		独立动力泵(台)	主机带动或独立动力泵(台)
客船	业务衡准数≥30	3	1
	业务衡准数≤30	2	1
除客船以外的船舶	船长>91.5m	2	—
	船长<91.5m	1	1

表中客船业务衡准数，按下式计算：

当 $P_1>P$ 时，

$$C_s=72\frac{M+2p_1}{V+P_1-P} \tag{7.3.2—4}$$

其他情况时，

$$C_s=72\frac{M+2P}{V} \tag{7.3.2—5}$$

式中：C_s——业务衡准数；

M——船型基线与限界线*①间的机(炉)舱处容积加上内底板以上机(炉)舱处*②以前或以后的任何固定燃料舱的容积，m^3；

P——限界线以上旅客处所*③的总容积(不包括行李舱、贮藏室、食品库和邮件舱)，m^3；

V——限界线以下的船舶总容积，m^3；

注：① 限界线系指在船侧由舱壁甲板上表面以下至少76mm处所绘的线。

② 机器处所系指由船型基线至限界线并介于两端主横向水密舱壁间供安置主辅推进机械和锅炉及一切固定煤舱的处所。

③ 旅客处所系指供旅客起居和使用的处所，但不包括行李室、储藏室、食品库及邮件舱。

$P_1=K\cdot N$；

N——核准该船搭载的旅客数；

K——0.056L；

L——最深分舱载重线两端所引垂线间的长度，m。

如K·N之值大于P与限界线以上的实际旅客处所总容积的积，则公式中的P_1取P与限界线以上旅客处所总容积之和或$\frac{2}{3}K\cdot N$二者之较大值。

2)表7.3.2—4中所指的每台舱底水泵可由几台泵组成的舱底泵组所代替。每一泵组的总排量应不小于本节6.3.3条中所规定的一台舱底泵的计算排量。

3)卫生泵、压载泵及通用泵，如其排量足够，并与舱底水管系有适当的连接时，均可作为独立动力舱底水泵。

4)除客船外的其他船舶，如能供给喷射泵适当压力的工作水时，且喷射泵与舱底水管系有适当连通时，则可取代一台独立的动力舱底水泵。

5)小型船舶舱底泵的数量可另行考虑。

6.3 泵 排 量

1)每台动力舱底水泵应能使流经舱底水总管的水流速度不小于 2m/s。

2)每台动力舱底水泵的排量不得小于按下式计算值：

$$Q=5.66d_1^2\times10^{-3} \tag{7.3.2—6}$$

式中：Q —— 每台舱底水泵的排量，m^3/h；

d_1 —— 舱底水总管内径，按式(7.3.2—1)计算，mm。

3)除客船外的其他船舶，当一台舱底水泵的排量稍小于规定值时，其差值可由其他舱底水泵超过的排量补足，其差额应限制在规定值的 30%之内。

6.4 泵压力(扬程)

舱底水泵的压力(扬程)一般为0.2～0.3MPa(20～32m)，大型船舶舱底水泵的压力一般为 0.5MPa。如舱底水泵兼消防水泵时，其压力(扬程)需满足消防泵的要求，一般为 0.5～0.8 MPa(50～80m)。

7 舱底水系统的遥控与自动化

7.1 舱底水系统的遥控

大型船舶舱底水的排放，如用人工进行是比较烦琐和费力，有些管路、阀门装设位置不便于操纵和调整，为达到简化操作和减轻船员的劳动强度，故对阀门采用遥控方法。所谓遥控就是指各舱底水支管上的截止止回阀集中进行远距离的开关。

舱底水系统的遥控和自动化包括：

1)舱底水液位的遥测和声、光报警指示；

2)舱底水泵的远程监视和运行工况的集中控制；

3)阀门的启闭和开度的遥控。

7.2 对遥控舱底水系统的要求

1)遥控装置应结构简单，安装容易和便于维修保养。

2)如货舱舱底水总管装在管隧内时，且从总管接出的吸入支管应装设遥控阀。

3)在机舱内的货舱舱底水总管上应装设截止阀。

4)舱底水系统吸入支管上的遥控阀应为截止止回阀。

5)在遥控操纵板上应设有遥控舱底水泵和压载水泵的运转指示装置。

7.3 实现遥控的动力

遥控的动力一般采用液控、气控及电控三种。其中液控因功率大、体积小，易于操纵和布置，故使用较为普遍；气控因功率小，体积较大，执行机构动作也欠稳定，使用不如液控广泛；电控易于实现，但防火防爆的安全性差，使用较少，特别对油船不宜采用。

7.4 遥控系统的组成

船舶舱底水液控系统由下列四部组成：

1)由高压油泵等组成的液压动力源,(使用压力为5～15MPa);

2)由控制液流的电磁换向阀、手动换向阀等组成的换向阀及其附件;

3)阀门及其执行机构;

4)阀门开度指示装置或启闭指示装置。

遥控系统一般置于集中控制室内,或直接置于机舱的控制台上,以便于操纵,并可减少管理工作量和改善工作环境。

7.4.1　液压遥控截止止回阀

舱底水系统中的液控截止阀主要有闸阀和碟阀两种。闸阀需要较大的驱动功率。碟阀驱动功率小,执行机构紧凑,但其密封结构型式和材料有较高要求。

7.4.2　液控截止阀的执行机构

截止阀的液压执行机构一般有往复式和迴转式两种。活塞式油缸或各种油马达带动的闸阀须采用往复式;碟阀可采用多种型式。

图7.3.2—19为船用碟阀的一种。其上、下轴用螺钉与阀盘连接,并可在阀体的衬套内转动阀门,实现启闭。

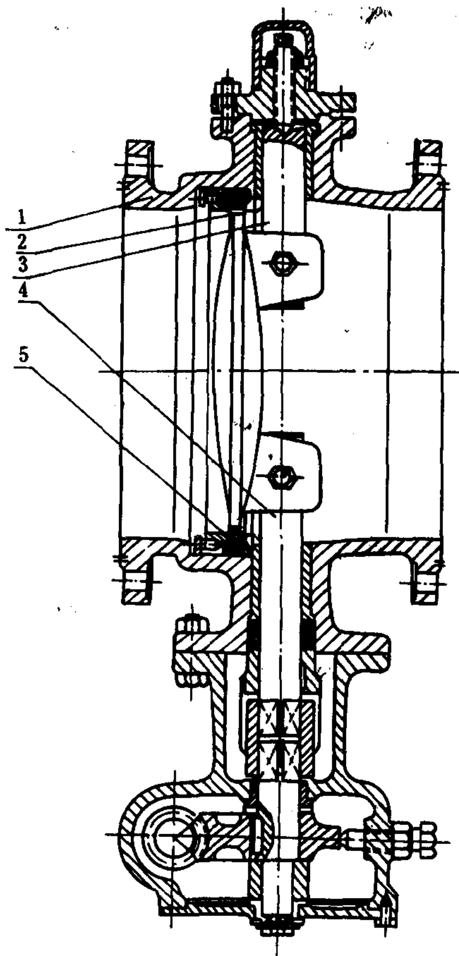


图7.3.2—19　船用碟阀

1—阀体;2—阀盘;3—上轴;4—下轴;5—密封圈

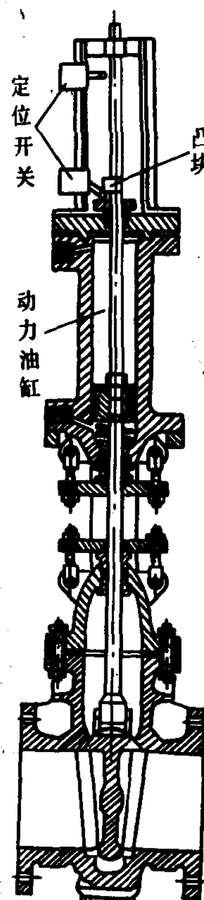


图7.3.2—20　闸阀及其液压执行机构

图7.3.2—20为闸阀及其往复活塞式液压执行机构。顶部为一动力油缸,因油压的作用使油缸内活塞上下移动,从而启闭阀门。当压力油通到活塞底部,且活塞上部空间又与泄油管相通时,阀即开启;反之,阀则关阀。

7.4.3 阀门开度指示装置或启阀指示装置

一般在阀门的最终位置装上限位开关就能显示阀门启闭。在图 7.3.2—20 的闸阀中，是使阀杆从油缸的顶部伸出并在缸顶的导架上装有两个定位开关触头。当阀关闭时，阀杆上的凸轮压动下位触头，则指示阀关的红灯亮；当阀开启时，若两个限位触头都不与凸块相接触，则指示灯灭。当阀杆上升至凸块压动上位触头时，绿指示灯亮，说明阀已开足。

也有在动力油缸中装用差动活塞的。活塞上部的受压面积大于下部面积(见图 7.3.2—21)当将操纵阀转到活塞上、下两面都与压力油接通时，阀即关闭；若活塞下部通压力油，上部通排油管路时，则阀开启。

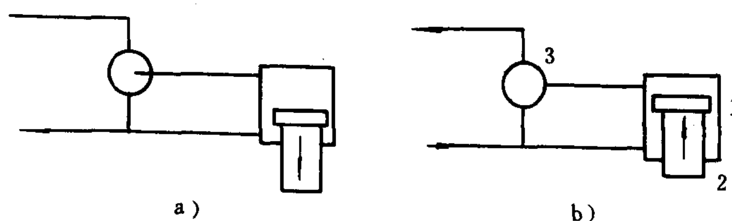


图 7.3.2—21　差动活塞式动力油缸

1—油缸；2—差动活塞；3—操纵阀

7.5 遥控系统

7.5.1 液压遥控系统

液压遥控系统主要包括遥控主油泵、辅泵、应急手遥泵及蓄压器等组成。

油压系统有三种形式：

1)单作用管路系统：

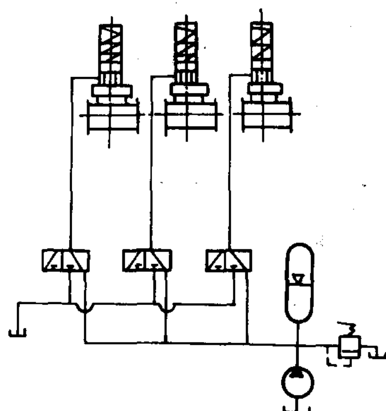


图 7.3.2—22　单作用管路系统

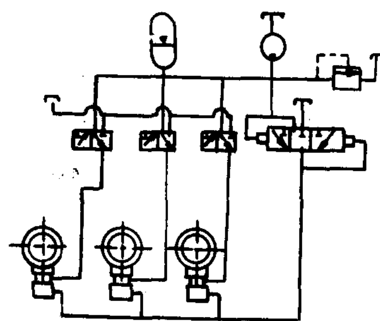


图 7.3.2—23　液压复位管路系统

液压系统只有一根独立的管路进入油缸的一端，称为单作用管路系统，如图 7.3.2—22 所示。遥控阀的液压管路直接与操纵控制台上的换向阀相连接。同时系统装有液压单作用的弹簧复位式执行阀，否则阀门就不能自动复位。该系统适用于阀通径 DN≤250mm，$p<0.3$MPa 的范围内。

2)液压复位管路系统：

遥控阀液压油缸除有一根独立的管路外，还有一根共同的非独立管路作为液压复位，如图

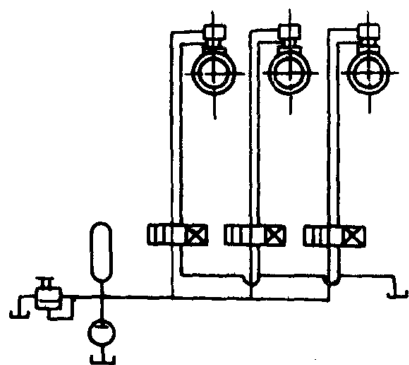


图 7.3.2—24　双作用管路系统

7.3.2—23 所示。独立管路从遥控阀接到控制台的相应换向阀上，而共同管路可先汇合后，再由一根管路接到控制台的换问阀。共同管路内压力始终保持系统压力的一半。当独立管路压力为零时，遥控阀关闭，关闭压力为 p/2；当独立管路压力为 P 时，则阀开启，开阀压力为 P/2 。

3)双作用管路系统：

每一液压遥控阀的油缸两端均有独立管路，通过三位四通换向阀控制遥控截止阀。阀门开启和关闭压力都等于 P。。二会管路系统如图 7.3.2—24 所示。

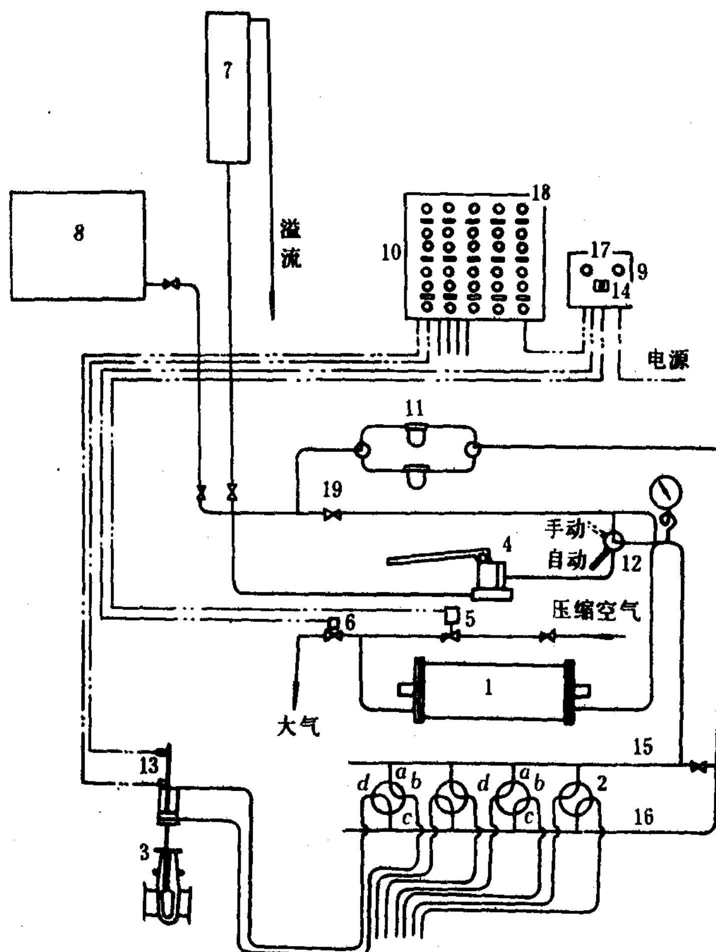


图 7.3.2—25　舱底水遥控阀的油压遥控系统原理图

1—压力油柜；2—操纵阀；3—遥控阀；4—手摇泵；5—充气电磁阀；6—放气电磁阀；7—重力油柜；8—补充油柜；9—电器控制箱；10—阀位指示盘；11—滤器；12—自动可动转换阀；13—定位开关；14—电磁阀控制旋钮；15—压力油主管；16—排油总管；17—电磁阀指示灯；18—阀位指示灯；19—止回阀。

图 7.3.2—25 为某远洋船上所采用的一种舱底水液压遥控系统。该系统不设专用的动力油泵，而是由压缩系统来的减压空气通入压力油柜中形成蓄压动力源。

该系统有自动和手动操作两部分。当自动操作时，将转换阀 12 转至自动位置，而操纵阀 2 的操纵手柄则放在开启位置，于是压力油从油柜流出，经转换阀 12 至主管 15，再经操纵阀 2 的 a—b 油孔，通至遥控截止止回阀的油缸活塞下部，推动活塞上升，将阀开启，与此同时，活塞

上部的油经操纵阀 2 的 d—c 油孔至排油总管 16,再经过滤器 11 回至重力油柜 7 。当阀门开足后,阀杆上凸块触动上限位开关 13,于是阀位指示盘 10 上显示开启的绿灯亮。当将操纵阀 2 转至关闭位置,压力油则经 a—d 油孔进入油缸活塞上部,而活塞下部的油则经 b—c 油孔流回至重力油柜,于是阀门关闭,阀位指示红灯亮。

手动操作时,只要将转换阀 12 转至手动位置,主压力油管 15 与手摇泵的排出口相通,于是遥控阀的开关就可由人工推动手摇泵所建立的压力油进行控制。

从各阀的回油并不流回压力油柜 1,系统在使用一段时间后,必须对压力油柜进行充油,否则压力油柜因存油减少,而使遥控阀门失效。充油时,可将电器控制箱 9 上的控制空气电磁阀的旋钮 14 放在"放气"位置,于是充气电磁阀 5 关闭,放气电磁阀 6 开,电器控制箱上指示放气的绿灯亮,压力油柜通大气,重力油柜 7 中的油液即可经止回阀 19 补充入压力油柜中,然后再将旋钮 14 放在"油压"位置,于是放气电磁阀 6 关,充气电磁阀 5 开,压缩空气通入压力油柜,当油压达到额定值(0.5Mpa)时,电气控制箱上红灯亮,遥控系统即可投入工作。

7.5.2 舱底水气动遥控系统

气动遥控系统管路比较简单(因排气直接放入大气,不需回气管),但动力缸中活塞润滑差,管路容易产生锈蚀,或空气中带来的脏污颗粒,常发生动力活塞卡死和造成气动元件堵塞等,故气动遥控阀上都设有手动强开螺杆。必要时,可借转动强开螺杆进行手动操纵。

图 7.3.2—26 所示为气动遥控系统的原理图及其操纵盘图。压缩空气经减压为 0.55～0.08Mpa 后供入遥控系统中。其操纵阀为三通旋塞,当将操纵于柄向右转 90°至关闭位置时,活塞下部空间的压缩空气通大气,遥控阀借动弹簧来关闭。

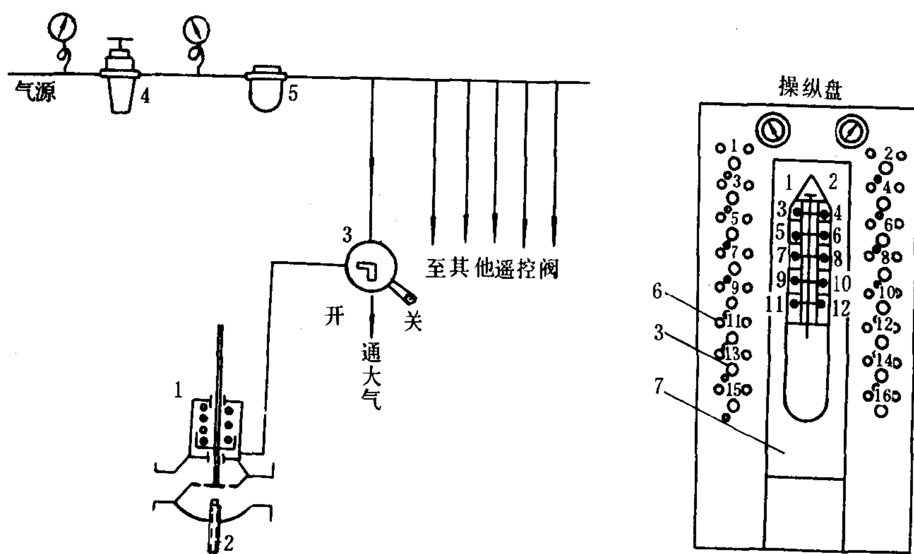


图 7.3.2—26 舱底水气动遥控系统及其操纵盘

1—遥控阀;2—手动开阀螺杆;3—操纵阀;4—空气减压阀;5—油雾杯;6—阀位指示灯;7—阀号指示板

当将操纵手柄向左转 90°至开阀位置时,压缩空气通至动力活塞下部,克服弹簧张力后,活塞上行,遥控阀打开。

系统中装有油雾杯。当压缩空气流过油雾杯时,因杯盖中小喷射器的抽吸作用,使杯中的油以雾状混入空气中,使活塞获得一定的润滑作用。

8　舱底水系统应用实例

8.1　小型船舶的舱底水系统

小船由于舱数和容积都很小，其舱底水泵、压载水泵，甚至消防水泵都可互为利用，故常将舱底水系统、压载水系统及消防系统合并为一个系统。小型船舶舱底水系统原理图如图 7.3.2—27 所示。

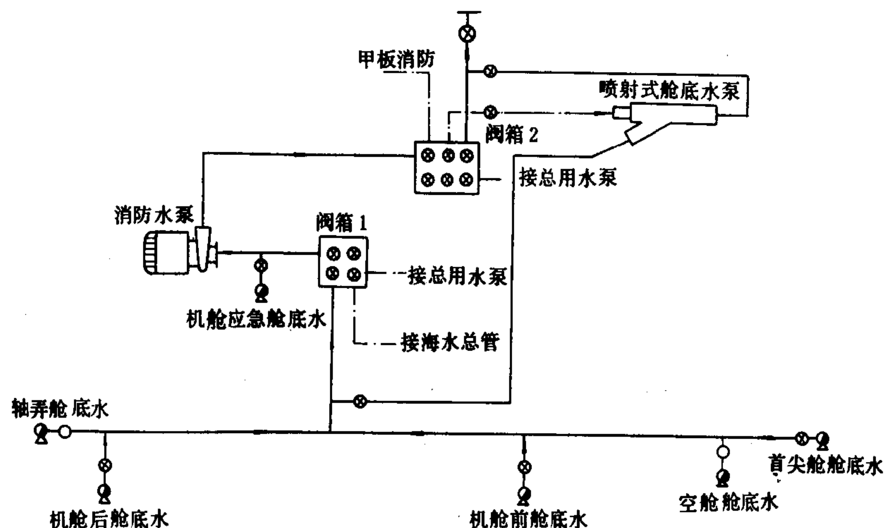


图 7.3.2—27　小型船舶舱底水系统原理图

该船设有一台喷射水泵，吸入管与舱底水总管接通。喷射泵的工作水由消防水泵或压载总用泵供给。舱底水系统共有 5 根支管，机舱 3 根，用来抽除机舱前、后和空舱的舱底水；另外管接轴隧和首尖舱，以抽除该两处的舱底水。各支管上均设有截止止回阀，同时，在支管的末端还装有带止回阀的吸入滤网。

小船船体多为单层底，船底向两舷升高，吸口应布置在船体纵中剖面附近。

舱底水总管与阀箱 1 接通，而阀箱 1 和阀箱 2 又用管路接通，必要时可用消防水泵或压载总用泵抽吸舱底水，经闭箱 2 排出舷外。

在消防水泵与阀箱 1 之间的管路上接有机舱应急舱底水支管和吸口，应急时可用消防水泵抽吸舱底水。

消防水则由消防水泵自海水总管经阀箱 1 抽吸海水，经阀箱 2 至甲板上各消防水管和与其相连的各消防栓。

8.2　大型货船舱底水系统

图 7.3.2—28 为大型船舶舱底水系统原理图。大型船舶由于舱数和容积都较大，故单独设置舱底水系统。该船需要抽吸舱底水的舱室有机舱、货舱、隔离空舱、管隧、轴隧、舵机舱及锚链舱等。

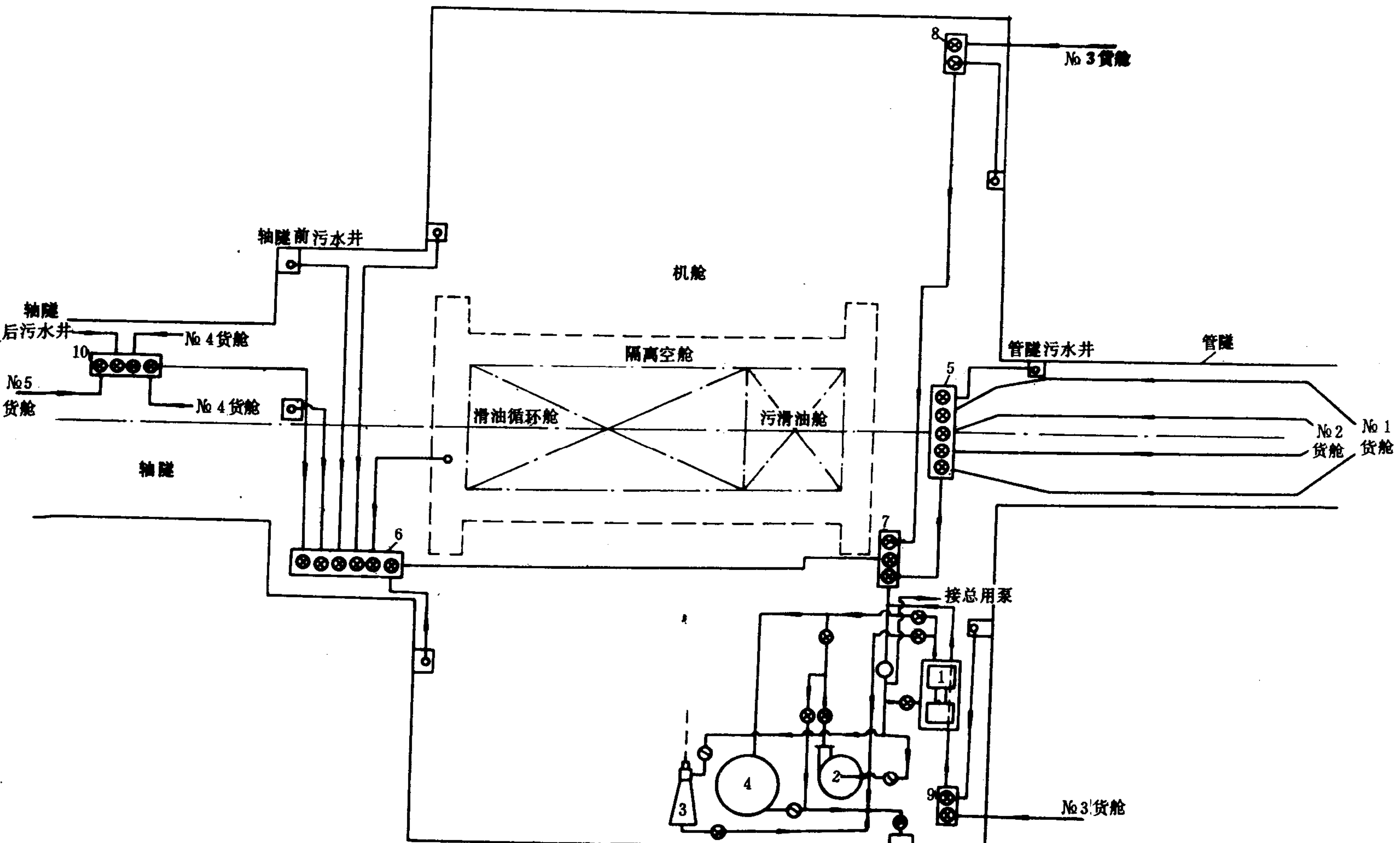


图 7.3.2—28 大型船舶舱底水系统原理图

1—电动往复式舱底水泵；2—离心式舱底水泵；3—喷射式舱底水泵；4—舱底油污水分离装置；5、6、7、8、9、10、—截止止回阀箱

为了抽除上述舱室内的舱底水，在机舱里设置了 3 台舱底水泵，其中 1 台为电动离心式水泵，另一台为电动往复式舱底水泵，还有 1 台为喷射泵。为提高舱底水系统的安全可靠性，舱底水管系还和总用泵相连接，需要时可用总用水泵抽除舱底水。

机舱前部货舱和管隧内的舱底水均通过舱底水支管、吸口接到阀箱 5 上。机舱后部货舱的舱底水通过支管、吸口接到阀箱 10 上。机舱后部和轴隧内及隔离空舱内的舱底水经吸口、支管与阀箱 6 连接。阀箱 6 与阀箱 10 接通。阀箱 7 是汇总吸入阀箱。它用总管与阀箱 5、6、8、和各舱底水泵连接起来。

机舱应急舱底水吸口与总用泵接通，当发生海损事故或火灾事故时，可及时排除舱底水。

锚链舱和舵机舱的舱底水利用该舱的舱底水管路和设置的手摇泵排至舷外。

9　舱底水管系的安装和维修保养

9.1　舱底水管系安装要求

船舶舱底水管系安装时，要考虑船体的结构和舱的位置，一般应满足下列要求：

1)应保证其工作的可靠性。在船壳受破坏时，使舱底水管路能得到尽可能大的保护。在系统工作时，应无故障；在局部管路发生故障时，应仍能继续工作。

2)管路必须安装成直线，弯头和附件的数量尽可能少，管子弯曲的曲率半径要大，管系附件应安装在易于接近处，以便于检查和修理。

3)管路都应设有支承架，作紧固用。一般约每隔 2～4m 设一个支承架，防止管子移动或下垂。

4)所有需要通过水密隔舱壁或船体其他水密部分的管子应采用贯通配件座板或其他船用水密接头，其结构应保证可靠。对通过货舱、锚链舱或其他舱(机炉舱除外)的管子应加装保护套，以防损坏。任何管子不能穿过油舱，如不能避免时，则应加装油密管隧，使管子从中通过。如不装管隧，则管子接头注意密封性，其管壁厚度应适当加厚，以防止腐蚀，且应每隔两年至少作一次水压试验。

5)所有水管应尽量避免通过旅客来往要道、会议室、餐厅及天窗等处。

6)船旁连接装置必须防止舷外海水(或河水)侵入船内闸阀及其他阀门，其操纵手轮尽可能在机舱花钢板之上。

7)舱底水管系中的重要阀门开关，都应装上开关标志，能明显看出它的开关位置。

8)舱底水管可采用低压石棉纸板或一般橡胶片作垫片。

9)在安装管路和附件时，应做好清洁工作。

9.2　舱底水管路的试验和验收

9.2.1　在下列情况下，应进行管子或管路的试验和验收

1)在车间加工制造完成或在船上安装完毕。

2)新船或管路修理后，应在系泊试验和航行试验时进行实效试验和验收。

9.2.2　舱底水管路的水压试验

舱底水系统管路和附件的水压试验要求见表 7.3.2—5。

表 7.3.2—5　**舱底水系统管路和附件的水压试验要求**

系统名称	车间水压试验压力 MPa		安装到船上后水压试验压力 MPa
	管子或管路	附件	
舱底水系统	0.37	0.37	0.37

9.3 舱底水系统的管理、维修和保养

舱底水系统的管理是轮机管理中的一个重要组成部分。轮机人员必须了解全船舱底水系统中各种管路的用途和控制情况、阀门的安装位置等，以便熟练、正确、迅速地进行操作，防止各种可能事故的发生。有些舱底水系统设有辅助引水管与海水总管连接，在此管上设有截止阀，当舱底水管路引水完毕后，应立即关闭此阀。如操作时疏忽而未关闭，将会引起舱内进水，可能浸湿货物，甚至发生严重海损事故。

9.3.1 舱底水系统故障原因及其排除方法

舱底水系统发生故障的原因及其排除方法见表 7.3.2—6。

表 7.3.2—6　**舱底水系统故障原因及其排除方法**

故障现象	原因	故障排除方法
舱底水泵启动后，但打不出水	(1)管路吸口堵塞 (2)漏入空气 (3)阀箱上阀门开错 (4)泵的出水阀门上有杂物，使阀门搁住而不能复位，舱底水漏回泵缸 (5)泵叶轮或叶片被舱底水中的杂物打断破损 (6)泵第一次起动时未引水	(1)清理吸口 (2)检查管路及法兰处是否漏气，修补管路或拧紧管路法兰连接螺拴 (3)检查，并正确开启阀箱上相应舱室的舱底水阀门 (4)打开阀箱并清理掉杂物 (5)拆开泵体换新泵叶轮 (6)泵启动前，先将泵内灌满水
舱底水泵排出水量小	(1)吸口部分堵塞或部分吸口堵塞 (2)吸入止回阀被杂物搁死 (3)泵缸活塞环间隙过大 (4)管路局部处(或法兰处)漏气 (5)管路漏泄	(1)清理吸口 (2)清除阀内杂物 (3)换新活塞环 (4)破损管路换新或拧紧法兰连接螺拴 (5)消除泄漏

1)舱底水管路损坏的可能原因

舱底水系统管路损坏可能有以下原因：

(1)由于管路腐蚀或冻结而使管路损坏；

(2)制造管路时，焊接质量差(如有气泡和夹渣等)而使管路损坏；

(3)管路安装连接质量不好，或使用的垫片材料质量差，法兰平面不平等都会引起泄漏或松脱；

(4)由于法兰各连接螺栓固紧力不均匀或船舶振动等引起管路泄漏或裂缝。

为防止管路损坏，必须在日常使用管理中进行检查和保养，并在适当时间对管系进行一次

试压，以保证安全。

2)舱底水系统维修保养中注意事项

舱底水系统维修保养中应注意下列事项：

(1)机舱内的运行垃圾(如金属物、垫片、油棉纱等)及烟头等生活垃圾切勿扔入机舱舱底。

(2)应定期检查和清理污水沟的垃圾和污物。

(3)污水井内的吸口应防止堵塞。对装运煤炭、矿石、木材及黄砂等散装货船的舱底水吸口，外部应包以麻袋等过滤材料，以防颗粒物及木皮、木片等杂物进入舱底水系统中发生堵塞故障，或加速泵水缸缸套的磨损。

(4)修船时应检查舱底水管路是否腐蚀损坏、漏气等。

(5)管路修理时，应将未拆下的管路两端分别闷死，防止杂物等进入管路及系统中。

第3章　空气、溢流、测量和甲板疏排水管路

1 空 气 管

1.1　空气管的作用

船舶上设有封闭的舱、柜和隧道等处所(油船和其它液货船的透气系统除外),为使压、排液体时保证结构安全,不使它内部产生正压或负压影响工作顺利进行,必须在舱柜和隧道上部安装空气管,相应地排除或吸入空气。同样在生活用水器具的管路上,为了防止不使水封破坏和排水畅通,亦设有空气管(透气管)。

1.2　对空气管的一般要求

1)空气管应从舱、柜最高处引出,并远离注入管。在它的出口端应有防止雨水或海水进入的适当装置。

2)设有阴极保护的舱柜,应在它的前、后端装有空气管。

3)船舶双层底的燃油、水舱、首尾尖舱和机舱内的燃油柜都应设有空气管,并从两舷延伸到舱壁甲板上。

4)空气管在甲板上的高度规定:

干舷甲板上	不小于760mm
上层建筑甲板上	不小于450mm

如这高度妨碍工作,可适当放低,但应征得主管机关的同意,并在管口上应有永久性合适的关闭装置。

5)机舱内口用滑油贮存柜的空气管,如当其溢油时不致于与电气设备或热表面接触,则允许空气管可终止在机舱内。但大容量的滑油柜应引向机舱外安全场所。

6)燃油舱柜空气管的管端,应位于安全处所,在管端应装有耐腐蚀、可更换的金属防火网。

7)各舱柜空气管的总截面积,应比各自注入管的有效截面积至少大25%,其内径不得小于50mm。

8)如舱柜装有溢流管时,空气管的截面积至少应为该舱柜注入管截面积的20%。如几个舱共用一根空气管,则截面积至少应为独立舱柜中两根最大注入管截面积之和的20%。

9)水区航行船舶的空气管的截面积应适当增大。

10)轴隧和管隧上的空气管,其内径不得小于75mm。

1.3　空气管的布置

一般空气管都装在舱、柜的最高处,如是平顶舱则装在四角处,至少装两根;若双层底舱面向中央拱起,则空气管应装在竖龙骨两侧水舱面的最高处。对隔离空舱、箱形龙骨及空舱,至少应装设二根空气管,其位置可设在前、后端,以利空气流动。

1.4 空气管管头的型式(见表 7.3.3—1)

表 7.3.3—1 空气管管头的型式

管头型式	使用场所	优缺点	备注
半圆弯头式	适用沿海小船压载水舱	制造方便,但体积大,用料多。	参阅图 7.3.1—33
螺帽盖头式	淡水舱、柜	可防止灰尘进入或海水灌入。但在注水时须人工卸除,不方便。	
菌形帽盖可旋转式	大型远洋船压载水舱。	可任意调节管口开度,人工开启,不方便。工作疏忽易出事故。	
菌形帽盖自动开启式	燃油舱、水舱	结构简单,安全可靠。若用于燃油舱需装防火网。	图 7.3.3—1
浮球阀式	汽车轮渡船舱	结构较合理,但制造复杂,造价较高。单浮球阀装置的空气出口可接到舷侧,解决地位狭小的封闭甲板而又不能伸出甲板上的问题。	图 7.3.3—2

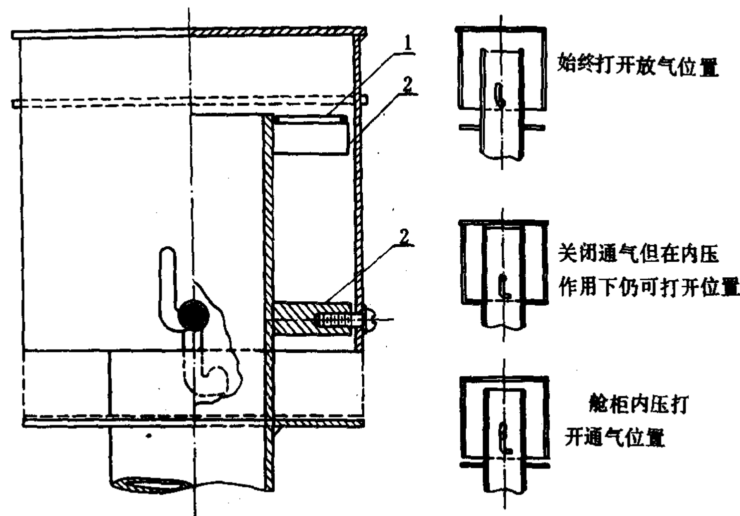


图 7.3.3—1 空气管头自动开启式

1—空气管金属丝网盖;2—焊在空气管上的销子(上下共 6 只);3—空气帽盖上的槽口;图中虚线为关闭位置,实线为开路位置

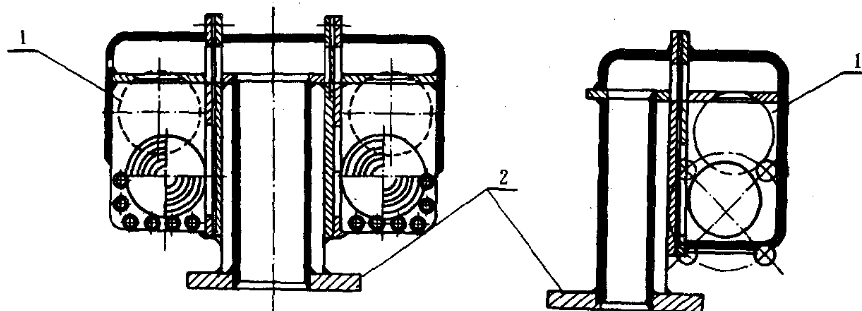


图 7.3.3—2 单浮球阀和双浮球阀式空气管头

1—浮球; 2—法兰接头

1.5 空气管的管理和维修

1.5.1 空气管的管理

舱柜上的空气管必须正确管理，使其真正达到透气的目的。

1)空气管不能挪作其他用处，例如利用空气管向舱柜内灌装水，这样容易引起舱柜爆裂。

2)空气管在进、排作业时，必须保持畅通。持别是螺纹帽盖式空气管，切不可忘开。另外在作业前必须检查空气管有否被异物堵塞，或空气管口的金属丝网有否被油灰及冬天水封堵塞，这些情况，都易引起空气管不能通而造成舱柜液位异常或爆裂。

3)舱柜空气管有公用总管或兼作溢流管时，在冬季必须注意在弯头处容易燃油析腊或水结冰而堵塞，应予保暖或疏通之。

1.5.2 空气管的维修保养

1)盖帽保持经常活络、清洁；活动部件加油脂。

2)对螺纹帽盖式空气管(现有新船已不采用)的活动帽盖，在大风浪前要盖紧，天气良与灌排作业时要打开。

3)对燃油舱空气管的帽盖内金属丝网，要定期清洗，有腐蚀即换新。

4)空气管管子上或管头附近围壁上，须用醒目色漆标注舱号；管头上的螺纹旋盖上的小链条，应与空气管相连，防止遗失。

5)空气管的损坏有二种：一种是装卸时撞坏或大风浪浪损，另一种是空气管在甲板处根部锈蚀损坏。维修的方法，可割换或套一段短管焊接，无法割补时可暂用水泥密封或用粘结剂粘补，待修船时彻底更换。

2 溢 流 管

2.1 溢流管的作用

溢流管是一安全装置，装在容器柜上端的预定位置，当液体灌到这位置后，即外溢到与其相连接的另一位置较低的容器柜(舱)内，或直接溢流到舱底，不使容器柜受压变形；或保证一定的静压头，如增压器的重力油柜，使滑油流至轴承的压力保持定值。

2.2 对溢流管的一般要求

1)舱柜可能承受的压力如小于空气管高度的压力，或空气管的截面小于规范要求，则所用泵灌装的舱柜都应装设溢流管。

2)燃油和滑油舱柜的溢流管，应引到足够低位置的溢油柜。

3)溢流管上应装有照明的观察器或装设报警器。

4)溢流管上不应装设任何阀门。

5)压载水舱有时需装燃油，则其空气管如与溢流管路相连时，则在压载水舱的溢流管上装设防止压载水溢流进入装油舱的设施。

2.3 溢流管的尺寸和高度的确定

1)尺寸的确定： 溢流管应不小于该舱柜的注入管截面积的1.25倍。

2)高度的确定： 溢流管的高度不能超出该舱柜结构所承受的压头高度。

2.4 燃油舱(柜)、日用油柜和沉淀油柜的溢流管管路

2.4.1 燃油舱(柜)的溢流管路的一般要求

1)溢流总管应处于夏季载重水线以上,它的尺寸则根据2.3节中的要求逐段加大,直至最后流到溢油舱的直落管。

2)在加燃料油时,为了满足远航,必须装到溢油舱中时,由于舱容很小则该舱应最后装入。

3)每个燃油舱的最高装油安全位置处,最好设有报警装置,以防溢油。

4)如溢流总管受地位限制,必须设在夏季载重水线以下时,且此总管又为几个舱柜共用,而这些舱柜又在两个以上的水密区以内,则各舱柜的溢流管上应装止回阀,以防万一海水从损坏的舱柜溢流入总管影响其它舱柜。

2.4.2 日用油柜和沉淀油柜溢流管的一般要求

1)如有数只日用油柜和沉淀油柜,则各柜都应装设独立的溢流管。

2)在溢流舱的溢流管上,须装声、光报警装置,当某日用油柜或沉淀油柜溢进油时应可报警。

3)溢流舱舱容应保证在泵油溢油时10min的容量。

4)日用油柜和沉淀油柜的空气管,可与溢流管相连接。

2.5 溢流管的管理

所有舱柜的溢流管必须保持畅通。用于燃油舱柜、日用油柜上的溢流管,在使用重油或劣质燃油时,应注意不使该管冻结,应在管外包扎隔热材料。厂修有条件时可将附于舱柜上的一段弯管拆下检查。

当燃油日用油柜的溢流管兼作空气管时,一般由柜顶横向直通总溢油管,再通溢油舱,总溢油管上部有管子直通艇甲板作空气管之用。这种布置在冬季时容易造成空气管口结冰堵塞或溢流管弯头处燃油析腊堵塞而使舱柜液位异常,发生机器断油事故,应特别注意。

3 测 量 管

3.1 测量管的作用

船舶压载水舱、隔离空舱、淡水舱、舱底污水井(沟)、滑油舱柜、燃油舱柜等处所,在装载前后和每天使用后的定时检查,均需了解其内部的液位情况,以掌握存量或及时发现损坏漏泄等,为此设测量管。

3.2 对测量管的一般要求

1)与测量管的下端口对应的底板上,应安装适当厚度的一块防击板。

2)采用底部封闭的缝隙式测量管时,其封闭塞的结构应坚固。

3)为防止海水从测量管进入舱柜,所有测量管的开口,应装有永久性附连的可靠的关闭装置。

4)燃油、滑油和其它可燃液体的舱柜,如使用平板玻璃液位计应为耐热玻璃,且在其周围有保护装置,在其上下两端装有自闭阀的油位测量表。

5)客船上燃油舱柜的测量管，其上端应引伸到安全地点，且有适当关闭设施。亦可用遥控装置。

6)测量管一般应引伸至舱壁甲板以上，人可随时接近的地方。而燃油、滑油舱柜的测量管，可将其上端引伸至甲板安全地方，并有适当的关闭装置。

7)在机舱和轴隧内用短的测量管。当机舱双层底舱柜的测量管不可能引伸至舱壁甲板上时，可引伸至花钢板以上适当高度采用短测量管。

8)短测量管应易于接近。燃油和滑油舱柜的短测量管应尽量远离热表面或电气设备，必要时应在该热表面和(或)电气设备上装有防护设施。

9)燃油和滑油舱柜的测量短管应安装有永久性附连手柄的旋塞，在手柄上设有重块，手放开后能自动关闭。其它舱柜的短测量管应装设自动关闭旋塞或自动关闭舌形弹簧的活门。客船机舱内的隔离空舱和双层底舱亦可装设上述短测量管及其安全装置。

3.3 测量管的尺寸确定和位置选择

3.3.1 测量管的内径确定

测量管的内径一般不得小于32mm，若测量管通过温度为0℃或0℃以下的舱室，则其内径不得小于65mm。在矿砂船和集装箱船等，又规定当测量管穿过压载水舱，和(或)压载水深舱的测量管穿过货舱时，其管子的厚度均不应小于12.5mm，若所通过的压载水舱是空舱，则厚度可以减薄，但在任何情况下不能低于7mm。

3.3.2 测量管的位置选择

压载水舱测量管的位置一般设于船舷一侧，并位于舱柜液位比较适中的地方，当然最好在船中处，误差较小。燃油舱柜的测量管应设于开敞通风之处及易于测量的部位。

3.4 测量管管口帽盖

一般压载水舱的测量管帽盖均采用铜质螺帽盖头，旋入后与甲板齐平。设于机舱内的测量管帽采用自动关闭旋塞，也可采用舌形弹簧式。它们是一种安全装置，用后能自动关闭，故一般均适用于压载水舱、燃油舱、滑油舱上。

3.5 测量舱(柜)液面计的型式

表7.3.3—2　　测量舱(柜)液面计型式

型式	型号	使用场合	备注
平板玻璃式液位表		小型储油柜、水柜	平板玻璃要耐热型。管路有自闭阀门。
量棒		水舱	棒上有刻度
量尺		水舱、燃油舱、滑油舱(柜)	油尺与水尺不可混淆。
浮筒指示装置		日用油柜、沉淀油柜	连接浮筒钢索与洞孔穿过处要密封。
磁性液位显字指示装置	75/100N	燃油舱柜、滑油舱柜等	德国、“法兰克福”(Frankfurt)船厂生产
液位遥测装置	CUJ	水舱、燃油舱、货油舱	旋转式控制阀易轧住，易泄漏，维修工作量大。

续上表

型　　式	型　号	使　用　场　合	备　　注
气动表头指示式液位测量位置		水舱、燃油舱、货油舱	工作比较可靠
电磁浮子液位表	YWB	油、水、酸、碱、酒等液柜液面测量	显示部份采用集成电路
自力式液位表		水，轻，重柴油，渣油，糖浆等高粘度液体都可测量	测量表头最远距离(即毛细管长)不大于 2m

3.6　测量管的维修和管理

3.6.1　测量管的维修

参阅空气管的维修。

3.6.2　测量管的管理

1)每个舱柜的测量管处，应用硬牌或色漆等标明该舱、柜代号名称。

2)设有重锤自闭式旋塞的测量管管头，旋塞须保持活络，重锤不可拆除。

3)量尺应轻轻放到舱底；量尺最好专舱专用。

4)测量管顶端管口，不可用其他异物作盖，以防落入堵塞。

5)装在机舱的短测量管，必须远离电气设备与机械管系的热源处。开启测量管管头旋塞时要慢，以防万一喷油或水。为防止碰撞，在其旁须装保护罩壳。

6)测量管如通过冷藏室时，须有隔热材料包扎，以免管内结冰。

7)测量管伸出甲板或双层底板处很易锈蚀，须加强检查。

4　疏排水管系

4.1　疏排水管的作用

为了排放船上生活污水和粪便，在起居处所须设疏排水管系，，另外，雨水和在风浪中进船的海水，都需要及时排除，为此在居住区外面须设置甲板排水管系。

4.2　对疏排水管的一般要求

1)封闭的上层建筑、甲板室和干舷甲板下的封闭舱室，向外疏排水需要在船体外板上开孔通至舷外时，均应装设坚固和便于检查的止回阀，以防海水倒灌。该阀应能在干舷甲板上操纵。

2)当外板上开孔离夏季载重水线的距离 H 小于或等于 0.01L(船长)时，其排出止回阀的布置如图 7.3.3—3 布置图之一所示。

当 H 超过 0.01L 但小于或等于 0.02L，且疏水阀可随时进行检查时，则可在排水管上装两个不带直接关闭装置的止回阀来代替甲板上控制的截止止回阀，其中一只应装在外板内侧，其布置图如图 7.3.3—4 布置图之二所示。

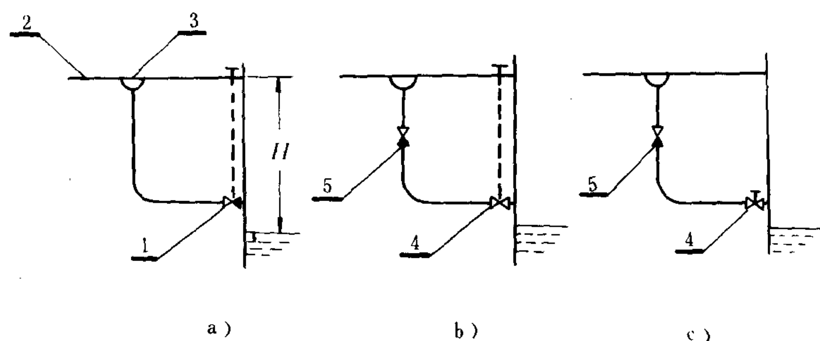


图 7.3.3－3　疏排水管系统排出止回阀布置图之一

1—截止止回阀；2—干舷甲板；3—起居处所泄水孔；4—截止阀；5—止回阀

a)外板上装截止止回阀，该阀在干舷甲板上操作，并装有控制器和开、闭指示器；

b)管路上有止回阀和外板上有从干舷甲板上操作的截止阀；

c)机舱内，在外板上装有就地操作的截止阀，在管路上装止回阀

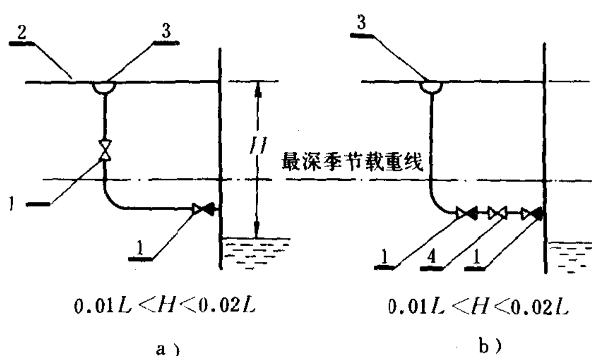


图 7.3.3－4　疏排水管系排出止回阀布置图之二

1—止回阀；2—干舷甲板；3—泄水孔；4—截止阀

a)二个止回阀，一个装在外板上，另一个装在管路上，后者应易于操作；

b)如船内止回阀不可能装在规定水线以上时，在二个止回阀之间易于接近的地方，装一截止阀和开、闭指示器，则船内止回阀可装在规定水位之下

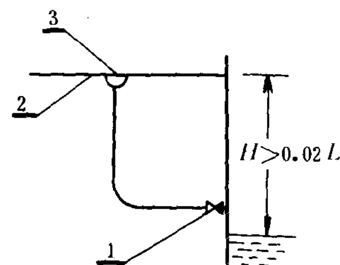


图 7.3.3—5　疏排水管系排出止回阀布置图之三

1—止回阀；2—干舷甲板；3—泄水孔

当 H 超过 0.02L 时，可在外板内侧装一不带直接关闭装置的止回阀，其布置如图 7.3.3—5 布置图之三所示。

3)凡排泄水管从船壳外板开孔流出处，均应在船壳板处装止回阀，若管系有足够的*厚度时，此阀可以省去。

4)非封闭的上层建筑和甲板室的泄水管，均应引向舷外。

---

* 不装止回阀的管壁厚度应为：

(1)管子外径小于或等于 80mm 时，壁厚不小于 7.0mm；

(2)管子外径等于 180mm 时，壁厚不小于 10.0mm；

(3)管子外径等于或大于 220mm 时，壁厚不小于 12.5mm；

(4)管子外径为上述中间值时，壁厚可用内插法决定。

4.3 疏排水管的布置和注意事项

4.3.1 居住区处排水管系布置时应注意

1)排水出口的位置要避免位于干舷、吃水的字母和船名处、救生艇起落档处、吊螺旋桨的眼环处、以及船壳板的焊接缝等处。

2)排水管应少用弯头,多用直管。

3)管子材料选用镀锌钢管。

4)各上层甲板的排水管,应在最下层露天甲板上全部排出舷外,不要穿过最下层露天甲板。

5)甲板上和舱盖上,常装载家畜、木材时,在排水口的末端弯头 R 处应放大内径,避免粪便、树皮、谷物等涨死堵塞。

4.3.2 居住区内的疏排水管系的布置

1)一般先决定排水口的位置,然后再与布置房间相适应,最后根据这些既定位置来布置管路。

2)需设排水口的部位

(1)易积水的舱室。

(2)需经常打扫清洁的舱室和场所。

(3)接近露天的通道和工作室。

(4)散装货船粉尘多的各处进出口通道处。

3)布置管路应注意:

(1)必须考虑船舶在纵、横倾斜时,防止排水倒流。

(2)考虑空气管与排水时的畅通。

(3)垂向排水管的负荷强度为横向排水干管的负荷限度的 1.5～2 倍。

(4)给水单位等于各用水器具的最大流量除以洗脸盆的最大流量 35L/min(取其接近的整数,一般以 0.5 的倍数为标准)。

(5)管子倾斜度见表 7.3.3—3。

表 7.3.3—3 **管子倾斜度**

管子场所	倾斜度
舷侧流向的管子	1°10′以上(梁拱 20/1000)
船首流向的管子	2°30′以上(梁拱 44/1000)
船尾流向的管子	1°10′以上(梁拱 20/1000)
集中排水系统	3°(梁拱 52/1000)

(6)排水管路中的空气管管径的选取,如表 7.3.3—4 所示。

表 7.3.3—4　　空气管管径

横向排水干管管径(mm)	给水单位数(ΣfuD)*	空气管管径(mm)					
		40	50	65	80	100	125
		最大横向长度(m)					
40	10	6					
50	12	4.5	12				
	20	3	9				
80	10		6	12	30		
	30			12	30		
	60			4.8	24		
100	100		2.1	6	15.6	60	
	200		1.8	5.4	15	54	
	500			4.2	10.8	42	
125	200				4.8	21	60
	1100				3	12	42

注：* fuD 为排水单位 1fuD=28.39L/min。

4.4 疏排水管的管理和维修

4.4.1 疏排水管的管理

1)卫生间、洗盥室、走廊、厨房、甲板等处的排水孔口上的格栅(或滤网),不能擅自取去,应经常保持清洁,格栅上无杂物。

2)在装燃油时,值班水手要将甲板上的排水孔用木塞或其它软物塞好,待燃油装妥后及时取出。

3)位于大舱处的排水管要经常检查,如有损坏要及时修理。

4)位于露天的疏排水管,如冰区航行,事先要设法包扎隔热防冻装置。

4.4.2 疏排水管的维修

与测量管修理法相似。

4.5 疏排水管路的故障及排除(见表 7.3.3—5)

表 7.3.3—5　　**疏排水管路故障及排除**

现　象	原　因	排　除	备　注
泄水不畅	管内有棉纱头、废纸、木片等杂物堵于弯头或阀内	1、拆去弯头取出杂物 2、用藤条疏通 3、用橡皮泵手动泵吸	
不能排泄	1、冰区航行管口冻结 2、空气管堵塞吸住 3、杂物堵死	1、用蒸汽吹扫 2、清洁透气管 3、拆管或疏通	
漏　水	1、烂穿 2、装货时碰坏	1、换新或补焊 2、割换	

第 4 章　船舶舱底油污水处理系统

1　船舶含油污水排放标准

参照国际海事组织制定的《1973 年国际防止船舶造成污染公约及其 1978 年议定书》的有关规定，我国制定了《船舶污染物排放标准》，已于 1983 年公布实施。其中船舶排放含油污水的含油量的最高容许排放浓度见表 7.3.4—1。

表 7.3.4—1　**船舶含油污水最高容许排放浓度**

排　放　区　域	排放浓度(mg/l)
内　　　　河	不大于 15
距最近陆地 12　n　mile 以内海域	不大于 15
距最近陆地 12　n　mile 以外海域	不大于 100

有些水域根据环境特点，如集中生活饮用水源、经济渔业区或旅游区等，需要特殊保护，对船舶含油污水尚有不同的排放标准或禁止排放。

2　舱底油污水处理系统的组成

舱底水防油污系统通常由污水井、吸口、舱底水泵、油污水舱、污油柜、油水分离装置、排油监控装置、阀门、管路等组成。

根据不同吨位的船舶和不同航行区域，采取相应的防油污设施。

2.1　海船机舱舱底水防油污处理设施

2.1.1　海船舱底水防油污设施的要求(见表 7.3.4—2)

表 7.3.4—2　**海船舱底水防油污设施要求**

船舶总吨位 G_T(t)	舱底水防油污设施要求	备　　注
G_T<400 或 G_T<150 的油船	1)设污油水舱(柜)，留存全部油污水； 2)或设置油水分离装置(15mg/l)及 15mg/l 油分浓度报警器	适用于国际航行的船舶
400≤G_T<10000	1)设置油水分离装置(15mg/l)	载有大量燃油或国际航行船舶，必需同时设置 15mg/l 油分浓度报警器及当含油量超过排放标准时的自动停排装置
	2)或设置油水分离装置(100mg/l)及排油监、控装置	能连续记录时间、日期和排出水含油量的记录器及当排出水含油量超过 100mg/l 时的自动停排装置

续上表

船舶总吨位 G^T(t)	舱底水防油污设施要求	备　　注
$G_T \geqslant 10000$	1）设置油水分离装置（15mg/l）及15mg/l 的油分浓度报警器 2)或设置油水分离设备(100mg/l)及排油监控装置	

2.1.2 油水分离装置的分级处理方式

当船舶在距陆地 12nmile 以外航行时，可以使用油水分离装置的第一级排放口(排出水含油量小于 100mg/l；仅当船舶在 12nmile 以内时，才将第二级聚结器* 与第一级串联使用，使排出水含油量低于 15mg/l 的排放标准。这种分级处理方式，可以延长聚结元件的使用寿命。但是按 73/78 国际防污公约规定，船舶在海上航行使用含油量低于 100mg/l 的排放口时，必需配备可以连续记录排放时间、日期、含油量及当排出水含油量超过 100mg/l 时能自动停止排放的监、控装置。这种监、控装置比较复杂，价格较高。因此目前国内外船舶很少采用含油量分别低于 100mg/l 及 15mg/l 两级串联的油水分离装置，而普遍采用 15mg/l 的油水分离装置。其缺点是传统的聚结元件易于堵塞。由于油污水分离技术的进步，近年来国内外已研制成功一种真空抽吸式的油水分离装置，它可提高分离效果，聚结器又不易堵塞。既可省去较复杂的排油监、控装置、又不需要经常更换分离元件。

注：* 即《73/78 防污公约》和我国船舶检验局制订的《海船防污染结构与设备规范》中所称的油水分离装置中的过滤设备。根据功能应称作聚结器。

2.1.3 油污水贮存舱(柜)

在特殊保护区域航行的船舶，或国际航行小于 400 总吨、且不设置油水分离装置及排油监控装置的海船，应设有足够容量的机舱舱底油污水贮存舱(柜)，其容积按下式确定：

$$V=(2+\frac{l}{v_s})q \quad m^3 \qquad (7.3.4-1)$$

式中：V——机舱油污水贮存舱(柜)的容积，最小值不得小于 4q，最大值一般不大于 20q，m^3；

l——船舶营运中可能达到的最大往返航程，n　mile；

v_s——最大的试航速度或相应的海上速度，kn；

q——假定每小时产生的舱底水量，m^3/h，q 值采用 $2.8\times10^{-4}G_T$；G_T 为船舶总吨位，t。

2.2 内河船舶舱底水防油污处理设施

表 7.3.4—3　**内河船舶舱底水处理设施要求**

船舶主机总功率 N(kW)	舱底水处理设施	备　　注
N<22	简易油污水贮存设施	
22≤N<220	油污水贮存舱	小型船用油水分离装置可免除燃油试验；配套泵，可为机动泵或手动泵
	小型船用油水分离装置	
220≤N<440	小型船用油水分离装置	
	N≥440	船用油水分离装置



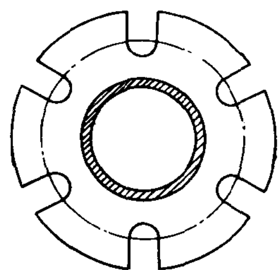


图 7.3.4—1　标准排放接头

我国船舶检查验局制定的《内河船舶防污染结构与设备规范》规定了内河船舶油污水处理设施的要求，见表 7.3.4—3。

工程船舶以主辅柴油机总功率确定油水分离装置的配备。

2.3　污油舱(柜)

装设油水分离装置的船舶都必须设置污油舱(柜)，用以贮存污油。

2.4　标准排放接头

设置舱底油污水贮存舱(柜)和污油舱(柜)的船舶都应设有标准排放接头，以便与港口接受设施的管子相连接。油类标准排放接头法兰如图 7.3.4—1 所示，其尺寸见表 7.3.4—4。

表 7.3.4—4　**标准排放接头法兰尺寸**

项　　目	尺　　寸
外　　径	215　mm
内　　径	接管子外径
螺栓节圆直径	183　mm
法兰上螺栓孔槽口	直径为 22mm 的孔 6 个，等距分布在上述的螺栓节圆上，孔的槽口开至法兰盘外沿，槽口宽 22mm
法兰厚度	20　mm
螺栓和螺母数量、直径	6 个，每个直径 20mm，长度适当

法兰可供接收内径不大于 125mm 的管子，以钢或其他类似材料制成，法兰表面平整，装耐油垫圈应能承受 6×10^5Pa 的工作压力。

3　机舱舱底油污水

3.1　控制污油及污水进入舱底

3.1.1　设置残油柜

为了使净化燃油及润滑油时排出的残油(油泥)以及主辅机械的泄漏残油，不使它流入舱底水中，凡 400 总吨以上的新建船舶应按照主机燃用油种和航程长短，设置一个或数个残油柜。现有船舶在合理和实际可行的情况下，亦尽可能设置残油柜。残油柜的容积 V_1 应根据不同情况用下式计算。

$$1)\ V_1=K_1CD \quad m^3 \tag{7.3.4—2}$$

式中：$K_1=0.01$，用于重油需经净化后供主机使用的船舶；或 $K_1=0.005$，用于使用柴油或不需净化处理的重油船舶；

C——燃油耗量，t/d；

D——港口间的最大航行期限。港口指能接收残油（油泥）的港口，如缺少确切日期，取 30 天。

2）如果船上装有混合器、残油焚烧炉或经认可的其它控制残油的设施，则残油柜的最小容量 V_1 可确定如下：

$V_1=1m^3$，用于 400 至 4000 总吨的油船；或 $V_1=2m^3$，用于 4000 总吨及其以上的船舶。

3）对于在燃油舱内装载压载水的船舶，残油柜最小容积 V_2 可按下式计算：

$$V_2=V_1+K_2B \quad m^3; \tag{7.3.4—3}$$

式中：$K_2=0.01$，用于重油储存舱；$K_2=0.005$，用于柴油储存舱；

B——油舱容积 m^3；

V_1——见式（7.3.4—1）。

3.1.2 为了减少舱底油污水的产量，可采取下列措施控制进入舱底的污油及污水

1）设置防滴油装置，如油封沟、承滴盘、泄油盘等，以收集机舱各主辅机械、设备的泄漏油，并引入残油柜中。

2）齿轮箱、发动机曲轴箱、重力油柜等油箱柜的空气管口应配备冷凝—集油器，其泄油管应返回该系统或引至残油柜。所有溢流管、空气管、安全阀等应有管子引入油柜或返回系统中的低压点。

3）将所有的无水的废油直接排至残油柜，不要排放至舱底。

4）无油的废水应与有油的污水分离开。前者可直接排放舷外，如造水设备产生的大量高盐度废水可直接排放舷外。

5）及时修复泵的密封装置，以及油管和水管等泄漏部位。

3.2 舱底水的水质

舱底水的成分比较复杂，其中污油成分主要为润滑油及主辅机用的燃料油（轻柴油、重油或渣油）等，大部分呈悬浮状态。如污水中混入清洗剂、缓蚀剂等界面活性剂时，使部分污油微粒化呈乳化状态。舱底水表层含油量较高，下层水含油量较低，平均含油量为 2000mg/L。

舱底水中还存在泥沙、铁锈、残炭等固体杂质，其中微小的残炭等固体粒子往往与污油沾在一起，呈悬浮状态。

3.3 舱底油污水的产量

舱底油污水的来源很多，其产量与下列因素有关：船舶的吨位、主机型式及功率、管系安装的工艺水平、尾轴管密封方式、船舶航行和停泊状态、机舱设备维修保养状况和船舶的新旧等。其产量变化很大，难以定量计算。

4 舱底油污水分离装置处理量

在确定舱底油污水分离装置处理量时，国外往往以船舶总吨位或船舶长度为标准，见表 7.3.4—5。

表 7.3.4—5 有关国家舱底油污水处理量配备标准

国　　家	船舶总吨位 G_T(t)或船舶长度 L(m)	舱底油水分离装置处理量 m^3/h
日　　本	$G_T<1000$	$0.00044\times G_T$
	$1000\leq G_T<4000$	$0.4+0.0004\times G_T$
	$G_T>4000$	2
德国同业会(SBG)	100～400	0.25
	400～1000	0.50
	1000～1600	1.0
	1600～4000	2.5
	4000～10000	5.0
	$G_T>10000$	10.0
荷　　兰	L<25	0.25～0.5
	L<75	0.50～1.0
	L<175	1.0～2.5
	L>175	2.5～5.0

4.1 大中型船舶舱底油污水分离装置处理量的确定

参照国外一些国家的舱底油污水分离装置处理量配备标准和我国几年来使用的油水分离装置实践经验，大中型船舶的舱底油污水分离装置的处理量用船舶总吨位确定。其推荐标准如表 7.3.4—6 所示。

表 7.3.4—6 大中型船舶舱底油污水分离装置处理量标准

船舶总吨位(t)	舱底油污水分离装置处理量 m^3/h
400～1000	0.25～0.50
1000～2000	0.5～1.0
2000～4000	1.0～2.0
4000～7000	2.0～3.0
7000～15000	3.0～5.0
>15000	5.0～10.0

4.2 拖船和小型船舶舱底油污水分离装置处理量的确定

1)拖船总吨位虽小，但主机功率较大，可能产生较多的油污水，此时舱底油污水分离装置处理量不宜用船舶总吨位来确定，而应以主机总功率来确定，其推荐值如表 7.3.4—7 所示。

表 7.3.4—7 拖船舱底油污水分离装置处理量推荐值

拖船主机总功率 N(kW)	舱底油污水分离装置处理量(m^3/h)
<220	0.10
220～440	0.10～0.25
440～880	0.25～0.50

续上表

拖船主机总功率N(kW)	舱底油污水分离装置处理量(m^3/h)
880～1760	0.50～1.0
1760～3520	1.0～2.0
>3520	2.0～5.0

2)400总吨以下海船和主机功率在440kW以下的内河客、货船、油船也可参照7.3.4—7选定舱底油污水分离装置的处理量。

3)小型工程船以主辅机总功率来确定舱底油污水分离装置的处理量。

4.3 船用舱底油污水分离装置系列

我国已制定了船用舱底油污水分离装置额定处理量系列国家标准(GB4795.4—84)。处理量系列如表7.3.4—8所示。设计、制造的油水分离装置的额定处理量必须与表7.3.4—8中的数值相符。

表7.3.4—8 **船用舱底油污水分离装置额定处理量系列**

额定处理量 m^3/h	0.1、 0.25、 0.5、 1.0、 2.0、 3.0、 4.0、 5.0、 10、 25、 50

5 舱底油污水处理系统

5.1 常见的舱底油污水处理系统

常见的舱底油污水处理系统如图7.3.4—2所示。

该舱底油污水处理系统常用于较大型船舶，舱底空间分隔较多，需用驳运泵(舱底水泵)将分散的舱底水驳运至污水舱(隔油舱)，油污水在此经初步上浮分离后，由分离装置的专用泵输入油水分离器处理。分离出的污油排向污油柜。排出水经油分浓度报警器连续监测，含油量低于15mg/L时排出舷外，如排出水含油量超过15mg/L时，三通阀自动转换，排出水回流到污水舱而停止排向舷外。

1)对较小型的船舶，舱底空间不分隔或底分隔成左右两舱时，可不设污水舱。油水分离装置的配套泵可直接从舱底污水井中抽吸油污水。

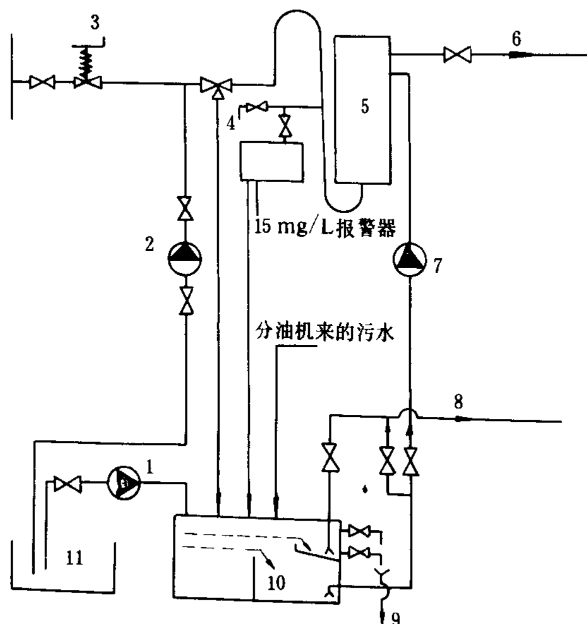


图7.3.4—2 舱底油污水处理系统

1—污水井；2—驳运泵；3—主应急泵；4—净水排舷外；5—报警器；6—油水分离器；7—去污油柜；8—专用泵；9—去污油柜或驳上岸；10—污水舱

2)舱底油污水处理系统中驳运泵的排量应能将船上收集到的油污水在较短时间内排完。

3)对于不设置 15mg/L 油分浓度报警器的舱底油污水分离装置，排出水系统上不需装设回舱底的水管系。

5.2 油船机舱舱底油污水处理系统

油船在机舱中亦应安装 15mg/L 舱底油污水分离装置，直接处理机舱舱底油污水。油船机舱舱底油污水驳运系统如图 7.3.4—3 所示。在该驳运系统中，舱底油污水通岸系统上另设有进入污水舱的管系。当分离装置不能使用时，将舱底油污水泵入货油污水舱中，以重力分离方法进行油水分离。

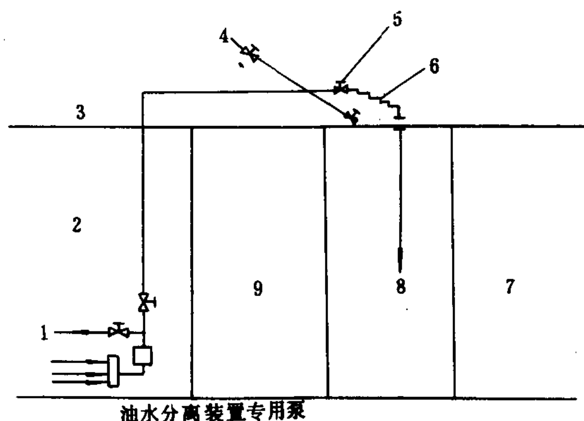


图 7.3.4—3 油船机舱舱底水驳运系统

1—至油水分离器；2—主甲板；3—上甲板；4—标准排放接头；5—截止止回阀；6—挠性软管；7—货油舱；8—污水舱；9—泵舱；10—舱底泵

为防止该系统在不运行时，货油污水舱中的油气从该管系窜入机舱，要求在管系中设截止止回阀，同时从该阀通向污水舱的管系应以挠性软管连接，不可用钢管固定。每次使用后，此挠性软管应立即拆卸。

5.3 污油处理系统

舱底油污水分离装置分离出的污油，除驳入岸上接收设施外，也可利用船上的燃油分油机，将污油中的水分和杂质去除后，送入日用燃油柜中与燃料油掺混，供锅炉或主机燃烧用。图 7.3.4—4 为油水分离装置和燃油分油机联合处理污水污油系统。

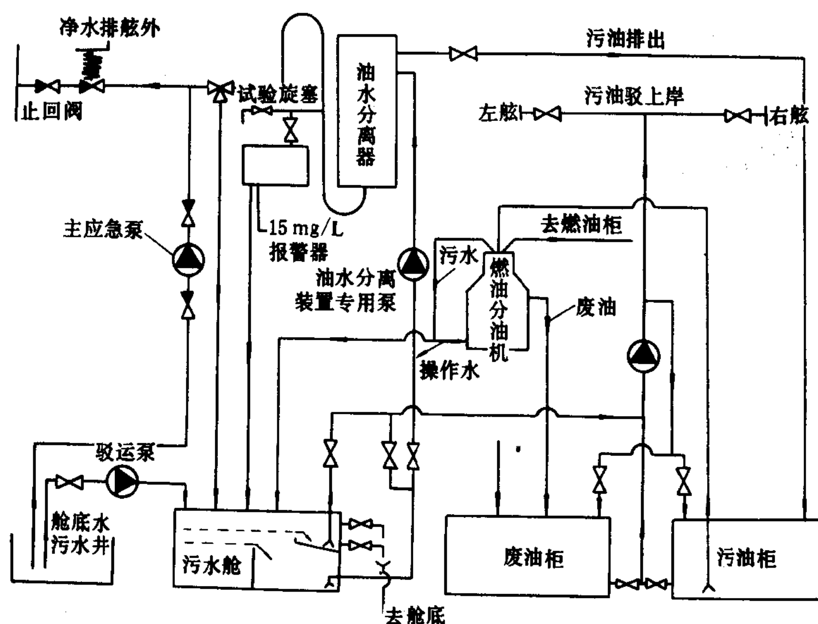


图 7.3.4—4 油水分离装置和燃油分油机联合处理污水、污油系统

6 舱底油污水分离方法

6.1 舱底油污水常用的分离方法

用物理、化学、生物等方法都可有效地分离油污水，但根据舱底水中以悬浮油为主并含有杂质的这一特点，及考虑到船用防污染设备应力求结构简单、安全可靠、使用维修方便等，舱底油污水分离装置大多采用物理过程聚结方法。它是以多层平板、波纹板、蜂窝管以及人造纤维、金属丝网制成的分离元件，油污水通过其中时，可使细小油滴聚结成大油滴，在油水比重差的作用下自然上浮与水分离。常用的舱底油污水分离装置处理流程如图 7.3.4—5 和图 7.3.4—6 所示。

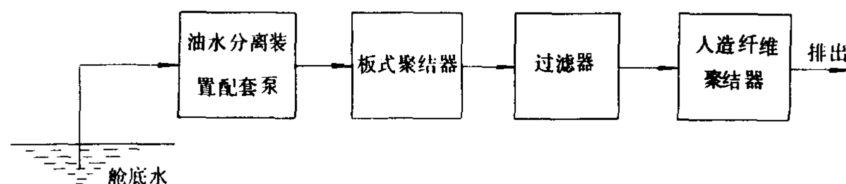


图 7.3.4—5 板式聚结器和纤维聚结器组合流程

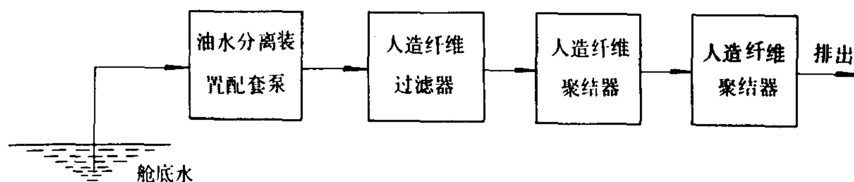


图 7.3.4—6 纤维过滤器和纤维聚结器组合流程

6.2 聚结分离方法的发展

上述两种处理流程的配套泵在向油水分离装置输送舱底油污水过程中产生扰动，使油滴破碎引起乳化，增大分离难度。需借助孔隙很小的纤维聚结器再将细小油滴截留和聚结，才能使排出水含油量达到低于排放标准的要求。但是舱底水中的固体杂质又易于使这种孔隙较小的聚结器堵塞，造成聚结器使用寿命不长、运转维修费用增加等缺点。

6.2.1 真空式油水分离装置

从避免舱底油污水中的油滴被配套泵破碎乳化，国内外已研制成功一种真空式油水分离装置。其处理流程如图 7.3.4—7 所示。

6.2.2 舱底油污水"零排放"处理系统

近来国外又在真空式油水分离装置的基础上，研制成功"零排放"的舱底油污水处理系统。其处理流程如图 7.3.4—8 所示。

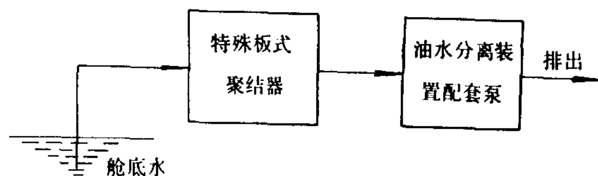


图 7.3.4—7 真空式油水分离装置流程

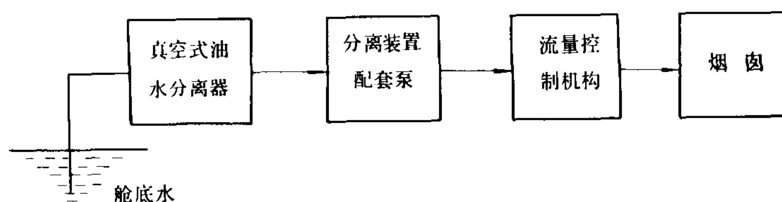


图 7.3.4—8 舱底油污水"零排放"处理流程

真空式油水分离装置将舱底油污水吸入处理后，含有少量油分的排出水由泵送入烟囱内，喷出后水被蒸发，达到"零排放"的要求。水进入烟囱前，先经过一个由烟气流量计、温度计、控制阀组成并由微型计算机控制的机构。它根据船舶主机运转时产生的烟气流量及温度参数，定量控制油水分离装置的排出水。舱底油污水"零排放"处理系统适用于航行在特殊保护区禁止排放舱底油污水的船舶。因此，船上可不必设置油污水贮存舱。

7 舱底油污水水分离装置的组成

舱底油污水分离装置主要由油水分离器、过滤器、配套泵（专用泵）、电气控制箱、阀门、管路等组成，组装在公共底座上。其中油水分离器、配套泵、电气控制箱为主要部件。

7.1 油水分离装置的配套泵

油水分离装置配套泵的类型直接影响到分离效果。配套泵除流量、压力、吸入真空度需符合规定要求外，还要求舱底油污水通过泵时减少油滴的破碎程度。离心泵和齿轮泵都会使油污水严重乳化，不能作为分离装置的配套泵。一般都采用低转速的容积式泵，如单螺杆泵、活塞泵或柱塞泵作为配套泵。

真空式油水分离装置的配套泵不直接输送原油污水，对转速无严格要求，普遍采用单螺杆泵。

7.1.1 配套泵的型号及基本参数

国产油水分离装置的配套使用较多的单螺杆泵和柱塞泵，其型号及规格参数分别列于表 7.3.4—9 和表 7.3.4—10。

表 7.3.4—9 **单螺杆泵的主要型号和规格参数**

型 号	规 格	额定转速下的排量 m³/h		工作压力 MPa	吸入真空度 m	配用电机功率 kw
		1450 r/min	960 r/min			
1G30 I	$1G30\times2-\frac{1}{490}$ I	1.5	1	0.49	6	1.1
1G30 II	$1G30\times2-\frac{0.5}{490}$ II	0.7	0.5	0.49	6	0.75
1G42 I	$1G42\times2-\frac{5}{490}$ I	7.0	5.0	0.49	6	2.2
1G42 II	$1G42\times2-\frac{3}{490}$ II	4.5	3	0.49	6	1.5
1G60	$1G60\times2-\frac{10}{490}$	15	10	0.49	6	4.0
微型泵	$1G30\times2-\frac{1}{490}$	1.0	0.7	0.49	6	0.55

表 7.3.4—10　　船用电动柱塞泵型号和规格参数

型　　号	流量 m^3/h	排出压力 MPa	吸入真空度 m	配用电机功率 kW	泵　型　式
DZ—100	0.1	0.2	5	0.25	卧式单作用电动柱塞泵
DZ—250	0.25	0.29	5	0.37	
DZ—500	0.5	0.29	5	0.37	
DZ—1000	1.0	0.29	5	0.55	
DZ—2000	2.0	0.29	5	0.8	

7.2　油水分离装置的自动控制

为了减轻船员的劳动强度和避免可能的误动作，以及满足无人机舱的要求，舱底油污水分离装置应实现自动控制。但在需要时也能切换成手动控制。

7.2.1　自动控制的内容及其原理

7.2.1.1　自动排油

油水分离器将油污水中分离出的污油聚集在分离器上部的集油室中，此污油必须及时排出，否则又将混入清洁水中，引起排出水中含油量超过规定的排放标准。

自动排油装置由电阻式或电容式油位检测器、排油阀组成。油位检测器装在分离器的集油室中，利用检测器在水、油中与分离器壳体之间导电率（或电容）的变化，输出控制信号，通过电气控制箱控制排油阀的启闭。图 7.3.4—9 为自动排油控制电路原理图。

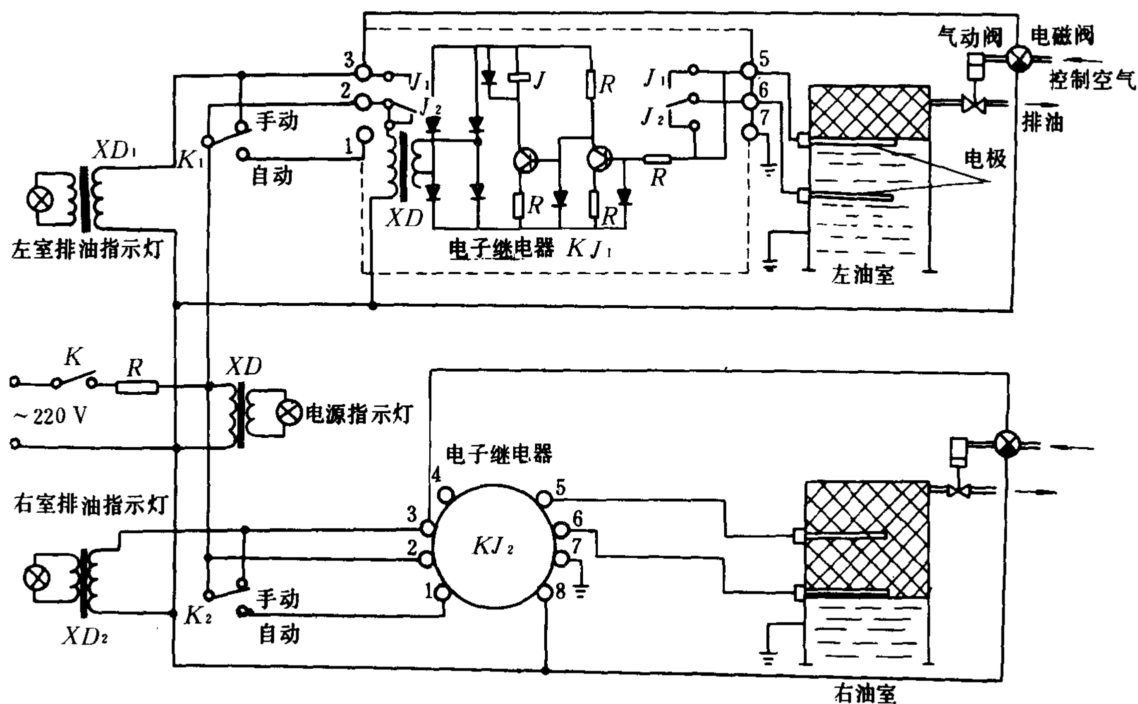


图 7.3.4—9　自动排油控制电路原理图

自动排油阀有电磁和气动隔膜阀两种，图 7.3.4—10 为排油电磁阀结构图；图 7.3.4—11 为气动隔膜阀结构图。

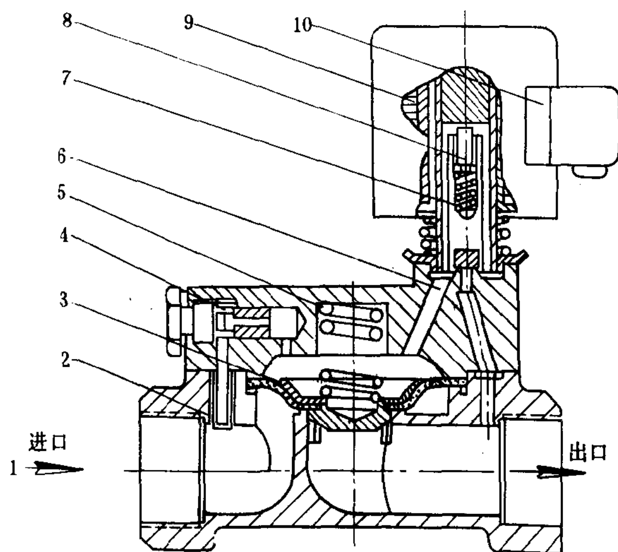


图 7.3.4—10 液动电磁阀结构图

1—进口；2—滤器；3—膜片组件；4—节流器；5—主阀弹簧；6—压力平衡通道；7—小弹簧；8—铁芯；9—磁性线圈；10—接线盒

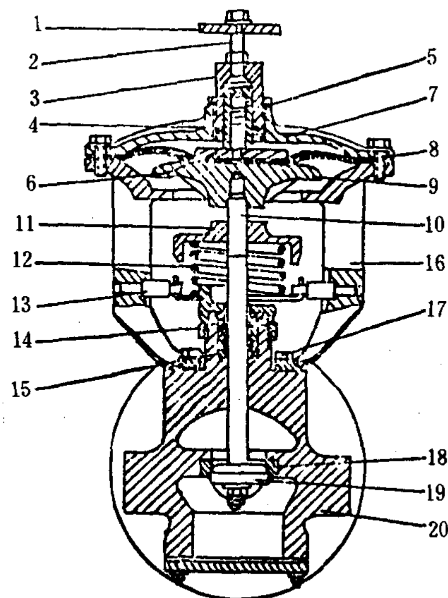


图 7.3.4—11 气动隔膜阀结构图

1—垫圈；2—膜室盖；3—隔膜；4—控制活塞；5—活塞心轴；6—罩壳；7—罩壳销紧螺母；8—阀座；9—活塞阀；10—阀体；11—填料；12—填料箱；13—插销；14—弹簧；15—弹簧顶盖；16—压力活塞；17—填料；18—带销紧螺母的柱塞套；19—压力活塞心轴；20—手轮

当排油进入左腔室，作用在阀体上腔体的橡胶膜片上形成压力腔，并借助弹簧压力关闭主阀盘；当电磁线圈通电，依靠电磁吸力克服小弹簧压力，铁芯上升，压力平衡通道开启，排油依靠自身压力，克服主弹簧力顶起主阀，污油从右腔排出。当电磁阀线圈断电，铁芯在小弹簧的作用下，切断压力平衡通道，阀体上腔室建立压力，膜片组件下降，主阀关闭。

由压缩空气推动隔膜下的活塞杆带动阀门达到阀的开启。阀开启时，弹簧受力；当切断气源后，弹簧伸张，顶起膜片恢复到原来位置，阀门关闭。

在排油过程中，油位检测器的排油信号先开启控制气源的电磁阀，使气动隔膜阀获得气源。

7.2.1.2 电加热器温度自动控制

为了使油水分离器集油室中的高粘度油能通畅地排出，以及防止污油粘附在油位检测器上造成排油控制失灵，在集油室中设置电加热器。为保护油水分离装置处理系统的安全运行，电加热器应有温控保护。利用装在集油室中的温度继电器作为温度检测元件，当加热温度降低到下限时，温度继电器触点闭合，加热器开始加热；当温度升到上限时，温度继电器触点断开，停止加热。电加热温度控制原理如图 7.3.4－12 双点划线部分所示。

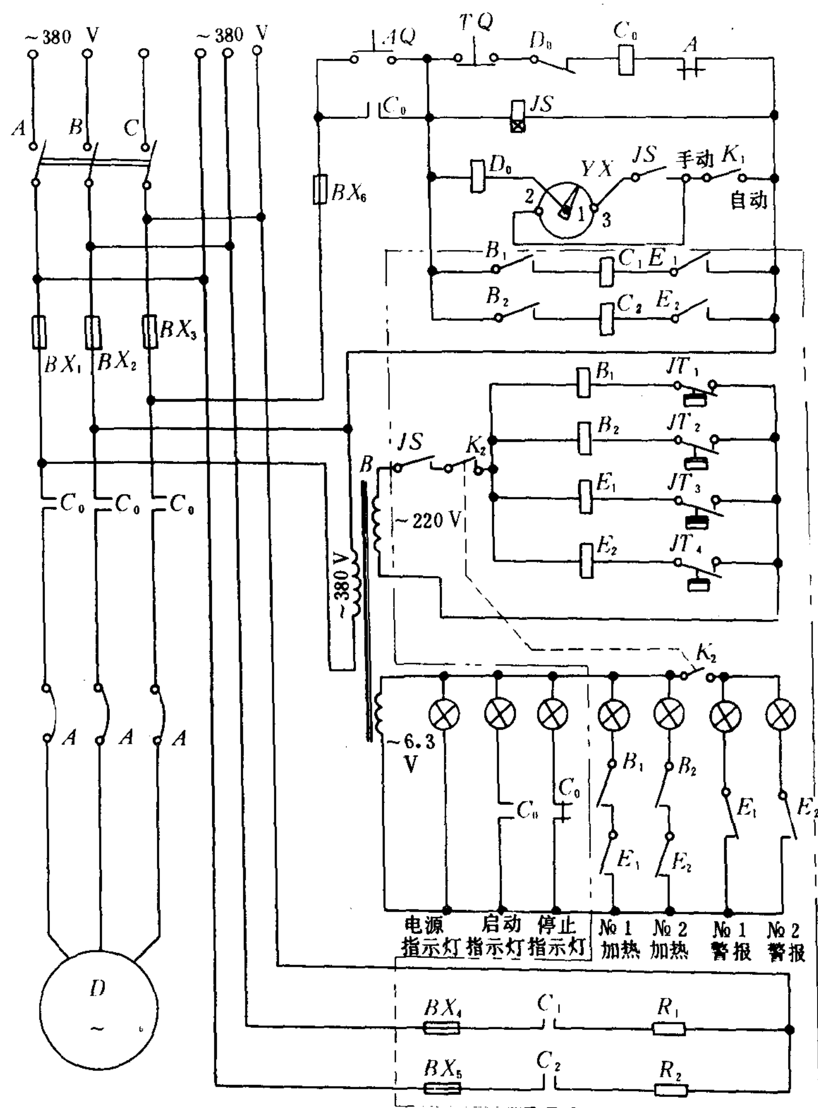


图 7.3.4—12　配套泵启动、保护及电加热控制原理图

7.2.1.3　配套泵(螺杆泵)的保护控制

当舱底油污水被吸空,或吸入系统上的滤器被堵塞,泵(螺杆泵)中无水输入时,应及时停转。如果泵空转时间稍长,会使泵损坏。其控制原理是泵出现吸空现象(即管路中真空度下降至大气压力)时,或当过滤器堵塞(即管路中真空度增加)时,电接点真空表均能使中间继电器产生动作,切断电动机接触器电源,使泵停止运转。

7.2.2　电气控制箱的技术要求

油水分离装置自动控制的电气控制箱技术要求如下:

1)环境条件要求:

电气控制箱的环境条件要求见表 7.3.4—11。

表 7.3.4—11 电气控制箱环境条件要求

序号	环境条件	要　　求
1	温度条件	控制箱在 0～55℃的环境温度范围内能正常工作，在运行过程中能承受最高环境温度达 70℃而不损坏。
2	相对湿度条件	在下列相对湿度条件下应能正常工作： 1)温度达 40℃时，相对湿度为 100%； 2)温度高于 40℃时，相对湿度为 70%。
3	倾斜、摇摆条件	在下列船舶倾斜和摇摆条件下应能工作： 1)从安装位置向任意方向倾斜 22.5°； 2)摇摆：横摇±22.5°，全周期 10s；线性垂直加速度±1.0g。
4	振动条件	1)振动频率 2.0～13.2Hz 时，位移振幅值 ±1.0mm。 2)振动频率 13.2～80Hz 时，加速度幅值 ±0.7g。
5	其他条件	应能耐盐雾、凝露、油雾和霉菌的影响。

2)控制箱的绝缘电阻应不小于表 7.3.4—12 所示值。

表 7.3.4—12 控制箱的绝缘电阻值

额定电压 V	试验电压(直流)V	绝缘电阻 MΩ	
		动作性能试验前	耐潮试验后
≤65	250	10	1
>65	500	100	10

3)控制箱带电部件之间及带电部件与箱壳之间应能承受交流高压 1min 的介电强度试验而无击穿或闪络现象。试验电压的频率为 25～100Hz，试验电压见表 7.3.4—13。

介电强度试验后，控制箱的绝缘电阻应不小于 1MΩ。

表 7.3.4—13 电气控制箱的介电强度试验

额　定　电　压V	试　验　电　压　V
≤60	500
>60	2500

4)控制箱在电源的电压和频率出现下列变化时，应能可靠地工作。

(1)交流控制箱：

稳态电压变化为额定电压的±10%和稳态频率同时变化为额率的±5%；或瞬态电压变化为额定电压的±20%和瞬态频率同时变化为额定频率的±10%，恢复时间 3s。

(2)直流控制箱：

电压变化为额定电压的＋6%～－10%。

(3) 蓄电池供电的控制箱：

电压变化为额定电压的＋30%～－25%。

7.2.3 电气控制箱型式试验项目

电气控制箱必须进行下列型式试验：外观检查；动作性能试验；电源波动试验；绝缘性能试验；耐潮性能试验；运转试验；振动试验；倾斜、摇摆试验；外壳防护试验；盐雾试验和长霉试验等。

8 典型舱底油污水分离装置简介

8.1 国产舱底油污水分离装置

近几年来，为了配合国际和国内环境保护法规的贯彻实施，国内对舱底油污水分离装置

的研制和生产较为重视，发展也较快，已有多种型号的产品获得我国船舶检验局型式认可证书。其性能满足船舶排放舱底油污水时含油量低于15mg/L的要求。现将主要几种产品的油水分离装置介绍如下：

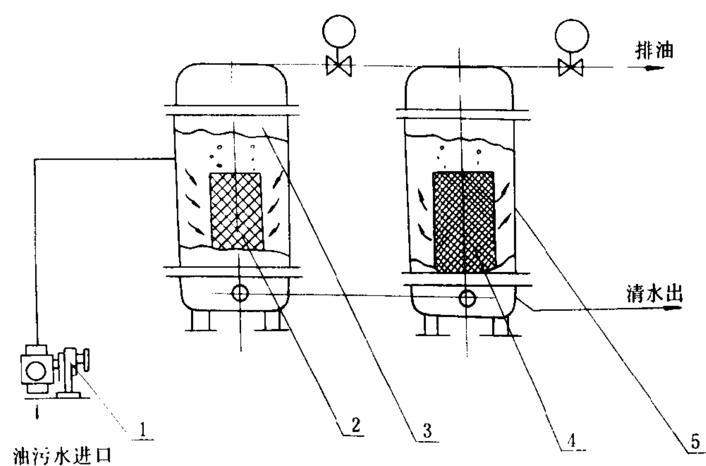


图 7.3.4—13 YSCZ型油水分离装置原理图
1—柱塞泵；2—第一级油滴聚结元件；3—第一级油水分离器筒体；4—第二级油滴聚结元件；5—第二级油水分离器筒体

8.1.1 YSCZ型油水分离装置

油水分离器本体为立式双圆筒型。

8.1.1.1 工作原理（见图 7.3.4—13）

油污水经粗滤器、柱塞泵切向地进入第一级分离器筒体内，形成旋流，由于油和水密度不同，油污水中的粗大油滴上浮与水分离，进入分离筒顶部集油腔。油污水向下由外向内流入第一级油滴聚结元件，再次进行分离。此时油污水的含油量已大大减少。然后，油污水进入第二级分离器筒体内的油滴聚结元件，小油滴从里向外进一步聚结成大油滴后，再次上浮与水分离。处理后达到排放标准的清洁水从第二级分离筒排出。

8.1.1.2 规格和主要参数

YSCZ型油水分离装置的规格和主要参数见表 7.3.4—14。

表 7.3.4—14 **YSCZ型油水分离装置的规格和主要参数**

主要性能 \ 型号规格		YSCZ—0.1	YSCZ—0.25	YSCZ—0.5	YSCZ—1.0	YSCZ—2.0	YSCZ—4.0	YSCZ—5.0
处理能力(m^3/h)		0.1	0.25	0.5	1.0	2.0	4.0	5.0
分离效果(mg/L)		<15						<10
排油方式		自动或手动						
加热方式		电加热						
配套泵		手动活塞泵或电动柱塞泵	电动柱塞泵					
整机耗电功率(kW)		1.0	3.0	4.0	6.0	9	14	14
整机重量(kg)		100	400	550	800	1000	2000	2000
外形尺寸(mm)	长	1200	1330	1590	2055	2280		
	宽	440	650	685	1000	1190		
	高	1225	1450	1600	1870	2250		

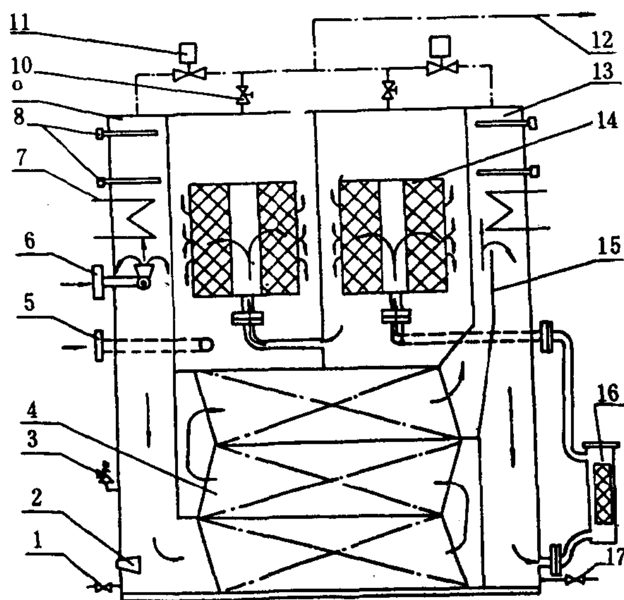


图 7.3.4－14 CYF－B 型油水分离装置原理图
1－泄放阀；2－蒸汽冲洗喷嘴；3－安全阀；4－板式聚结器；5－清洁水排出口；6－油污水进口；7－加热器；8－油位检测器；9－集油室(左)；10－手动排油阀；11－自动排油阀；12－污油排出管；13－集油室(右)；14－纤维聚结器；15－隔板；16－细滤器；17－泄放阀

8.1.2 CYF—B 型油水分离装置

该型油水分离器的本体为立式矩形。

8.1.2.1 工作原理(见图 7.3.4—14)

舱底油污水由配套泵送入油水分离器中的扩散喷嘴后，大颗粒油滴即上浮到左集油室顶部，含有小颗粒油滴的污水向下进入波纹板式聚结器，聚合成较大的油滴上浮至右集油室顶部。含有更小粒径油滴的污水通过细滤器，除去水中部分杂质，顺次进入第一、第二级纤维聚结器，使细小油滴聚结成较大的油滴与水分离，上浮到腔室顶部。清水则由排出口排到舷外。

8.1.2.2 规格及主要参数

CYF—B 型油水分离装置的规格及主要参数见表 7.3.4—15。

表 7.3.4—15 **CYF—B 型油水分离装置规格及主要参数**

主要性能 \ 型号规格		CYF－0.5B	CYF－1B	CYF－2B	CYF－3B	CYF－5B
处理能力(m³/h)		0.5	1.0	2.0	3.0	5.0
分离效果(mg/L)		<15				
排油方式		自动或手动				
加热方式		电加热			蒸汽加热或电加热	
配套泵		单螺杆泵				
整机耗电功率(kW)		4.0	4.0	6.0	6.0	9.0
整机重量(kg)		350	500	800	1000	1300
外形尺寸(mm)	长	250	1300	1400	1530	1870
	宽	520	620	700	850	960
	高	1520	1460	1750	1940	2230

8.1.3 CYSC 型油水分离装置

该型油水分离器本体为立式单筒型。

8.1.3.1 工作原理(见图 7.3.4—15)

油污水由配套泵输入分离器顶部的粗分离室进行初步分离后，进入以多层锥形集油板组成的细分离室，污水从里向外流动，由于集油板的作用，又分离出一部分污油。然后污水再进入精分离室，通过精分离元件后，进入下腔室的聚结器中进行两次聚结分离，净水从底部流出。细分离室和精分离室中的污油沿油上升管进入粗分离室顶部，聚集到一定程度时，由电极发出讯号打开排油阀，污油排到污油柜。

8.1.3.2 规格和主要参数

CYSC 型油水分离装置的规格和主要参数见表 7.3.4—16。

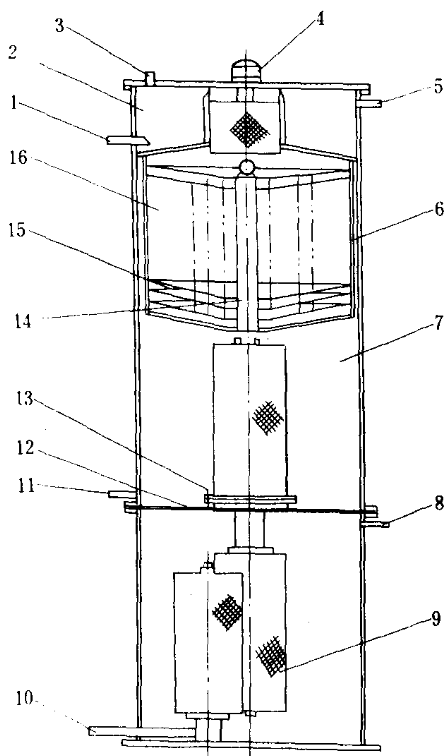


图 7.3.4—15 CYSC 型油水分离装置原理图
1—油污水入口；2—粗分离室；3—排气口；4—油位电极；5—排油口；6—油上升管；7—精分离室；8—排油口；9—聚结元件；10—净水出口；11—放泄管；12—隔板；13—固定螺栓；14—集油管；15—集油板；16—细分离室

表 7.3.4—16 **CYSC 型油水分离装置的规格和主要参数**

主要性能 \ 型号规格		CYSC—0.1	CYSC—0.25	CYSC—0.5	CYSC—1	CYSC—2	CYSC—3	CYSC—5
处理量(m^3/h)		0.1	0.25	0.5	1	2	3	5
分离效果(mg/L)		<15						
排油方式		自 动 或 手 动						
加热方式		电 加 热						
配套泵		电 动 往 复 泵						
泵电机耗电功率(kW)		0.25	0.37	0.37	0.55	0.8	1.1	1.5
整机重量 kg		110	165	220	280	450	816	1218
外形尺寸(mm)	长	690	740	790	850	1010	1180	1370
	宽	540	600	650	700	980	990	1235
	高	1000	1200	1500	1700	1850	2110	2320

8.1.4 ZYF 型油水分离装置

该型油水分离器本体为立式单圆筒形。

8.1.4.1 工作原理(见图 7.3.4—16)

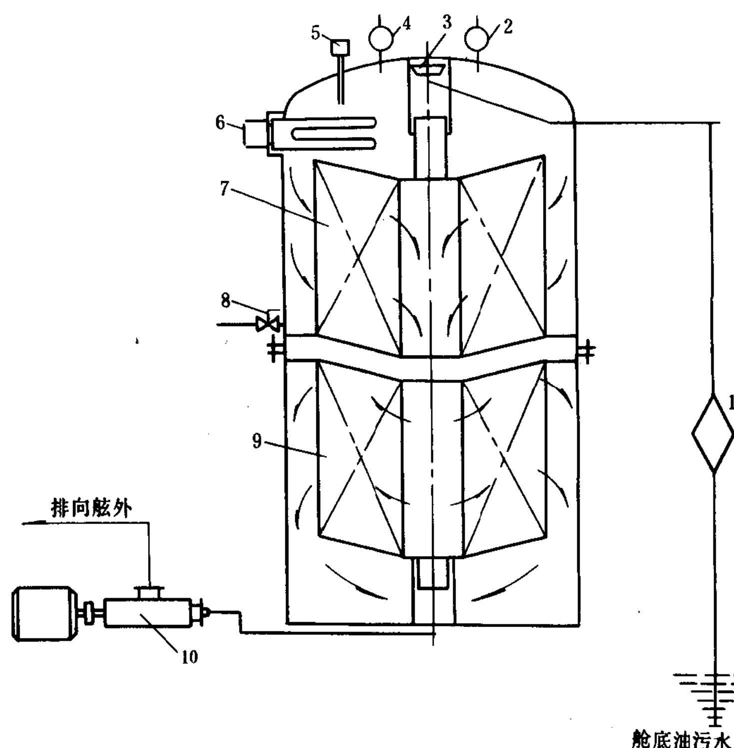


图 7.3.4—16 ZYF 型真空式油水分离装置原理图

1—配套泵；2—第二级聚结器；3—泄放阀；4—第一级聚结器；5—电加热器；6—油位检测器；7—真空压力表；8—喷嘴；9—温度控制器；10—粗滤器

油水分离装置的配套泵首先抽吸油水分离器下部的排出水，使分离器内形成真空，舱底油污水被吸入分离器的顶部，进行初步分离，分离出的大油滴上浮至集油室，污水向下流动，由环形腔进入第一级聚结器和第二级聚结器，使细小油滴聚结成粗大油滴上浮分离、排出水经单螺杆泵升压后，排出舷外。

当污油在集油室中聚集到一定程度后，舱底油污水暂不进入油水分离器，配套泵转换成输送清水，逆向流经聚结器，使分离器内部由真空转变为具有压力，将集油室的污油排向污油舱(柜)。

8.1.4.2 规格和主要参数

ZYF 型真空式油水分离装置的规格和主要参数见表 7.3.4—17。

表 7.3.4—17 **ZYF 型油水分离装置的规格和主要参数**

型号规格 主要性能	ZYF—0.25	ZYF—0.5	ZYF—1	ZYF—3	ZYF—5	ZYF—10
处理量(m^3/h)	0.25	0.5	1	3	5	10
分离效果(mg/L)	<15					
排油方式	自动或手动					
加热方式	电加热					
配套泵	单螺杆泵					

续上表

主要性能 \ 型号规格		ZYF—0.25	ZYF—0.5	ZYF—1	ZYF—3	ZYF—5	ZYF—10
整机耗电功率(kW)		1	3	3	5	5	7
总重量(kg)		250	400	600	800	1100	1500
外形尺寸(mm)	长	480	400	1050	1450	1670	2000
	宽	650	730	1080	1260	1470	1760
	高	1108	820	1600	2180	2440	2720

8.1.5 其他型式的舱底油污水分离装置

国产舱底油污水分离装置尚有下列型号亦已获得船舶检验局的型式试验认可证书。

8.1.5.1 YSFL 型油水分离装置型号和主要参数(见表 7.3.4—18)

表 7.3.4—18 **YSFL 型油水分离装置型号和主要参数**

型号	YSFL—0.5	YSFL—1	YSFL—2
处理量(m^3/h)	0.5	1.0	2.0

8.1.5.2 CYSC 型油水分离装置

CYSC—0.25 油水分离装置主要参数见表 7.3.4—19。

表 7.3.4—19 **CYSC—0.25 油水分离装置主要参数**

型号		CYSC—0.25
处理量 (m^3/h)		0.25
分离效果 (mg/L)		<15
排油方式		自动或手动
配套泵		电动螺杆泵或手摇活塞泵
电源		三相交流 380V 或直流 24V
分离装置干重 (kg)		67
外形尺寸(mm)	长	460
	宽	470
	高	575

8.2 国外舱底油污水分离装置

国外舱底油污水分离装置的型式很多,在我国船舶上使用的典型产品有 TEU 型、OWS 型等数种。

8.2.1 TEU 型油水分离装置

该型油水分离器本体为立式双筒形结构。

8.2.1.1 工作原理(见图 7.3.4—17)

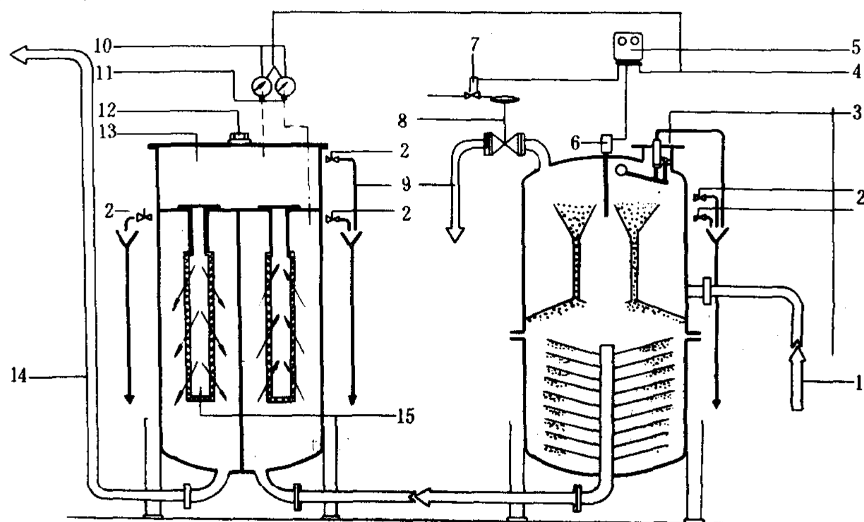


图 7.3.4—17　TEU 型油水分离装置原理图

1—过滤聚结器；2—排水管；3—污油聚结室；4—空气逸出室；5—压力表；6—差压报警电接点；
7—污油排出；8—气动隔膜阀；9—电磁先导阀；10—油位探测器；11—排油控制盒；
12—电源输入；13—空气阀；14—排油及检查旋塞；15—油污水入口

舱底油污水由配套泵输入第一级分离筒的粗分离室内形成旋流，使粗大油滴上浮到顶部集油室，油污水向下流入多层捕集板中，水中部分油滴被捕获并聚结成粗大油滴上浮，与水分离。此时含有较小油滴的污水进入第二级分离筒中两级人造纤维聚结器，进行精分离后，清水由第二级分离筒底部排出。

8.2.1.2　规格和主要参数

TEU 型油水分离装置的规格和主要参数见表 7.3.4—20。

表 7.3.4—20　　**TEU 型油水分离装置规格和主要参数**

主要参数 \ 型号规格		TEU—0.25	TEU—0.5	TEU—1	TEU—2	TEU—5	TEU—10
处理量(m^3/h)		0.25	0.5	1.0	2.0	5.0	10
分离效果(mg/L)		<15					
总重量(kg)		260	420	660	1010	1450	2700
外形尺寸(mm)	长	1040	1215	1280	1470	2150	2765
	宽	680	770	835	895	1150	1555
	高	1040	1050	1410	1735	2150	2640

8.2.2　OWS 型油水分离装置

该型油水分离器本体为三圆筒形结构。

8.2.2.1　工作原理(见图 7.3.4—18)

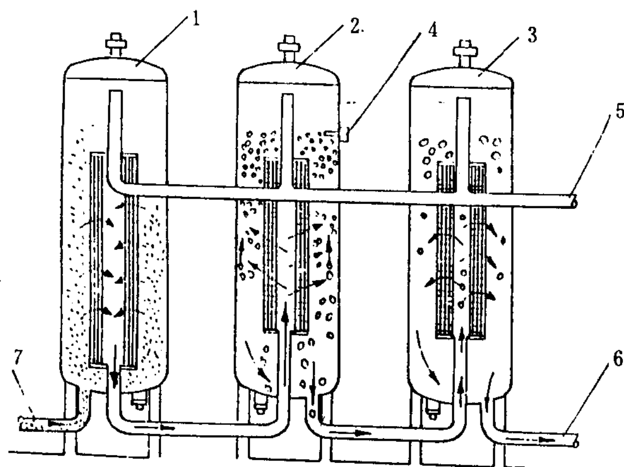


图 7.3.4—18　OWS 型油水分离装置原理图

1—第一级分离筒；2—第二级分离筒；3—第三级分离筒；4—油位电极；5—油排出管；6—清水排出管；7—油污水进口

油水分离装置的配套泵输送舱底油污水到第一级分离筒内，先进行初步的重力分离，再经第一分离筒内的人造纤维预过滤元件的外侧流入内侧。除去污水中的固体杂质。然后油污水经连接管路相继进入第二级、第三级分离筒内的人造纤维聚结元件的内腔，通过聚结材料流向外侧。污水中的微小油滴经两级聚结元件聚结成大油滴上浮，与水体分离。从污水中分离出的污油聚集在各级分离筒上部的集油室中。清水由第三级分离筒下部排出管排出。

8.2.2.2　规格和主要参数

OWS 型油水分离装置规格和主要参数见表 7.3.4—21

表 7.3.4—21　**OWS 型油水分离装置规格和主要参数**

主要参数 \ 型号规格		OWS—5GPM	OWS—10GPM	OWS—20GPM	OWS—60GPM
处理量(m^3/h)		1.14	2.27	4.54	13.6
分离效果(mg/L)		<15			
总重量(kg)		217	300	418	1020
外形尺寸(mm)	长	1320	1320	1500	2790
	宽	760	760	760	860
	高	850	1016	1245	1570

8.2.3　GSF 型油水分离装置

该型油水分离器本体为立式双圆筒形结构。

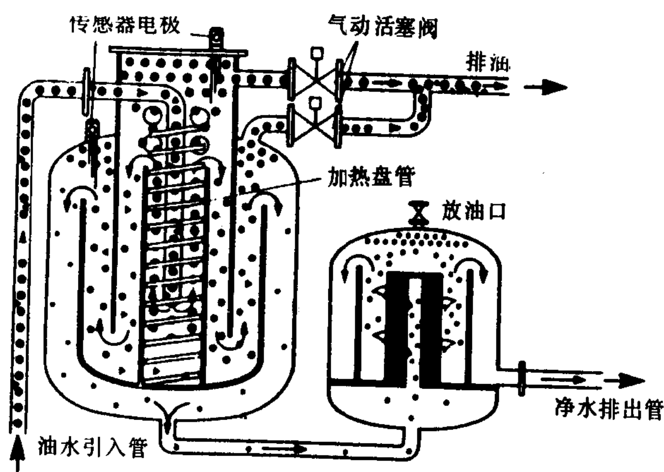


图 7.3.4—19　GSF 型油水分离装置原理图

8.2.3.1　工作原理(见图 7.3.4—19)

油水分离器由两级组成，第一级为重力分离筒，第二级为聚结分离筒。油污水由分离装置的配套螺杆泵先输入重力分离筒，该筒中央设有一组蒸汽加热盘管，油污水经加热后，油的粘度降低，大油滴迅速上浮到集油室中，而污水再经两个同心圆筒曲折流动，使其中的细小油滴碰撞聚结成大油滴上浮到该筒的第二集油室。离开重力分离筒的污水进入第二级分离筒的聚结器，使污水剩余的小油滴进一步聚结成大油滴与水体分离。

8.2.3.2 规格和主要参数

GSF 型油水分离装置的规格和主要参数见表 7.3.4—22。

表 7.3.4—22　　**GSF 型油水分离装置的规格及主要参数表**

主要参数 \ 型号规格		GPF—0.25	GSF—0.5	GSF—1	GSF—2.5	GSF—5	GSF—7.5	GSF—10
处理量(m^3/h)		0.25	0.5	1.0	2.5	5.0	7.5	10
分离效果(mg/L)		<15						
排油方式		自动或手动						
配套泵		单螺杆泵						
加热方式		蒸汽加热						
总重量(kg)		160	190	354	580	930	1200	1440
外形尺寸(mm)	长	750	800	985	1330	1800	2000	2500
	宽	465	490	610	860	1050	1300	1500
	高	740	848	1170	1540	1720	1800	2025

8.3 舱底油污水分离装置的选型

舱底油污水分离装置的选型要点如下：

1)应选用获得验船部门型式认可的油水分离装置产品。国内外港监、航政部门对未获得验船部门型式认可的油水分离装置不允许装船使用。

2)以安全可靠、使用维修方便为前提，选择结构紧凑、外形尺寸小的产品。

3)舱底油污水进入油水分离装置前，虽然要经过滤器，但污水中的细小杂质仍会进入分离器的聚结器中。在选型时，要求油水分离装置的聚结元件能自动反冲洗而不需更换，或聚结元件使用周期较长，更换较方便。

4)根据本章表 7.3.4—6 和表 7.3.4—7 选择舱底油污水分离装置处理量。

5)船舶主机燃用凝固点高、粘度高的重质柴油或渣油时，选用的舱底油污水分离装置应具有加热器；主机燃用轻柴油的船舶，其油水分离装置可不需设加热器。

6)自动控制方面：

(1)凡用于无人值班机舱等船舶上的舱底油污水分离装置应具有自动排油、温度控制、配套泵保护控制的功能。并应配备 15mg/L 油分浓度报警器。

小型船舶选用舱底油污水分离装置时，可选用简化的控制系统。

(2)自动排油阀的口径小于 25mm 时，可选用电磁阀；自动排油阀口径大于 25mm 时，选用气动排油阀较为可靠。

9 舱底油污水分离装置的型式认可

为保证油水分离装置具有良好的分离效果和检验其自动控制装置的工作能力，对工厂生产的油水分离装置均需按统一的标准或规范进行型式认可。

9.1 型式认可的程序和要求

由油水分离装置制造厂向验船部门提出型式认可的申请书，并提交下列文件资料：

1)油水分离装置的设计图纸和计算书；

2)系统原理图和电气控制箱原理图；

3)主要零件的技术条件；

4)交货验收技术条件；

5)性能试验与出厂试验大纲；

6) 出厂技术条件(质量证明书等)；

7)使用与保养说明书。

验船部门审查后，并派代表到现场考察和参加样机型式试验，检验试验性能符合规定要求后，由船舶检验局发给型式认可证书。

9.2 型式试验

9.2.1 主要分离元件的浸泡试验

1)对油水分离装置中用于油滴过滤、聚结和吸附的分油元件应在下列油品和水中分别加温浸泡，以考察分油元件是否耐油、耐水。

(1)重质燃料油 在15℃时的密度约0.94，在37.8℃时，粘度不小于$2.2\times10^{-4}m^2/s$；

(2)轻柴油 在15℃时的密度约0.83；

(3)淡水和海水。

2)浸泡温度均不低于55℃，对于不设加热器的分离器，其分油元件的浸泡温度不低于30℃。

3)在油品中浸泡时间为100h，在水中浸泡时间为72h，浸泡后的分油元件应无明显的膨胀、脱开和腐蚀现象。

9.2.2 电气控制箱试验

电气控制箱主要进行温度、湿度、倾斜、摇摆、振动等环境条件试验、绝缘电阻试验，以及盐雾试验、长霉试验等。

9.2.3 配套泵试验

舱底油污水分离装置的配套泵应进行额定处理量(即泵排量)、压力及吸入性能试验。

9.2.4 油水分离装置型式性能试验

油水分离装置的首制产品及投产四年后仍批量生产的产品，应进行型式性能试验。对于整个系列的产品，只需对系列中最低$\frac{1}{4}$和最高$\frac{1}{4}$范围内选取两种规格进行试验。也可以由验船部门任选两种规格进行该项性能试验。

9.2.4.1 型式性能试验方法

1)试验系统

试验系统由水柜、油柜、倾斜试验装置、油水量调节计量装置、压力计、温度计、取样装置、空气吸入装置、排水观察窗及管路等组成。

试验用的泵可直接采用分离装置的配套泵。如无配套泵则须用转速为1000r/min以上的离心泵供给油水混合液。此离心泵的排量应大于分离装置处理量的1.5倍，泵的多余排量可用旁通管消除。试验系统见图7.3.4—20和图7.3.4—21。

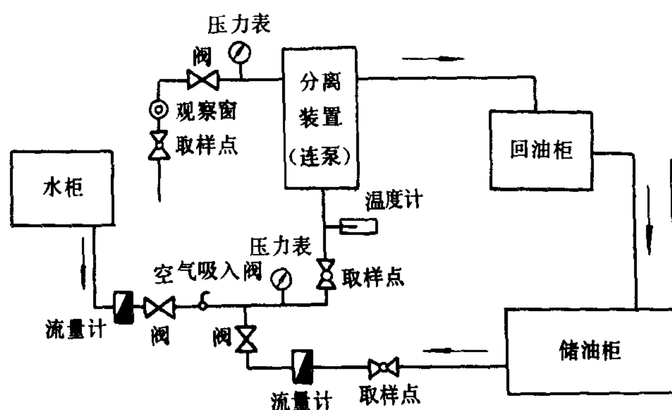


图7.3.4—20 用专用配套泵的试验系统图

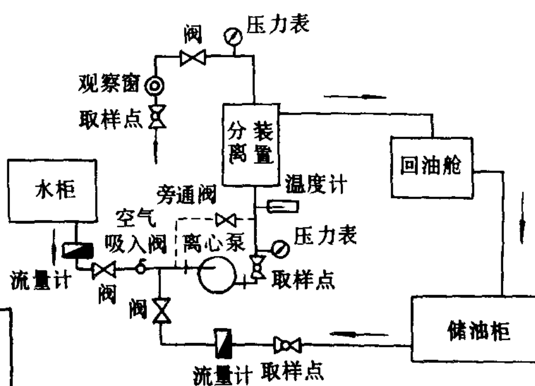


图7.3.4—21 用离心泵的试验系统图

2)取样装置

在油水分离装置入口和排水的垂直管路上应分别设置如图7.3.4—22所示的取样装置。

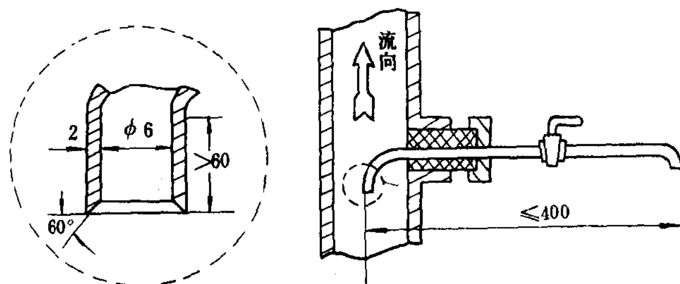


图7.3.4—22 取样装置图

9.2.4.2 试验条件及要求

油水分离装置型式性能试验的条件及要求见表7.3.4—23。

表7.3.4—23 **油水分离装置型式性能试验条件及要求**

项　　目	要　求　内　容	小型船舶油水分离装置的不同要求
试验用油	(1)在15℃时密度约为0.94，在37.8℃时，运动粘度大于$2.2\times10^{-4}m^2/s$的燃料油 (2)在15℃时，密度约为0.83的轻柴油在试验前，应对试验用油种进行测定	免除燃料油试验

续上表

项　目	要 求 内 容	小型船舶油水分离装置的不同要求
试验用水	应用清水，在15℃的密度与上述燃料油的密度差不得超过0.085	
输入分离装置的油水混合液	(1)温度应在10～30℃范围内； (2)进口流速为1～3m/s，其雷诺数以淡水计算应大于10000； (3)输入分离装置的油水混合液在处理过程中不得进行稀释； (4)输入分离装置的油水比例由流量计测定	常　温
管　路	(1)从油注入口到该设备的管路长度应不小于其直径的20倍； (2)除分离装置本身的滤器外，在泵出口和分离器入口之间的管路上不得另设滤器	
油水分离装置的状态	(1)平放 (2)从安装位置向任意方向倾斜22.5°； (3)在整个试验过程中不得中途停顿、维修或更换零部件	小船用油水分离装置要求从安装位置向任意方向倾斜10°
出口背压	处理量大于$1m^3/h$的分离装置出口背压须大于1.2×10^5Pa，处理量不大于$1m^3/h$的分离装置出口背压不小于0.7×10^5Pa	
取　样	每次取样前，应打开取样旋塞放泄1min以上，然后按等动力方式取样	
样　品	(1)盛装试样的瓶子应在验船部门的代表在场时密封和标签* (2)由验船部门指定的单位进行分析	

* 等动力方式取样可用控制取样的时间来达到。

取样时间用下式计算：

$$t=\frac{VR^2}{Qr^2} \qquad (7.3.4-4)$$

式中：t ——取样时间，s；

V ——样品容积，mL；

Q ——装置水管中的流量，mL/s；

R ——装置水管内半径，cm；

r ——取样管内半径，r=0.3cm。

9.2.4.3 型式性能试验程序

油水分离装置型式性能试验程序见图 7.3.4－23。

对现有船舶上原有的 100mg/L 油水分离装置，如技术状态比较满意，又要加装粗粒化聚结器达到排出水含油量低于 15mg/L 时，按国际海事组织 A·444(XI)规定，此种粗粒化聚结器型式试验内容见表 7.3.4－24 所示。

表 7.3.4－24　**粗粒化聚结器型式性能试验内容**

试验用油	进水含油量(mg/L)	试验时间(h)	取样时间及次数	试验用泵
轻柴油	3000	3	每隔 1h 取样一次，至少三次	10000r/min 以上的离心泵
燃料油	3000	3		

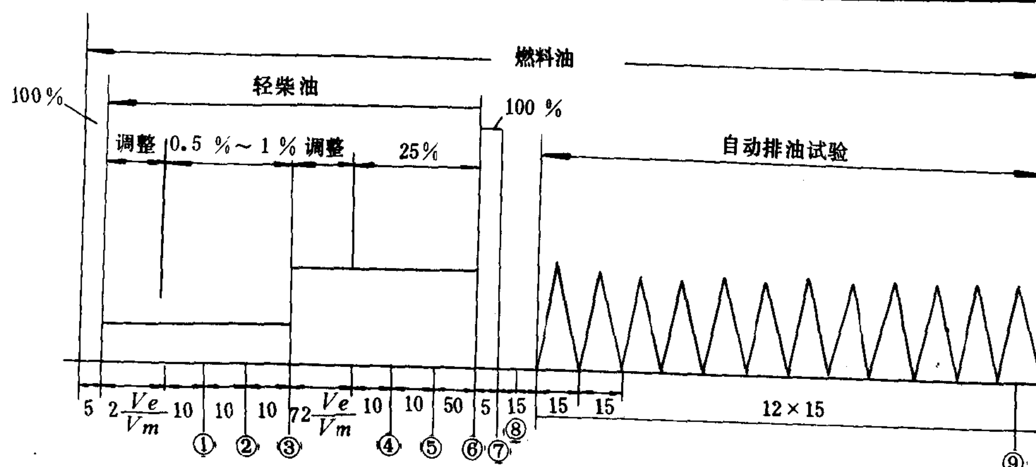


图 7.3.4－23　船用油水分离装置型式性能试验程序图

注：序号①②……⑨为取样顺序。

V_e——油水分离器容积，m³/h；

V_m——油水分离装置的额定处理量，m³/h。

10　油分浓度报警器

油分浓度报警器可以对舱底油污水分离装置排出水的含油量进行连续监测，当排出水的含油量超过 15mg/L 时发出警报，同时使排向舷外水的阀门关闭，排出水回流到污水舱内。

10.1　常用的油分浓度监测方法

10.1.1　光学浊度法

利用超声波等物理方法，使油水混合液均匀乳化和分散，由一定亮度的稳定光束照射油污水样液，光线发生散射，散射光的强度与样液中的浊度成正比。图 7.3.4－24 为超声波油份浓度报警器原理图。

来自油水分离装置排出水的样液由泵 7 吸入，经过电磁阀 8 进入试样槽，由超声振动器将样液振荡成均匀的乳浊液，利用其中微小油滴对散射光的影响，测定样液中的含油量。含油量与浊度成正比，即浊度高，样液中含油量亦高；浊度低，含油量亦低。浊度的高低，藉透射光和散射光的强度测得。

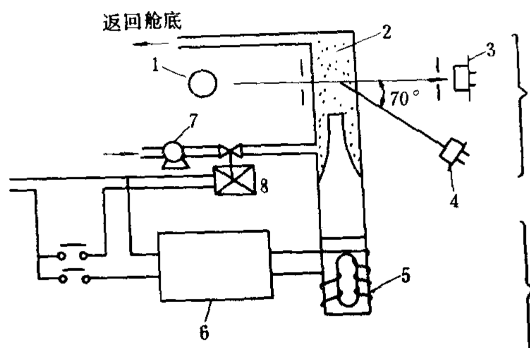


图 7.3.4－24 超声波油分浓度报警器原理图

1－光源；2－试样液管；3－透射光敏电阻；4－散射光光敏电阻；5－压电换能器；6－超声波发生器；7－泵；8－电磁阀

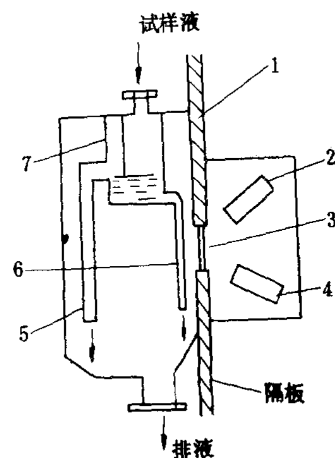


图 7.3.4－25 紫外荧光油分浓度报警器原理图

1－隔板；2－紫外光发生器；3－窗口；4－光接收器；5－溢流管；6－水膜；7－顶箱

10.1.2 紫外荧光法

用一定波长的紫外线照射石油烃类，能产生荧光，而水不能产生荧光，根据产生的荧光强度，测定油污水中的含油浓度。图 7.3.4－25 为紫外荧光油分浓度报警器原理图。

被测样液经扁平槽口呈膜状自然下流，紫外光源照射在水膜上，所产生的荧光用光电倍增管放大和测定。

10.1.3 红外吸收法

用四氯化碳或氟利昂溶剂萃取水中油分，使油水分离，然后以波长 3.4～3.5μm 的红外光照射萃取液。此时萃取液中的油分就使该波长的红外光呈现一定的吸收峯，吸收峯与透光率呈线性关系。根据透光率求出吸光度，可依据比耳定律测定萃取液中的含油量，图 7.3.4－26 为红外吸收油分浓度计原理图。

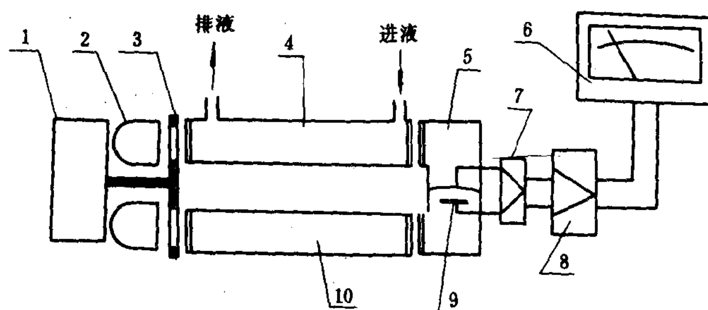


图 7.3.4－26 红外吸收油分浓度计原理图

1－同步电机；2－红外光源；3－切光片；4－分析室；5－检测室；6－指示表头；7－前置放大器；8－主放大器；9－电容微音器；10－参比室

红外光源 2 由两个几何形状和物理参数相同的镍铬金金丝构成，通过 1.35A 的恒定电流使辐射器发热至 700～800℃，并产生红外辐射。两束红外线辐射由反射镜聚成两束平行光束，一束通过分析室 4 到达检测室 5，另一束通过参比室 10 到达检测室。在检测室内装有电容微

音器 9，参比室内充有不吸收红外辐射的氮气。当分析室内灌满纯的四氯化碳时，由于四氯化碳对 3.5μm 的红外辐射没有响应，因此，分析室内不吸收红外辐射。故检测室对上述两者红外辐射能量接收相等，电容微音器的膜片保持平衡，分析器无信号输出，指示表头处于零位。

当含有石油的四氯化碳注入分析室，石油吸收一部分红外辐射能，使辐射能变小，温度降低、压力下降，而通过参比室的辐射能量保持不变，因而使检测室内被电容微音器膜片隔开的两个辐射接收室之间的温度和压力造成差别，使电容微音器的薄膜发生振动，并产生信号。信号经前置放大器和主放大器放大后，由指示表头显示出油分浓度值。当油污水含油量大于 15mg/L 时，就发出警报。

10.2 船用油分浓度报警器技术要求

10.2.1 船用油分浓度报警器的环境条件要求与油水分离装置电气控制箱的要求相同，见本章第 7.2.2 的 1)条内容。

10.2.2 技术性能要求

船用油分浓度报警器技术性能要求见表 7.3.4—25

表 7.3.4—25 **船用油分浓度报警器技术性能要求**

序号	项目	内容
1	测量精度	15±5mg/L
2	反应时间	从供给清水改变到大于 15mg/L 的含油水开始，到 15mg/L 报警器的时间不应超过 20s
3	油种影响	测量精度不受油种影响。
4	试样液的压力或流量	在正常值的一半到正常值的二倍范围内应能正常工作。
5	发生断水现象	在连续运转中，如发生断水现象，待恢复供水后应能正常工作。
6	停机时间	停机一周后，应仍能正常工作。
7	试验中固体杂质	设计的油分浓度报警器应考虑舱底油污水中含泥沙、铁锈等杂质的影响，其测量精度应达到 15±5mg/L。
8	辅助动力源要求(气压或液压)	在其设计值的 110%至 90%范围内波动，应能正常工作。
9	电源电压和频率的变化范围	在静态电压偏离额定值±10%，瞬时电压偏离额定值±20%，恢复时间为 3s 时应能正常工作； 在静态频率偏离额定值±5%，瞬时频率偏离额定值±10%，恢复时间为 3s 时应能正常工作。

10.3 油分浓度报警器的型式认可

首制的油分浓度报警器向验船部门申请型式认可时，除提交必要的设计图纸、技术文件进行审查外，还必须将产品型式试验内容包括环境条件试验和性能试验。

船用油分浓度计或报警器性能试验方法见表 7.3.4—26。

表 7.3.4—26　　　　油分浓度计(或报警器)性能试验方法

序号	试验项目	试验方法和步骤	性能要求
1	精度试验	1.用无油清水校正油分计的零点 2.供给 15mg/L 油水样液,待指示值稳定后,在此浓度下持续试验 15min,并对油水样液进行油分浓度测定	测量精度应在 15±5mg/L 范围内。
2	反应时间测定	1.向油分计供给 15min 清水 2.改供给 20～25mg/L 油水样液,至指示值上升到 15mg/L 并处于报警状态的时间为反应时间	反应时间不大于 20s
3	试验压力或流量变化试验	1.向油分计供给 15mg/L 油水样液 2.分别将样液压力或流量调整到正常值的 50%,100%和 200%进行试验,每种压力或流量工况各进行 15min,记录油分计指示值的任何变化 (注:配置容积式输样泵应做压力变化试验;配置离心式输液泵或不配置输液泵的油分计应做流量变化试验。)	1.测量精度应在 15±5mg/L 范围内 2.反应时间不大于 20s
4	连续 8 h 工作试验	1.向油分计供给 15mg/L 油水样液,持续 8h,在此期间内,应记录指示值的任何偏差 2.8h 后,改供清水,记录零点偏移	1.测量精度应在 15±5mg/L 范围内 2.反应时间不大于 20s
5	停止供液试验	1.向油分计供给 15mg/L 油水样液,待正常运转后,切断样液 2.8h 后,再供给样液	记录前后指示值的任何变化,检查油分计有无损坏
6	停机试验	1.向油分计供给 15mg/L 油水样液 2.待其正常工作后,同时切断油分计的供电和供液 3.停机 7h 后,经暖机和校正后,供给油分计 15mg/L 油水样液 1h 4.重复 1.2.两步骤,再切断油分计的供电和供液 5.停机 7h 后,经暖机和校正后,供给清水 1h	1.测量精度应在 15±5mg/L 2.反应时间不大于 20s
7	杂质混合液试验	1.向油分计供给 15mg/L 油水样液 15min 2.改供含油 15mg/L,含高岭土50mg/L,含四氯化三铁 6mg/L,含碳素 2.5mg/L(相当于碳素墨水 42mg/L)的混合液 15min 记录指示值的任何偏差	测量精度应在 15±5mg/L 的范围内

10.4 油分浓度报警器产品概况

10.4.1 国产油分浓度报警器的产品情况

我国已研制成功的船用油分浓度报警器技术性能见表 7.3.4—27。

表 7.3.4－27　　国产油分浓度报警器的型号和技术性能

型　　号		GQS－177*	Y69－005*		YJ－1
采用原理		光学浊度法	光学浊度法(超声波)		紫外荧光
精度(mg/L)		15±5	15±5	15±5	15±5
反应时间(s)		<20	<20	<20	<20
指示方式		连续监测	连续监测	连续监测	连续监测
消耗功率(W)		100	≤120	200	250
电　源	AC,V	220	220±22	220±10%	220±10%
	Hz	50	50	50	50
仪器尺寸(mm) 长×宽×高		400×360×300	440×420×260		500×280×680
重量(kg)		15	21	25	40

*　该产品已获船舶检验局型式认可证书。其余产品正在申请型式认可证书。

10.4.2　国外油分浓度报警器产品概况

国外生产的油分浓度报警器型号很多，在我国海船和远洋船舶上与舱底油水分离装置配套使用的常见产品为：光学浊度法中有日本的 ET－25 型，BA－1 型产品；英国的 OSM 型产品；紫外荧光法中有美国或英国的 OTM－4 型产品。红外吸收法中有日本的 OCMA－34 型产品。

10.5　油分浓度报警器的选型

红外吸收法、紫外荧光法及光学浊度法都能满足油分浓度报警器测试精度为 15±5mg/L 的要求。它们的优缺点如表 7.3.4－28 所示。

表 7.3.4－28　　油分浓度监测方法的优缺点比较

监测法＼优缺点	优　缺　点
红外吸收法	(1)测试精度稍高；
	(2)需对各种油种绘制不同的标准曲线；
	(3)不能直接测定油污水的含油量，需用四氯化碳或氟里昂溶剂萃取；
	(4)装置较复杂；
	(5)尺寸较大。
紫外荧光法	(1)测试精度较高；
	(2)可以直接测定油污水中的含油量；
	(3)结构简单；
	(4)装置较小；
	(5)对不同油种需绘制不同的标准曲线。
光学浊度法	(1)可以直接测定油污水中的含油量；
	(2)结构简单；
	(3)装置尺度较小；
	(4)易受油分以外的杂质影响，引起测量误差。

目前船用油分浓度报警器较多选用光学浊度法，紫外荧光法次之，而红外吸收法多半用于试验室中，配合油水分离装置试验，进行含油量的自动分析。

11　舱底油污水分离装置的安装

11.1　在机舱中的布置

油水分离装置在机舱中的布置和管系图见图 7.3.4－27。

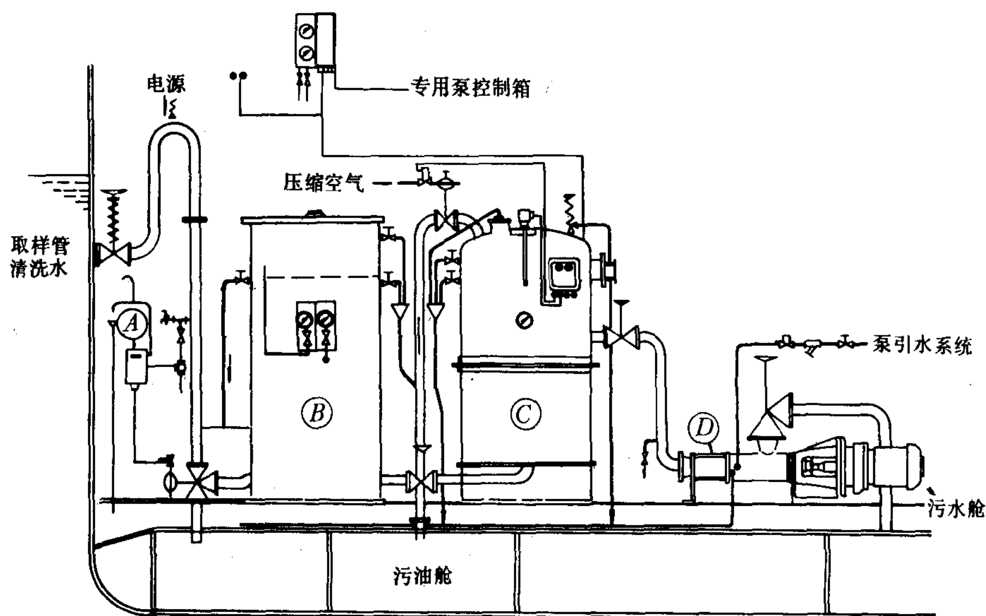


图 7.3.4－27　油水分离装置在机舱中的布置及管系图

A－油分报警器；B－第二级分离筒；

11.2　安装位置及主要管系要求

11.2.1　安装位置要求

1)安装位置应尽量靠近油污水舱或污水井。

2)油水分离装置的前面应留出适当地位，以便操作维修；油水分离器顶部空间要留有一定高度，供拆卸吊装。

3)应尽可能远离振源；若安装处振动过大，影响分离效果及可靠性时，应考虑适当的减振措施。

4)若装设在可燃气体处所，应符合该处的安全条件。

11.2.2　吸入系统要求

1)为了保证油污水能被泵顺利吸入，应单独设置与配套泵口径相同的吸入管系，不得直接与大口径舱底水总管接通。吸入管应尽可能短而直，接头不宜过多，严格防止漏气。吸入系统需进行密封性试验。

2)配套泵前的吸入管路中应设置粗滤器。其安装位置应便于清洗。内河小型船舶或舱底水中泥沙较多的船舶(如矿砂船、挖泥船)，还应在粗滤器前设置泥箱。

3)除油水分离装置的配套泵外，不得将舱底水泵、总用泵的排出口与油水分离装置入口接

通。

4)油水分离装置的配套泵吸口应有一端与海水管或清水管接通，作为泵的引水、首次使用油水分离器的注水、或日常的反冲洗用水。

5)油水分离装置的油污水吸口距污水井或污水舱舱底的距离不应小于 200mm，以减少泥沙杂质等被吸上。

11.2.3 排水系统

(1)为了防止油水分离装置停止工作时产生虹吸现象，使油水分离器内水位下降或排空，最好在分离装置的排水口前装一排水背压阀。当分离装置排出水具有一定压力时，背压阀开启，排出水经此阀排向舷外；而当油水分离装置停止工作时，背压阀在弹簧力的作用下立刻自行关闭。

如油水分离装置排出系统上未装背压阀，则通向舷外的排水管最高点应高于分离器顶部 1m 以上，如图 7.3.4—27 所示。

(2)油水分离装置的出水管路上应安装止回阀，以防舷外水(海水或江水)倒灌。

11.2.4 排油系统

污油柜应尽量靠近油水分离装置，并应低于油水分离装置排油口高度。排油管系应能使油自由排出。

12 舱底油污水分离装置的使用和维修

轮机操作管理人员在使用油水分离装置之前，应根据产品的使用维护说明书，了解分离装置的工作原理、运行及维护要求等。

12.1 首次启动的检查及准备

1)首先检查油水分离装置的水、油、气源系统及电气线路，安装是否正确，配套泵的转向是否符合箭头指示方向。

2)打开出水、排油、泵前引水管系及吸入清水(海水或淡水)管系上的阀，关闭舱底油污水吸入阀。

3)接通电源，启动配套泵的电机，向油水分离装置内供水。

4)将油水分离器顶部空气阀打开，在供水过程中使空气逸出。此时自动排油黄灯应亮，直至顶部空气阀中有水溢出，表明分离器内水已注满。排油指示黄灯应自动熄灭。

5)关闭清水阀，打开舱底油污水吸入管系上的阀，由配套泵将舱底油污水输入分离装置进行分离处理，同时消除进出水系统上的任何泄漏。

12.2 运行中注意事项

1)调整排出水管路上阀的开度，保持分离器内具有一定压力，以利分离器内污油排出。

2)观察压力表、真空表等指示值是否正常，探测配套泵轴承表面温度是否在容许的范围内。

3)设有电加热器温度自动控制的分离装置，应注意分离器上的温度表，以防过热产生故障，严禁分离器内无水时启动加热器。

4)观察处理后的排出水质和油分浓度报警器的工作情况。

5)无自动控制停泵设施的分离装置，应注意舱底油污水吸空前及时停泵，避免配套泵（螺杆泵）无水干运转而烧坏。

12.3 维 护

1)应定期清洗吸入管系上的粗滤器（如油水分离装置设有配套泵的高真空保护系统，真空表指示值上升，即表明粗滤器堵塞）。

2)定期打开分离器底部放泄阀，排除沉淀在分离器下部的泥沙杂质。

3)及时清洗分离器内部分离元件，尤其是因故障使分离器内部油污染，反冲洗仍无效果时，应拆开清洗、切忌用清洗剂清洗分离器内壁及分离元件。

4)出现故障时，应查明原因并及时排除，失效的聚结元件（根据聚结元件前后压差或出水水质判断）应及时更换。

12.4 常见故障

舱底油水分离装置使用中常见故障及其原因见表 7.3.4－29。

表 7.3.4－29 **油水分离装置常见故障及其原因**

序号	故障现象	原因
1	排出水的含油量超过标准	1)排油控制系统失效，分离出的污油未及时排出，连同排出水一起流出分离器 2)聚结元件失效；或聚结元件与支座联结不严密，污水短路不经聚结元件 3)专用配套螺杆泵橡胶衬套磨损，容积效率下降，使油水乳化，分离效率降低
2	安全阀起跳	1)排油气动隔膜出现故障，或气源压力不足，致使排出水管系上背压阀关闭 2)聚结器或细滤器严重堵塞
3	配套泵排量降低	1)泵前吸入系统中粗滤器堵塞 2)吸入水底阀堵塞 3)泵轴密封泄漏 4)泵进、出水阀未全开 5)配套螺杆泵严重磨损，容积效率下降 6)泵内有异物
4	排油管向污油舱（柜）排水	1)油位检测器粘附油污 2)空气漏入集油室
5	排油时间短，动作频繁	1)吸水系统或配套泵轴密封漏气，空气在分离器集油室中集聚 2)低油位检测器全部被污油粘附包住
6	油位检测器正常，但仍不能正常排油	1)集油室污油乳化严重 2)可能是检测器与分离器壳体短路

续上表

序号	故障现象	原因
7	油位检测器工作正常，但电磁阀不动作	1)继电器触头接触不良 2)电磁阀线包断线
8	集油室温度不上升	1)加热器保险丝断 2)加热器电阻丝断 3)交流接触器接触不良 4)中间继电器接触不良 5)电接点温度表中温度指针与低温度指针接触不良
9	压力表压差明显升高	滤器堵塞

参考文献

[1] 朱树文：船舶动力装置原理与设计，国防工业出版社，1980年9月

[2] 中国船舶及海洋工程设计研究院：船舶管系译文集，泵和管系布置指南，1981年4月，1982年3月

[3] 中华人民共和国船舶检验局：钢质海船入级与建造规范及其修改通报，海船防污染结构与设备规范，人民交通出版社，1983年及1986年

[4] 国际海事组织：1973年国际防止船舶造成污染公约及其1978年议定书附则1防止油污规则，1966年国际船舶，1974年国际海上人命安全公约及其1978年议定书，1981年和1983年修正案

[5] GB 3552－83 船舶污染物排放标准、GB 4795－84 船用舱底油污水分离装置额定处理量系列参数，技术条件、试验方法及分析方法，中华人民共和国国家标准

[6] J·Crawford：Marine and aff shore pumping and piping systems

第4篇　船舶生活污水和垃圾处理系统

第1章　船舶生活污水处理系统

1　船舶生活污水的定义

根据中国船舶检验局《海船防污染结构与设备规范》和73/78防污公约附则IV(附则IV尚未生效)规定，生活污水系指：

1)来自任何形式的厕所、小便池以及厕所排水孔的排出物和其它废弃物；

2)医务室(病房、药房等)的面盆和这些排水孔的排出物；

3)装有活的动物处所的排出物；

4)混有上述排出物的其它废水。

2　排放船舶生活污水的有关规范和公约

中国《规范》和73/78防污公约对船舶生活污水的排放和设备的要求，重点介绍如下。

2.1　船舶排放生活污水的一般规定

1)船舶在距最近陆地4n mile以外，使用经主管机关认可的设备，排放经过粉碎和消毒的生活污水，或在距最近陆地12n mile以外排放未经粉碎和消毒的生活污水。但不论在哪种情况，不得将集污舱中的生活污水顷刻排放，而应在航行途中，船速不少于4kn，以中等速率进行排放。

2)船上备有经主管机关认可的生活污水处理装置在运转，同时排出的污水在周围的水域中不产生可见的漂浮固体，也不使水域变色。

3)如船舶在某一国家所管辖的水域内，按照该国可能实施的稍宽的要求排放生活污水。

4)上述要求对下列情况例外：

从船上排放生活污水，是为了保障船舶及船上人员安全或救护海上人命所必需者；或由于船舶或其设备受损而排放生活污水，如果在发生损坏以前和以后，已采取了一切合理的预防措施来防止排放或使其排放减至最低限度。

2.2　设备要求

上述生活污水的排放，船舶应装有如下的设备：

1)在距最近陆地4n. mile以内排放生活污水时，应装有生活污水处理装置，该装置的性能

和试验程序应符合国际海事组织环保会决议 MEPCZ(VI)《生活污水处理装置国际排放标准和性能试验规程》的规定，并经按环保会决议 MEPCG/wp[3]《生活污水处理装置型式试验和认可准则》的要求进行过型式认可者。

2)如只需在距最近陆地 4n mile 以外排放生活污水，船舶应装有把生活污水进行粉碎和消毒的装置，该装置须经主管机关认可；

3)如只需在距最近陆地 12n. mile 以外排放生活污水，可只设集污舱柜。该舱柜应考虑该船在运行情况时，船上人数以及其他有关的因素具有足够储存生活污水的全部容量，并经验船部门审查同意。集污舱柜应设有观察生活污水液位的装置。

4)船上应设有便于将生活污水排往接收设备的管路，同时该管路上应装有规定的生活污水标准排放接头。

2.3 标准排放接头

为了使接收设备的管子能与船上生活污水的排放管路连接，必需设有标准排放接头。其法兰应设计为能接收最大内径不大于 100mm 的管子，以钢或其它同等材料制成，表面平整，其规格尺寸如表 7.4.1－1 所示，这种法兰连同适当的垫圈应能承受 0.6MPa 的工作压力。

表 7.4.1－1　　生活污水标准排放接头

项　　目	尺　　寸
外径	210mm
内径	按管子外径
螺栓节圆直径	170mm
法兰槽口	直径为 18mm 的孔 4 个，等距分布在直径∅170mm 的圆周上；槽口开至法兰外缘，槽口宽 18mm。
法兰厚度	16mm
螺栓和螺母数量直径	4 个，直径：16mm，长度适当。

对于型深为 5m 和小于 5m 的船舶，排放接头内径可为 38mm。

2.4 生活污水处理装置污水排放标准

在主管部门为污水处理装置进行型式试验鉴定时，装置必须满足下列排放标准：

1)大肠杆菌标准：

用多重管复发酵分析或等效分析步骤测定在试验期间采集的一些排放水试样，其大肠杆菌几何平均值的最近似数(M.P.N)每 100ml 不得超过 250 个。

2)悬浮固体标准：

(1)当设备在陆上试验时，在试验期间采集的排放水试样，其总悬浮固体量的几何平均值不得超过 50mg/l。

(2)当设备在船上试验时，在试验期间采集的排放水试样，其总悬浮固体量的几何平均值不得高于冲洗用环境水的 100mg/l。

悬浮固体的分析必须根据主管当局认可的称重法进行。

(3)除上述标准外，此装置应设计成：其试验期间采集的排放水试样，其 5 天生化需氧量(BOD_5)的几何平均值不大于 50mg/l。主管当局要求污水处理装置设计成能降低溶解性和非

溶解性有机物质，以符合本要求。

美国将上述标准分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ型。Ⅰ型：大肠杆菌数量的算术平均值每100ml不得超过1000个，并无可见悬浮固体。Ⅱ型：大肠杆菌每100ml不得超过200个，悬浮固体不能超过150mg/l；但对生化耗氧量无具体要求。Ⅲ型装置是指防止向舷外排放那些处理或未处理过的污水或采集废物的污水向舷外排放的装置。

2.5 检验和发证

2.5.1 检验种类

1)初次检验：是对船舶生活污水系统的布置及其设备进行一次全面的检查和试验，以保证一次能够签发《防止生活污水污染证书》。

2)定期检验：是从首次发给或以后换发《防止生活污水污染证书》之日起，为期不超过5年的检验。

2.5.2 签发证书

凡航行前往其他缔约国(指参加73/78防污公约附则Ⅳ的缔约国)或对船舶污水有严格要求的国家所管辖港口的船舶，经船舶所有人提出申请，由船检局验船师检验合格后，发给《防止生活污水污染证书》。对非缔约国或国内沿海航行及港内船舶，也按同样手续办理。

证书的有效期：自签发之日起不得超过5年。

证书期满时，如国际航行船舶不在其管辖的港口，则可将该证书延期。但这种延期只有为了让该船航行到达船旗国或预定进行检验的港口，而且只有在正当和合理的理由时，才能给予延期。

证书的延期期限不得超过5个月。取得这种延期的船舶，在抵达其船旗国或预定进行检验港口后，不得凭藉这种延期尚未届满而在未取得新的证书前驶离该港或该国。

未经根据上述规定延期的证书，验船部门可给予证书期满3日起最多1个月的宽限期。

3 生物化学处理装置

这种处理方法是利用活性污泥的特性进行污水处理，活性污泥是以好气细菌为主体并有污水中的有机性和无机性浮游物以及种种原生动物、后生动物、藻类等附着而成的物体。其组成极为复杂。好气细菌有强大的吸取力和分解有机物的能力，如把它轻轻搁放，则凝为棉絮一样，容易沉淀。

在氧气供应足够的状态下，使污水接触活性污泥，其一部分被氧化分解成为水、二氧化碳等无害物质；又一部分成为活性污泥的细胞物质。活性污泥和污水充分接触后，在沉淀室里沉淀，活性污泥就形成为较大的絮状团，和水分离。沉淀分离的活性污泥大部分通过排渣泵排到储渣箱，然后到无限制的排放水域进行排放，或送入焚烧炉烧掉，也可以送到港口接受设备。另一部分送回爆气室，以稳定地保持曝气室中活性污泥的浓度。

经过沉淀的水进入加氧室杀死细菌再排到舷外。

下面介绍几种典型的生化处理装置。

3.1 三叉牌(Super Trident)处理装置

这是英国生产的一种生化处理装置。这装置由3个主要部分：曝气室、沉淀室和加氯室组

成。此外还有排放泵、空气压缩机、浮子开关和控制箱等辅助设备。其原理图见图 7.4.1—1。

1)曝气室

污水首先进入曝气室，在此室中存有活性污泥，同时不断送入新鲜空气。活性污泥中的好气性细菌(那些需要溶解于水中的氧才能生存的细菌)将污水中的含碳、氧、氢、氮和硫成份的物质分解成二氧化碳、水和新的菌体。二氧化碳通过透气系统排出，水连同菌体流入沉淀室，污水在曝气室大约须 24h 才能分解，流走后由新进入的污水和更新的细菌补充。空气是由叶片转子式空压机供给的，它通过一些小气泡散布器通入污水中，小气泡散布器置在曝气室底部，而且可以从侧壁的人孔中取出，便于维修。空气供氧给好气细菌，并且扰动污水和活性污泥，使之与新进入的大便污水接触。

2)沉淀箱

混合流体送入沉淀室，活性污泥被沉淀，清水通过沉淀室的溢流管进入加氯室，沉淀的活性污泥从沉淀室的底部由空气提升管通过透明的乙烯塑料管回到曝气室。沉淀室呈漏斗形，漏斗的倾斜面可以防止活性污泥的聚结并引导至底部的污泥回流管，借助压缩空气使部分活性污泥回到曝气室。在沉淀室上部中心有一个漂渣器，以漂除表面浮渣，并送回曝气室。

3)加氯室

沉淀后的水溢流过加氯器，再送到加氯室杀菌，在室旁备有两个液位调节器(浮子开关)，以控制排出泵的工作。另备有附件的浮子开关，当液面上升超过正常的高液位时发出报警信号。

4)加氯器

在加氯器中，沉淀过的水通过加氯杀菌丸，产生氯溶液。加氯器是一个方形的箱体，并有两个圆筒装加氯丸。圆筒的底部有孔，以便让加氯丸与水流接触而溶解。加氯器的出口有一个控制堰，以使加氯室中保持一定的水位。

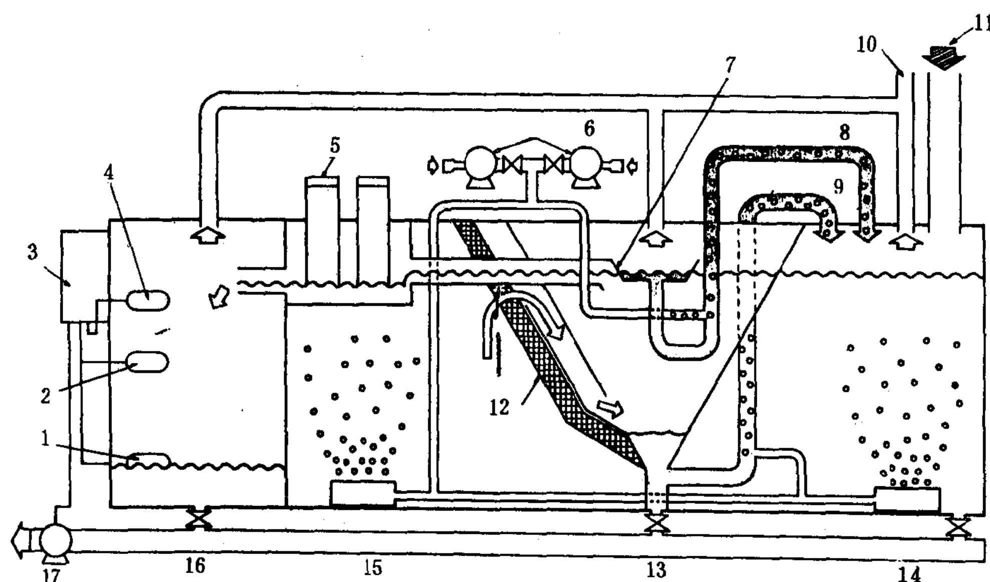


图 7.4.1—1　三叉牌污水处理装置示意图

1—低水位浮子开关；2—高水位浮子开关；3—控制箱；4—反常高水位浮子开关；5—氯化器；6—空气压缩机；7—漂清器；8—送回浮渣；9—送回污泥；10—通气管；11—污水进口；12—滤网；13—沉淀室；14、15—曝气室；16—杀菌室；17—排出泵

三叉牌污水处理装置在操作和维修中应严格参照其说明书进行。下面仅就重点问题加以说明。

1)生化处理装置中活性污泥的培养通常需要有10天到1个月的时间。因此每次开始使用前必需先送入一定量的活性污泥(可以直接加入带有粪便的污水)进行保温培养,经过10天以后再启动运行。同时也要注意在开始启动之初,效果可能较差,但如操作正常在经过一定时间后即可正常。同样原因,该装置在运行后应尽量不使其停止运行。如果停止超过几天以后活性污泥的功能就会下降。

2)好气性细菌不能与化学清洗剂接触,所以在运行时,不能用化学剂清洗厕所,洗衣水也不能进入粪便水道。此外也应禁止将破布塑料等杂物抛入便池内。

3)在运行中的压缩空气机必需不停地工作。(空压机共有二台,一台工作,当损坏后需换用另一台,并立即着手检修工作。)其工作压力应在表7.4.1-2的范围之内。

表7.4.1-2　**三叉处理装置中压缩空气的工作压力**

型　　式	ST-2	ST-4	ST-6	ST-20
使用压力	0.015MPa	~0.05MPa	0.015MPa	~0.07MPa

4)加氯器中的氯丸应定期清洗并加装。为此应经常测量杀菌室中水的余氯含量(余氯含量的测量设备随装置供应)。当含氯量大于5mg/l时,只用1个加氯筒。当含氯量小于2mg/l时,使用2个加氯筒。如果使用2个加氯筒仍不能保证余氯量大于2mg/l时应加装氯丸。加氯器必须经常清洗。否则氯丸使用后剩下的不溶解的渣会腐蚀设备内壁。

5)装置各箱内壁面均应有涂料,在清洗箱内时,如果发现涂料损坏,须立即再涂上涂料。根据生产厂介绍使用USA　GDA KAGAKU CO · LTD生产的BTTULUCK ND203涂料或DAI NIPPON TOKYO CO. LTD生产的SDC COATING ND402涂料。这些都是焦油环氧树脂类的材料。其它牌号的类似产品实际上也可使用,只是有使用寿命的差别。

6)按表7.4.1-3中规定的周期对装置进行检查和维护。

表7.4.1-3　**检 查 规 程**

程序	检　查　点	要　　求	处　　理
每天	空压机压力表	压力表读数应为: 0.015~0.05MPa(ST-2,ST-4) 0.02~0.07MPa(ST-6,ST-20)	如表压力太低,检查空压机,过滤器和管件是否漏气;如压力太高,检查空气散布器与过滤器是否堵塞;必要时予以清洗
	活性污泥回输管	活性污泥被输回	如活性污泥未输回,检查是否供气管阻塞或漏气,必要时修理
	加氯器的加氯丸	管内必须装加氯丸,最少离底部 $\frac{1}{4}$ 全高	把顶部盖子卸开并将药丸加满
每周	处理水的余氯量	余氯量必须为:2~5mg/L	余氯量超过5mg/L只用1根管;余氯量小于2mg/L,用二根管
每月	空压机	换上备用空压机	空压机如有任何故障,予以修理
	加氯器	管内必须无阻塞	有阻塞时,拆卸修理

续上表

程序	检查点	要求	处理
2个月至3个月	曝气室	排出多余的活性污泥	停止污水流入本装置半小时，再用排水泵输出75%的混合流体（此种工作只能在不限制水域中进行）
		内部滤网是否污秽	如果被污秽，用海水或淡水清洗
	沉淀室	检查内部是否污秽	如果被污秽，用海水或淡水清洗
半年	曝气的过滤器盒	检查过滤器盒是否污染	如果污染，换新。在应急使用时，用甲苯溶液清洗
每年	检查箱（包括各室）排出泵	检查箱内部和其他附属设备	污水放出后，用水清洗内部，并检查各部分，如有故障，修理或换新
每3年	箱内	内部涂料的损伤	重新在损伤部分加涂料

注：①空压机出口压力超过规定的曲线时，检查空气扩散器，不受检查期间的限制，必要时更换空气扩散器。

②加氯器的清洗时间，取决于使用情况，时间按场合需要，当船驶离限制水域，氯化器就可清洗，将加氯丸取出，清洗加氯器。

③加氯器的杀菌药丸，须使用制造厂产品，标准供应的型号是"NissoHI－CHLON"。余氯的比色计由制造厂供应。

3.2　红狐牌(Red Fox)处理装置

该装置为美国生产的生活污水处理装置的一种型式，当前使用较多。该装置处理箱分为四部分：曝气室、沉淀室、加氯室、污水储存室。装置处理箱透视图如图 7.4.1－2 所示。流向如图 7.4.1－3 所示。其系统与三叉式类似，有下列特点：

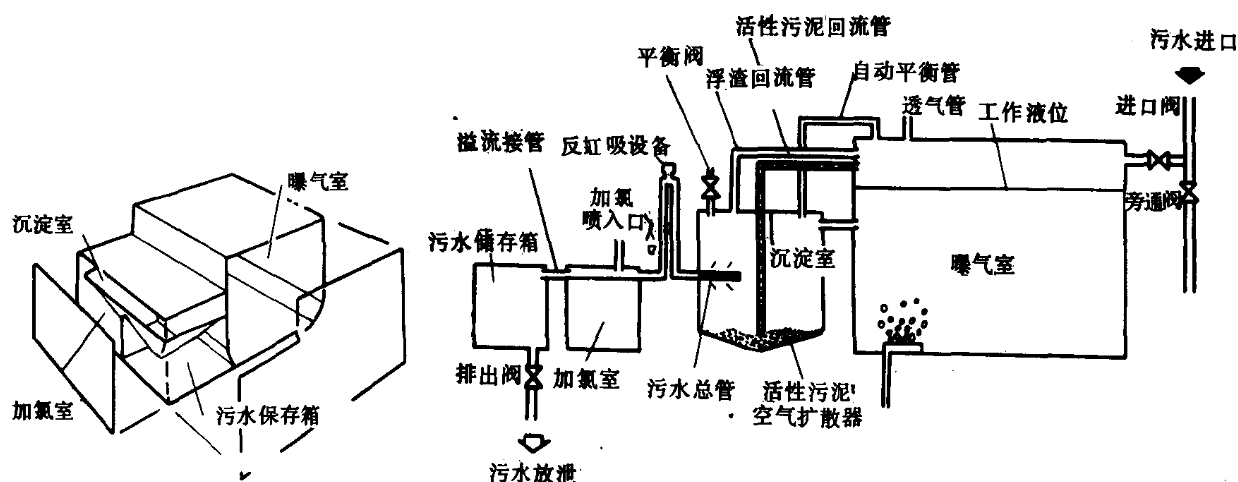


图 7.4.1－2　红狐牌污水处理装置系统透视图

图 7.4.1－3　红狐牌污水处理装置流程图

1)压缩空气的供给可用船上原有的空气系统，如不够，可另设空压机；也可用船上空气系统供给作为搅拌活性污泥和浮渣，而独立空压机作曝气用。从船上原有空气系统来的空气需过滤和调压。

2)加氯用膜片式剂量泵，泵排量在试验时调到正确的排量。

3)污水排放系统:污水的排放可用泵排出,如安装在水线上,也可用重力排出。

红狐牌污水处理装置在安装时应注意:

1)这设备维修手册背后的袋中有图,它表明总的尺寸、进口、排放、透气,取样所需的尺寸与场所。也应注意为了检修和进行清洁、拆卸时人、手孔盖周围所要求的空地。

2)由于箱内储存的渣体重量比较大,船舶垂直运动产生极大的负荷,因此箱底必须有足够的支撑,以减少弹性,避免永久变形或损坏。如果设备有整体机座或滑轨,则只须适应机座或滑轨的安装。

3)对加氯箱的安装应防止倾斜或移动,要便于加料和换料、清洗;箱子周围或底下不要积水,直接加淡水方便。

4)美国海岸警备队的要求,所有透气管不可小于 38mm,透气管通过密闭场所不可有接头。透气管至少高于遮阳甲板 3.05m,管口必须加鹅颈管和防火网。透气管离任何生活、工作区的通风进口或可燃气体应有相当的距离。

5)加氯箱的底部必须比喷射泵高 1500mm。

下面重点说明这装置的工作情况及运行中的重点注意事项。

1)粪便和污水通过一个铁栅引到曝气室。铁栅为防止无机固体,碎布等进入曝气室而设。如果有粉碎机,污水通过粉碎机磨成颗粒后通过铁栅进入曝气室。污水含有好气细菌,有机物作为细菌的食物进入扰动的富氧环境中。空气是通过曝气箱底的空气扩散器供给的,它产生小气泡通过污水上升,放出氧并产生扰动。这种扰动使大块的粪便变成小颗粒,这样尺寸减小,曝露的面积增加,分解的速度较快。在这个过程中,细菌形成疏松的群体或絮凝物,呈悬浮状。并通过两室之间带有挡板的孔流入沉淀箱。

2)沉淀箱完全充满液体(在充填时带来的空气,可开启平衡阀排空),因曝气室的水位稍高于沉淀箱的顶端,因此在沉淀室有轻微的水压,结果产生一个自由运动的环境,生物絮凝物沿沉淀室漏斗形的壁而下降到底部,上部清水被送进加氯杀菌室。

平衡系统包括一自动平衡管和一平衡阀,开口的平衡管使沉淀箱原有的阻隔板上部空间与曝气室顶端相连,以排除由曝气室带来小气泡的空气。

在沉淀室内安装有漂渣器回流管和活性污泥回流管,将浮渣及活性污泥送回曝气室。因此曝气室内维持强烈活动的细菌,使污水和大便分解,浮渣与活性污泥的回流是通过两根管子的垂直部分用空气提升的,流量根据乘员多少变动。除此以外,也要求控制溶氧量。

3)剩留清水在水压力之下通过孔眼进入污水总管,孔眼的面积应不使水流受到约束,以保证足够的流量。污水总管是由一根 180℃弯管,顶端装有透气装置组成的反虹吸管,它有效的建立工作水位并使沉淀箱内保持有效的压头。为了杀菌,总管的水进入两个室的加氯箱,两室之间用高度近顶部的隔板分开。在第一室不停的用喷射泵向污水喷射加氯药剂,当补充的污水进入这个系统时,已杀菌的污水溢流到污水储存箱(第二室)内。

4)本装置的运行有两种工作模式

(1)无渣排出式。如 NSK 型。活性污泥被曝气室的微生物吸收,标准红狐牌装置处理污水的时间为 26~28h。此种设备不要除渣。

(2)定期排渣式,如 PSR 型。周期性的除掉残渣,为了减少设备尺寸,设计了这种类型。这种型号的设备,不减少污水的处理量,仅仅减少存留的时间。这种时间的减少必须定期除渣,清除残渣的次数,取决于设备缩小的程度。例如设备尺寸降低 50%,存留时间减少到 12 小时,清除残渣的时间间隔大约 90~100 天。

5）以下情况可判断设备运转正常。

在曝气室升起很小的气泡，没有泡沫，颜色为棕色，溶解氧量 2mg/L。

在加氯室，液体较清，无固体，溶解氧量高于 2mg/L，余氯量高于 1mg/L。

6)本设备常规操作与一般生活污水生化处理装置相同，仅就具特殊问题加以简要说明：

(1)乘员多少变化的调整

当船舶正常的乘员人数变化在 4～5 天以上，为了设备能维持有效地工作和经济上的考虑，应对处理量作一定的调整。调整的方法见表 7.4.1－4。短期 1 到 2 天的变动可不加调整。

表 7.4.1－4 **工作的调整－乘员人数变化**

部件	负荷变化		
	正常	负荷降低	超负荷
扩散空气阀	开启 45°	开启 30°	开启 60°
漂渣空气阀	开启 45°	开启 45°	开启 90°
活性污泥回流空气阀	开启 45°	开启 30°	开启 60°
船舶的空气供给压力	0.012MPa	0.012MPa	0.023MPa
氯喷射泵控制指示定位	4	2	8

(2)为了保持高效率，定期试验污水是很重要的。必须检查三个主要参数：pH 值，溶解氧和余氯量：

pH 值　6.8－8.0

溶解氧　0－10mg/L

余　氯　0.35mg/L

pH 值是酸和碱的重要指标，如果 pH 值低于 6.8，检查系统中进入的酸；如果 pH 值大于 8，检查进入的苛性碱。

溶解氧对于细菌的繁殖是很重要的，如果在曝气室溶解氧低于 6，增加空气扩散量；如果超过 10，减少空气扩散量。

氯是用来杀死与人体大便一道进来的大肠杆菌群，如果余氯少于 1mg/L，增加氯剂喷射泵的排量；如果高于 2mg/L，减少排量。

(3)定期清除垃圾，一般每个月应进行一次。

(4)当产生故障时可按表 7.4.1－5 的指示进行检查和排除。

表 7.4.1－5 **故障排除指南**

故障现象	可能原因	校正方法
1. 气味	空气不够或没有	如用船舶空气调节器，将压力调为 0.04MPa；如自备鼓风机，检查电气功率，检查皮带松紧
	污水含毒物	检查船上的清洁剂是否有杀菌能力。pH 值应为 6.5 的中性，将设备用淡水冲洗
2. 污水返回便池	设备进口堵塞	检查进口管系包括下部铁栅；检查便池与设备之间的污水管路，需要时加以清理
	透气管堵塞	检查透气管，鹅颈通风筒，需要时清理。

续上表

故障现象	可能原因	校　正　方　法
3.污水站污水储存箱顶部漏泄	排到舷外的排放泵不运转	检查电功率，如无问题，在自动控制时，泵浦不运转，将污水旁通管路打开，将水泵开关旋至"人工"控制，如泵依然未动，更换泵驱动装置；如泵由"人工"控制能运转，更换压力开关，重新旋到自动控制位置，关闭旁通管路阀并冲洗厕所，在污水站储存污水箱加水，检查泵自动运转情况
4.曝气箱没有气泡或气泡少，升起黑色液体，样品有难闻的气味，固体含量高	溶氧量少或没有	检查空气漏泄，检查空气扩散器及空气管，当校正后，继续运转，直到颜色变为棕色，溶解氧出现。如果设备运转中断，检查停电情况：保险丝熔断，线路断开或断电器跳闸等。如果重新合上断电路，电动机仍然不能启动，检查加热器是否超负荷
5.曝气室起泡沫太多，液体和固体分离不好，取样：固体多	空气太多	减少空气扩散器的供气量到最低限度，必须保持棕色液体。在刚起动时，这情况较多
6.曝气室气泡升起一些固体。溶氧量 1.0～3.0mg/L 取样：固体多	空气太少	检查活性污泥回流管出口，其流量应为管内径的1/2；检查空气供给量是否不足或在管路系统中漏泄
7.取样固体多	活性污泥回流管阻塞，空气供给不足	在管道中检查空气漏泄，增加空气流量。活性污泥回流管在出口处应满 1/2 管
8.曝气室空气泡升起黄色泡沫，黄色球。无溶解氧，取样：固体多	进入设备的牛油过量	检查上面管路阻油器，确定来源，并从设备中转移

3.3 勒卜马梯克(Nepmatic)处理装置

该装置为瑞典生产的较典型产品。装置在设计时考虑能处理所有船上卫生废水，包括厕所、厨房，餐厅等处的污水以及洗涤水。或者仅仅是厕所用水。

污水处理过程包括 5 个阶段，参见图 7.4.1—4。

1)粗滤和预处理阶段

污水和废水自进水口 1 进入后，首先经过一个孔隙为 20mm 的粗滤网过滤，然后在箱内由潜水式磨碎泵 40 对污水中的大块污物进行粉碎，同时将污水输送至氯化处理箱的膨胀柜。预处理箱可以储存相当于污水平均进入量 3 倍的污水量，以便在污水量高峰时能储存部分污水。当预处理箱中的污水水位过低时，浮子控制器(工序控制水位平关 60)作用，磨碎泵的工作停止。

2)氧化与循环阶段

此阶段包括带有循环泵 23 的膨胀柜口，压力柜 7 和由空气驱动的再循环处理喷射器 28。

污水由磨碎泵送入顶部带有一个钭滤网 30 的膨胀柜。粗的物质和多余的污水回到预处理箱。滤网 30 由棒材制成，空隙 5mm，污水从膨胀柜由循环泵 23 抽出，进入压力柜。处理喷射器 28 以污水为工作水不断地将空气带入，再回到膨胀柜，多次循环。在此种方法下，压力柜充满受压的水和小气泡的混合物，增加水吸收氧的能力。这些混合物在喷射器内吸入更多的空气，使好气细菌活动加强，通过生物的分解，污物下沉。循环液体的一部分通过压力柜顶端一个凸出部分引到浮化箱中。

3)浮化分离阶段

循环阶段的水，含有许多小气泡和分解了的生物残渣，在此进行化学处理。

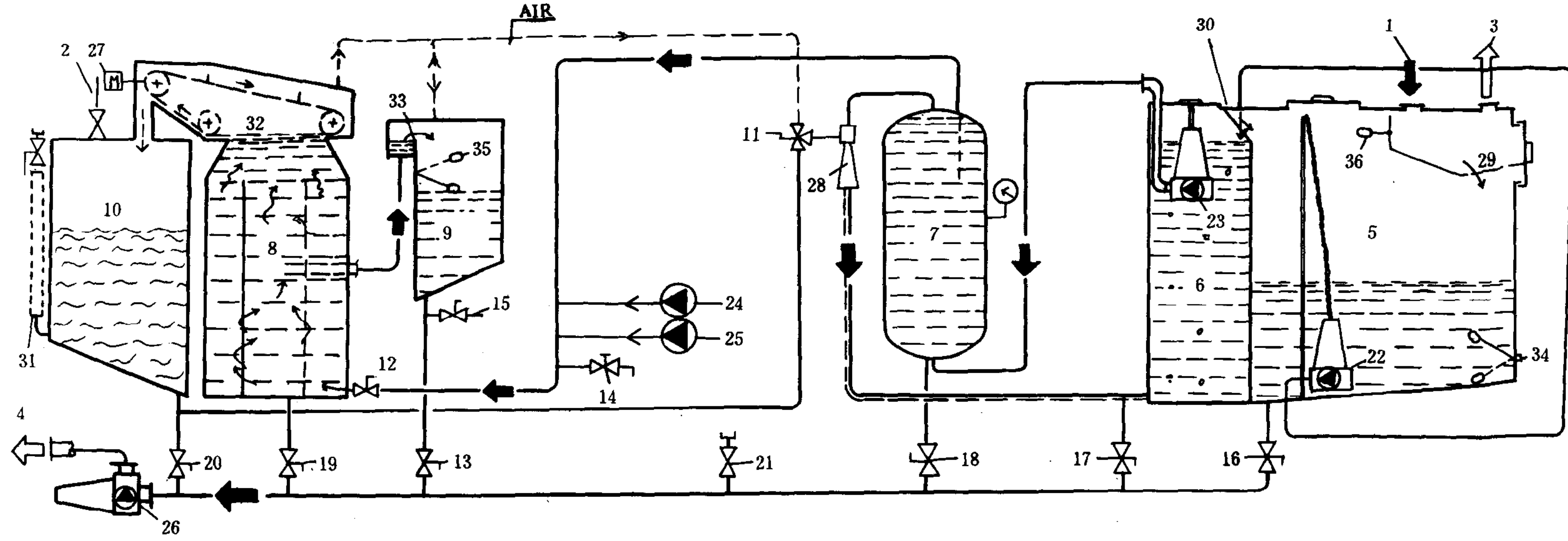


图 7.4.1—4 勒卜马梯克处理装置流程图

1—污水与废水进口； 2—通气口； 3—排气口； 4—排出口； 5—预处理箱； 6—膨胀柜； 7—压力柜； 8—浮化箱； 9—清水排出箱； 10—淤渣箱； 11、12、13—通路阀；14、15—试验阀； 16、17、18、19、20—泄水阀； 21—冲水阀； 22—磨碎泵； 23—循环泵； 24—絮凝剂喷水泵； 25—氯喷射泵； 26—排出泵； 27—刮板电动机； 28—处理喷射器； 29—粗滤器； 30—滤网； 31—软管； 32—淤渣刮板； 33—溢流堰； 34—工序控制水位开关； 35—排出泵控制水位开关； 36—高水位报警水位开关

三氯化铁和加氯剂直接喷入浮化箱 8 的管子中，化学剂在管子中和浮化箱中与污水充分混合，三氯化铁捕捉要分离的物质并结成浮块，在小气泡的帮助下浮到水面，在箱内的液体通过周围的一个合适的隔板将浮块和水分开，水从箱内引到清水排出箱 9。为了避免船摇时对浮化箱的扰动，浮化箱做成圆桶形，桶口缩小，以减少自由液面。

整个浮化箱的容积要保证处理的停留时间，以杀死细菌。

4)污水排放阶段

从浮化箱来的、经澄清和加氯的污水，通过堰板流入清水排出箱 14，此堰板也可保证浮化箱固定的工作水位，排水由水箱的水位开关 35 控制排出泵 26 的工作。

5)残渣收集阶段

浮化箱水面浮上的淤渣刮板 32 不断地刮走。此刮板安装在两根尼龙链条上由电动机转动。渣滓由刮板刮起后，倾入淤渣箱 10。淤渣可由排出泵人工控制排放。

此淤渣箱装有淤渣水位指示软管，如堵塞时，可用此软管顶端安装的阀上连接的冲水管冲洗。也可用此软管冲洗箱内部。

残渣排到焚烧炉，可用一个单独的单螺杆泵输送，此泵用人工或自动控制。

所有各箱通过截止阀 16～20，和泄水管(75mm)相连，也与排出泵相连。正常情况下，排出泵用作排放处理过的水。但是通过阀 16～20 也可作排污泵用。

如果 75mm 泄放管阻塞或排泄阀阻塞，也可以进行反冲，冲洗水用软管接到冲水阀 21 即可。

该装置产品的主要技术参数见表 7.4.1－6。

表 7.4.1－6　**勒卜马梯克处理装置技术数据**

型　　号	MOC－4	MOC－12	MOC－20
单机处理量(L/min)	6.5	10	17
预处理箱(L)(膨胀柜除外)	950	1600	2300
在处理停止时液体容积(最少)(L)	180	115	175
在处理起动时液体容积(最大)(L)	380	1500	895
1h 处理最大容积(L)	970	1700	3100
在高位警报时留存的容积(L)	180	350	500
残渣产生量(当工作时进入污水悬浮固体为 500mg/L 时(L)	6.5	9.5	16
淤渣箱容量(L)	730	725	725

该装置在运行中的注意及维修事项可参照前二种装置的有关说明，同时可参照其使用说明书。下述为这装置的一些特点。

1)装置正常运行的状态

正常情况下预处理箱内的水位应处在中间位置，磨碎泵正常工作。循环泵排出的工作压力为 0.15～0.20MPa。如果压力过低则表示泵进口阻塞，过高则可能是由于处理喷射器有堵塞。

排出的污水可以用一玻璃瓶放取一些水洋进行观察，如果水是清晰的，其中可能有一些微小的絮凝物或残渣。如果水样中含有大的颗粒或水色较深，则表示装置运行不正常。

2)装置所用的消毒处理药品为三氯化铁（絮凝剂）和次氯酸钠和次氯酸钙（氯化消毒剂）。这二种化学处理剂均通过专门的喷射泵（图 7.4.1－4 中未示出）定量地向污水浮化箱的管路中喷入。

絮凝剂中 65％的三氯化铁制成溶液。其消耗量，根据不同型号见表 7.4.1－7。

次氯酸钠一般呈液态物，有效储存期在暗处和低温处为 1～3 个月。正常耗量可见表7.4.1－7。

次氯酸钙一般为粒状物，溶于水中使用。推荐与水混合的比例为 1：10。对不同型号的耗量见表 7.4.1－7。

表 7.4.1－7　**处理化学剂的耗量**(mL/min)

	三氯化铁	次氯酸钠	次氯酸钙
MOC－4	1.3	0.9～1.8	4～8
MOC－12	2.2	1.3～2.6	6～12
MOC－20	3.3	2.1～4.2	10～20

以上二种消毒剂，推荐交替使用。这样可以使处理效果提高。

3)装置运行中产生故障可以参照表 7.4.1－8 的内容进行预防和处理。

表 7.4.1－8　**故障预防和处理**

故　　障	产生原因和预防措施
1. 预处理箱水位高	在高位警报时不必打开盖子，高位警报报警时间延长，也可能高位警报有故障。如果预处理箱满溢，其他程序不受影响。该装置有溢流设备，溢出的水流至舱底或排至船外。 ①流入量与预处理箱的容量相比，大大超过，没有任何预防方法。 ②清水排出箱 14 无水流出，可能流体控制软管或者进入浮化箱的管子阻塞，关闭 21 并拆开管子检查。 ③节流管中阻塞，放泄预处理箱直到警报声停止，将管子拆卸并清洗。 ④程序控制水位开关 60 不正常，泄放预处理箱，将开关卸开。
2. 预处理箱水位高，排水泵警报讯号。	①检查排出泵过电流继电器； ②排出泵阻塞，关闭所有放泄阀并拆卸排出泵，进行检查。
3. 进水泵警报讯号	①检查循环泵过电流继电器； ②水泵阻塞，将泵逆转。如无效，将泵拆卸检查。

续上表

故　　障	产生原因和预防措施
4. 循环泵警报讯号	①检查过电流继电器； ②水泵阻塞，拆卸检查。
5. 压力太高	喷射器喷嘴阻塞。
6. 压力柜压力太低	到膨胀柜的流量太低，检查进水泵。
7. 喷射泵不正常	①泵冲击但压力管内无脉动，泵轮有气泡，将泵安置在最大喷射位置或将泵轮轻轻松开。 ②检查泵传动电机的保险丝 。
8. 自动保险丝熔断报警	重装保险丝(在控制台内)
9. 放泄阀无水通过	阻塞，通过阀 30 进行反冲。
10. 污水中絮凝体不稳定	①喷射率不正确； ②进入喷射的空气量不够，不能帮助絮凝体上浮。检查空气管路。 ③在浮化箱内沉积物太多，可从底部的放泄阀泄回预处理箱。
11. 残渣高位警报	如果要继续保持好的净化效果，当淤渣箱填满时必须在 5h 之内排放。

3.4　WCB－50(s)型处理装置

该装置为我国自行研制的污水处理装置。其工作原理与上述生化处理装置基本相同。图 7.4.1－5 为其流程图。图 7.4.1－6 为其工作 原理图。由于采用了生物膜法，比常规曝气法的起动时间要快，分解也快。

装置的主要技术性能见表 7.4.1－9

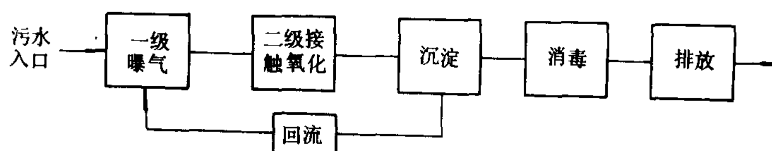


图 7.4.1－5　WCB－50(s)型污水处理装置流程示意图

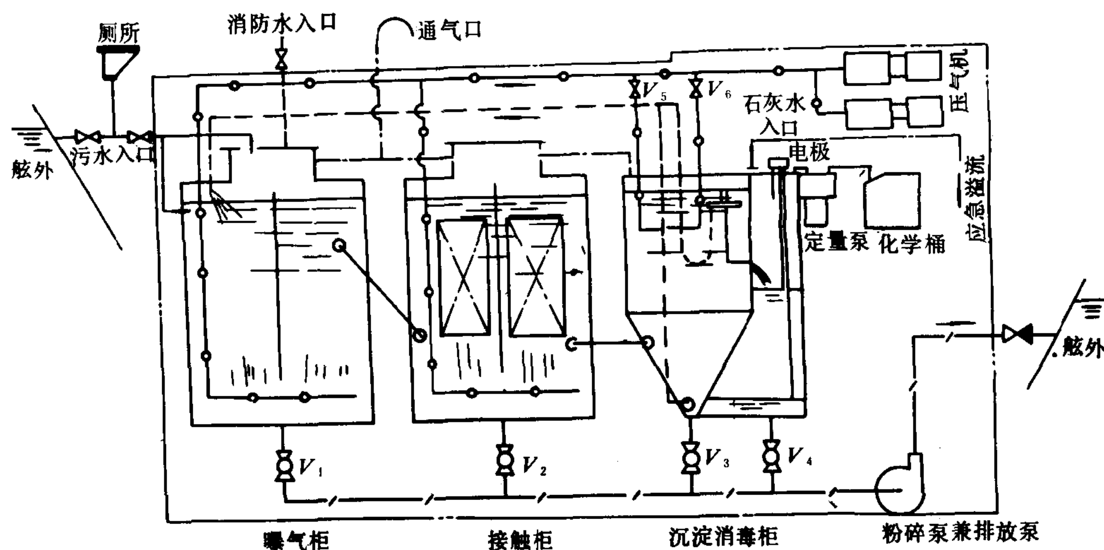


图 7.4.1－6 WCB－50(s)型船用生活污水处理装置工作示意图

1－舷外； 2－污水入口； 3－消防水入口； 4－通气口； 5－石灰水入口； 6－压气机； 7－水位电极； 8－定量泵； 9－化学桶； 10－应急溢流； 11－粉碎泵兼排放泵； 12－沉淀消毒柜； 13－接触柜； 14－曝气柜

表 7.4.1－9 **主要技术性能**

型　　号	WCB－(50)
使用人数	50 人(最大负荷 54 人)
处理能力	负荷 160 L/min
(高峰)	480 L/min
排放水水质	
悬浮固体(ss)	≯50 mg/L
生化需氧量(BOD5)	≯50 mg/L
大肠杆菌群	≯250 个/100 mL
pH 值	6～9
排放水压力	0.1 MPa
污泥残渣排放周期	约 3 个月
最大配置功率	380 V　50 Hz　2.69kW
压气机	JO_2　H－21－4　1.1kW
粉碎泵	JO_2H－22－4　1.5kW
加药泵	A1561 4　0.09kW
装置重量(干重)	2885 kg
(湿重)	7235kg
化学品耗量	0.3 kg/天

该装置的工作流程和原理简述如下：

1)污水自入口进入曝气柜，柜中有活性污泥。

2)排放水管系－粉碎泵兼排放泵的吸入口与曝气柜、接触柜、沉淀柜和消毒柜相连，其间

分别装有DN50球阀。一般情况下,消毒柜口的球阀 V_4 常开,由排放泵定期排放处理过的水。在排污泥时,关闭 V_4,打开 V_3 或 V_1,V_2,将沉淀柜或曝气柜内的部分污泥排放。

3)通气管系—在曝气柜和接触柜顶部有一集气室,一方面用于收集从水中逸出的空气;另一方面可以抑制柜内自由液面的摇动。通气管与这两集气室以及消毒柜上的逸气室相通,由DN65通气口与船舶通气管相连,曝气式装置的通气极为重要,应保持其畅流。

4)应急溢流—在自控失灵及高位警报也失灵,同时未及时排除故障而引起溢流时,在消毒柜上部有应急溢流口DN65,可通至舱底。

5)空气管系—压气机输出的压缩空气分成三路:一路进入曝气柜曝气头;另一路进入接触柜曝气头;第三路再分成二个管子,分别作柜底污泥及浮渣返送空气提升管的气源。这二个管子各有一个截止阀 V_6,可以调节空气量。

6)加药管系—化学药品从化学桶内由定量泵定期注入消毒柜,由于化学药品有较强的腐蚀性。因此加药管系用PVC硬塑料和硅橡胶制成,其间无任何阀件,由定量泵本身实现截止功能。

7)定量泵又名剂量泵,蠕动泵,用于定量加添化学剂。泵轮为聚四氟乙稀滚压轮,由电动机通过减速齿轮直接带动旋转。滚压轮逐步挤压尼龙胶管,将塑料桶内液体抽吸并输至消毒柜。运转中保证有一个滚压轮接触并压紧尼龙胶管的一点,起止回作用。

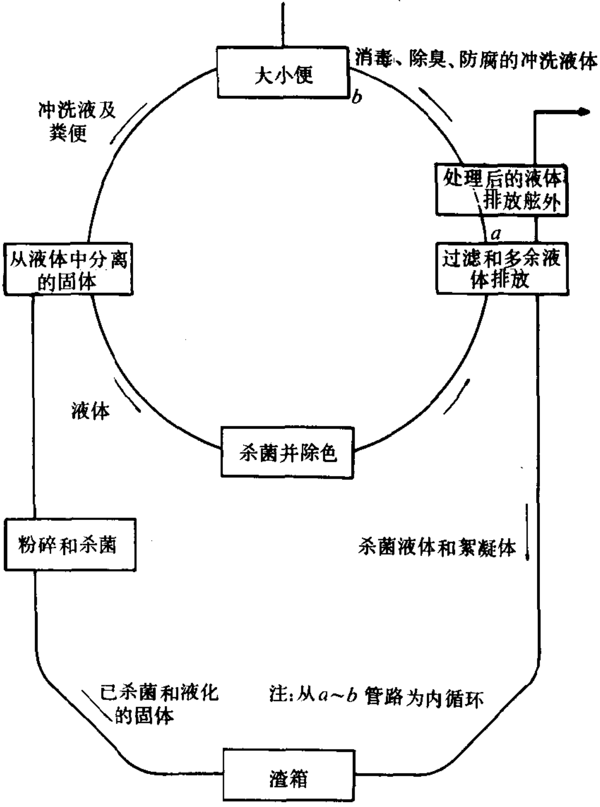


图7.4.1—7　艾孙处理装置工作流程

4　物理化学处理装置

这种方法是用化学药剂加入污水中进行消毒处理。首先在装置内使污水中的固体与液体分离。固体被粉碎杀菌泵送到残渣箱,渣箱装满后可以在限制水域以外排放,或送到岸上接受装置处理。分开的液体被化学处理杀菌,过滤除色,除臭,达到排放标准后排放。此种装置比生化处理装置少一个细菌培养期。因此可以随时启动。此外由于污水在装置内停留时间短,仅仅是化学剂反应的时间,所以体积较小。但机械设备较多一些,如固液体分离装置、自清滤器等,维修比较麻烦。

下面介绍几种典型的物化处理装置。

4.1　艾孙(El san)处理装置

该装置为英国生产的一种产品,其工作流程图如图7.4.1—7,工作系统如图7.4.1—8。

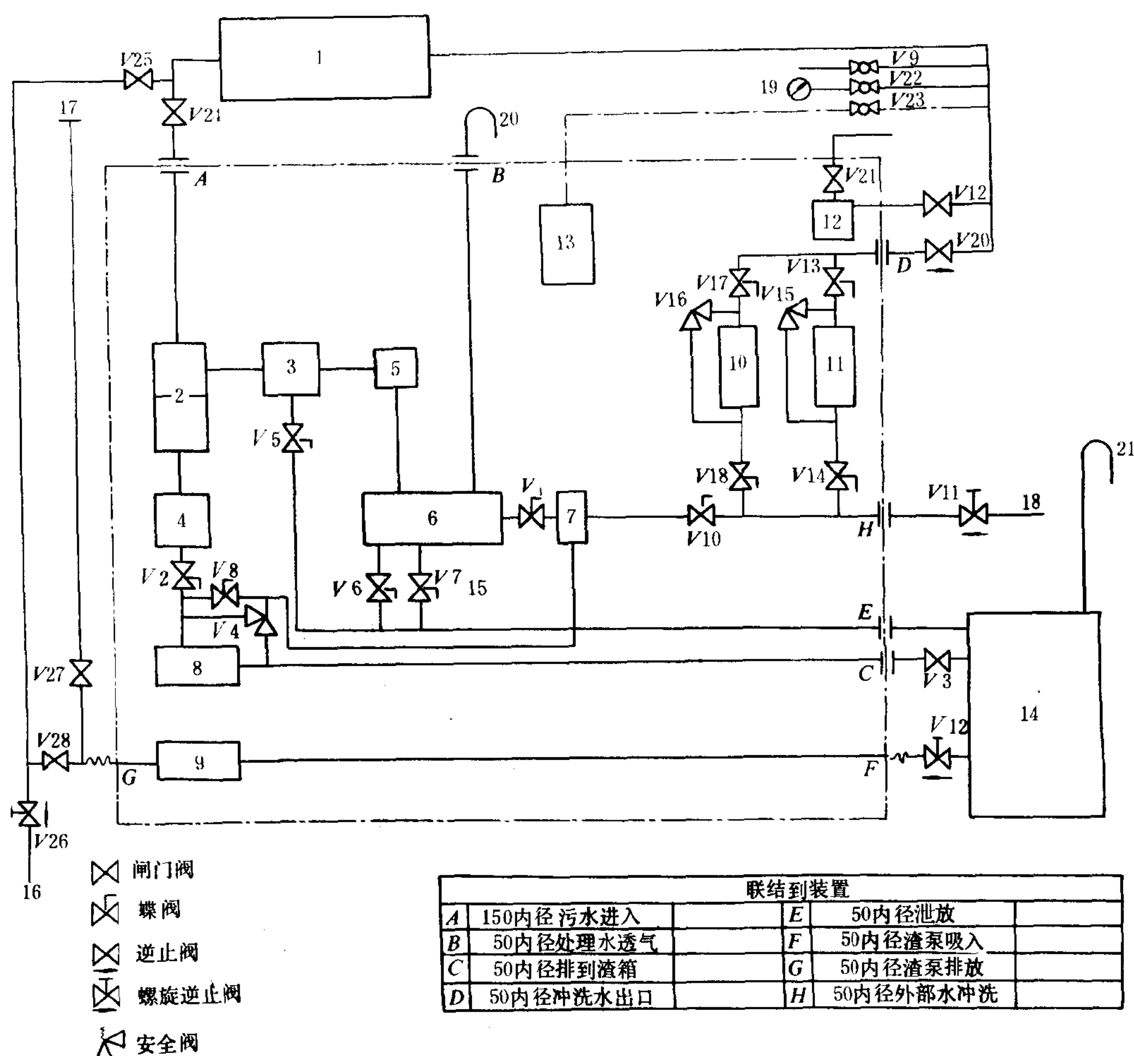


图 7.4.1－8 艾孙处理装置工作系统图

1－厕所；2－固体分离器；3－液体箱；4－固体箱；5－化学处理段；6－化学处理段；7－清滤器；8－粉碎泵；9－排渣泵；10－卫生水泵；11－卫生水泵；12－压力水箱；13－控制盘；14－渣箱；15－溢流管；16－舷外排放；17－甲板接头；18－外部冲洗管；19－压力表；20、21－透气管

该装置的冲洗液是含有杀菌剂的水，同大小便池冲水后化学反应立即开始。由大小便池(见图 7.4.1－8)进入固、液体分离区 2，分开的固体输送到固体箱 4，在其中进行消毒杀菌。固体箱存满后，由粉碎泵 8 粉碎同时液化，然后进入渣箱 14。渣箱存满后排至禁排水域以外；或排至该船的焚烧炉烧掉，也可排至岸上接受处理设备。分离的液体流入箱 3，再经此流入第一级处理箱 5。在此除色，加入化学剂 EC_2。再流到第二级处理箱 6，加入化学剂 EC_1，杀死细菌。此箱并用作储存箱。卫生水泵 10 及 11(两者互为备用)通过自清滤器 7，从此抽吸液体到卫生水压力柜 12，供冲洗厕所用。

固体箱输送固体并粉碎使之液化的粉碎泵是由固体箱内三个水位探针控制的，箱顶的第四个探针作高水位报警。

渣箱的容积取决于船舶到非限制水域排放和向岸上排放的时间间隔，最大的存渣时间要考虑船上乘员定额，每人每天 2 L。

渣箱 14 有两个出口，用排渣泵 9 排放，一路通至甲板接头 17；一路排往舷外 16。

这种污水处理装置可以在船舶横摇 25°和纵摇 10°时使用。

该装置需要向第一级处理箱 5（见图 7.4.1—8）加入除色化学药剂 EC_2。向第二级处理箱 6 和固体箱 4 加入消毒剂 EC_1。

EC_2 是一种主要成份为苛性钠的化学处理剂，EC_1 是一种主要成份为氯的化学处理剂。

在第一级处理箱 5 中有一个专供加药的钢质盒。装入片状的 EC_2 药片。此处理剂每天均需加以补充，补充的量由实际情况而定。每天应对冲洗水作碱性试验，如果碱性低于 20%。即应增加 EC_2 剂量，但碱性不能大于 30%。

EC_1 直接加入到第二级处理箱和固体箱中。也需要每天加药。剂量可视情况每天分别加入 0.3～0.6kg。

本装置的运行及维护必需按照生产厂提供的使用说明书进行。

4.2 阿特拉斯(ATLAS)AWWU 型处理装置

本装置为丹麦生产的典型的一种。目前采用较多。其工作系统原理见图 7.4.1—9。

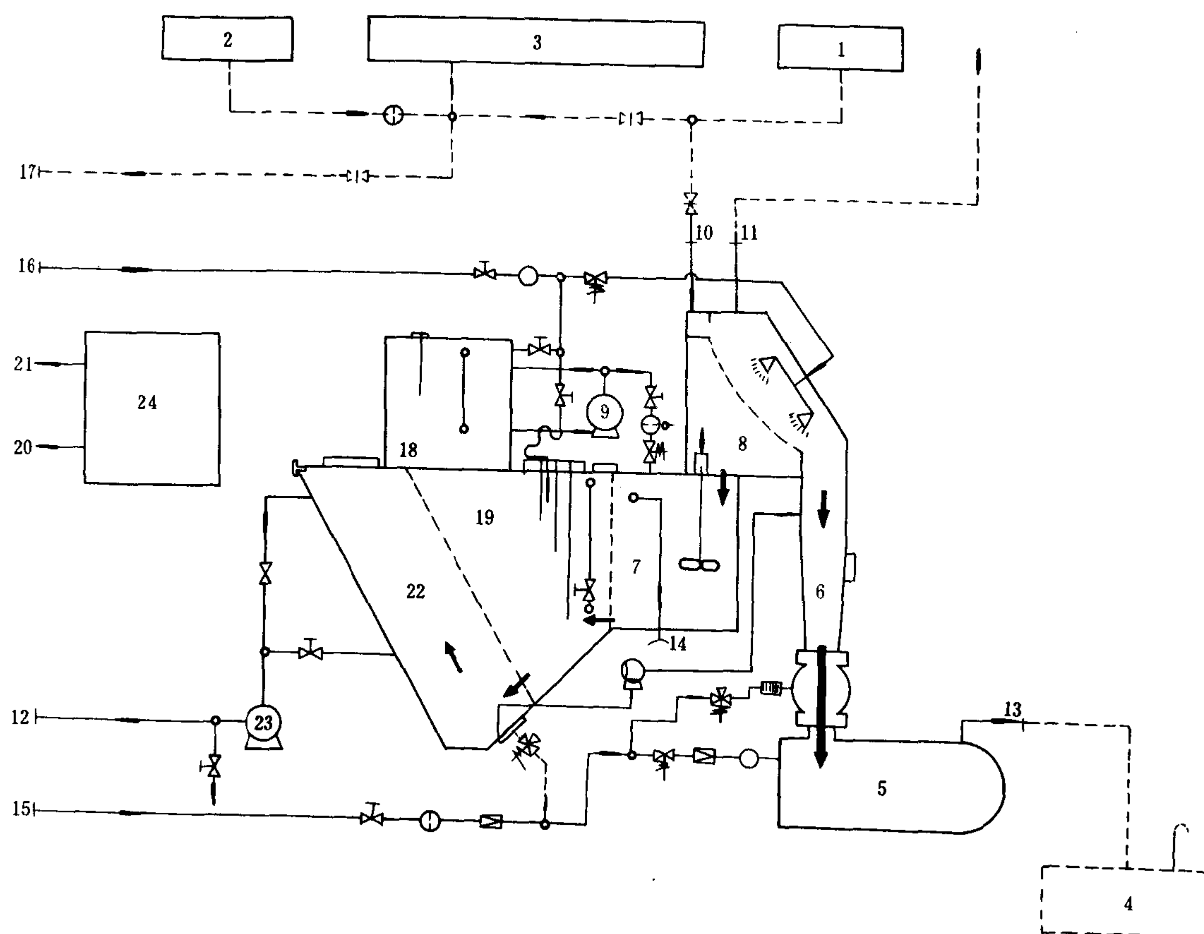


图 7.4.1—9 AWWU 污水处理装置流程图

1—厕所； 2—厨房； 3—浴室及洗涤池； 4—渣箱； 5—残渣空气吹排箱； 6—输送装置； 7—混合箱； 8—机械分离器； 9—剂量泵； 10—污水进口； 11—透气口； 12—处理水排出； 13—渣外排； 14—意外溢流； 15—压缩空气进口； 16—海水进口； 17—旁通舷外； 18—絮凝剂储存器； 19—融合接触箱； 20—电源； 21—警报接线； 22—沉淀箱； 23—排出泵； 24—配电板

污水首先从机械分离区 A，进入一个不锈钢片联成的过滤带，通过二个喷头 N_1 与 N_2 定时地对过滤带冲洗，粗分离后污水流入混合箱 B，固体由滤带送到输送管 K 经夹紧阀而落入分离固体吹排箱 E。

在混合箱 B 中，液体进入后由剂量泵 G 供给杀菌及絮凝用的石灰水 $Ca(OH)_2$，用扰动器 l 进行混合，絮凝剂投放后液体经强烈的拌和，开始絮凝并进入融合接触箱 C。

融合接触箱 C 有两个作用，一是补偿高峰负荷的容积；一是保证形成絮凝必要的时间。

由融合接触箱 C 来的水进入沉淀箱 D 沉淀，在箱内安置几块斜板以便抑制污水的运动，增加沉淀效果。沉淀到箱底的渣滓用残渣泵 L 打到残渣空气吹排箱 E。

以上机械分离区 A，混合箱 B，融合箱 C 和沉淀箱 D 均由不锈钢板制成，以减少污水的腐蚀。

本装置所遗留的残渣和固液分离后的固体都进入残渣空气吹排箱 E，存到一定位置后用 0.68MPa 的压缩空气吹排到渣柜，以备用渣泵送到本船焚烧炉，或船驶离禁排水域后排放，也可排到码头接受设备。该箱实际上是个圆筒，由碳钢 35 制成。它经过 1.37MPa 的水压试验，并有工作的许可证。

在沉淀箱 D 中澄清的水通过箱上部的排出口和止回阀被舷外排出泵 F 抽吸排到舷外。

化学处理药剂石灰液存放在絮凝剂储存箱 H 中。打开箱顶部的盖板，可以加入石灰处理剂。用离心式剂量泵定量地向混合箱 B 中加入石灰液。在额定污水最大处理量为 1500l/h 的情况下，大约每星期消耗石灰 35kg。

AWWU 污水处理装置可以在船舶纵、横倾±30°的情况下正常工作。运行操作及维护可见装置的使用说明书。

4.3 WCE 型污水处理装置

该装置为我国产品。其工作系统原理图见图 7.4.1—10。

自厕所来的污水首先进入收集柜 2。污水泵可以交替地在二个内置滤器中抽出污水液。抽出的污水液大部分通过抽除器 4 和混流器 5 送入浮选柜 6。少部分通过电磁阀 V_{13}和 V_{14}回流对收集箱内滤器进行反冲洗。具有压力的污水通过抽除箱 4 时，吸入由定量泵 18，19 和 20 送来的处理药剂。污水和药剂在混流器 5 内充分混合，然后送到浮选柜 6。污水在浮选柜内产生絮凝，污水中的杂质，悬浮固体物质被絮凝体吸附上浮，由顶部的浮渣盘收集放入残渣柜 7。较干净的污水在浮选柜的下部经过几道挡板后，由排放泵 8 排出舷外。当残渣柜内污泥达到一定高度时，由粉碎泵自动抽到收集柜 2。收集柜底部的污泥也可通过粉碎泵循环送到收集柜上部。收集柜内的污水日积浓缩，待储存至一定时间后，用粉碎泵通过污泥出口 16 送到焚烧炉烧掉或在非管制海域排至舷外或送到岸上接收设备。

处理剂采用石灰，氯化物和苛性碱等，分别存放在药剂柜 21，22 和 23 中。

使用及维护工作参见装置使用说明书。

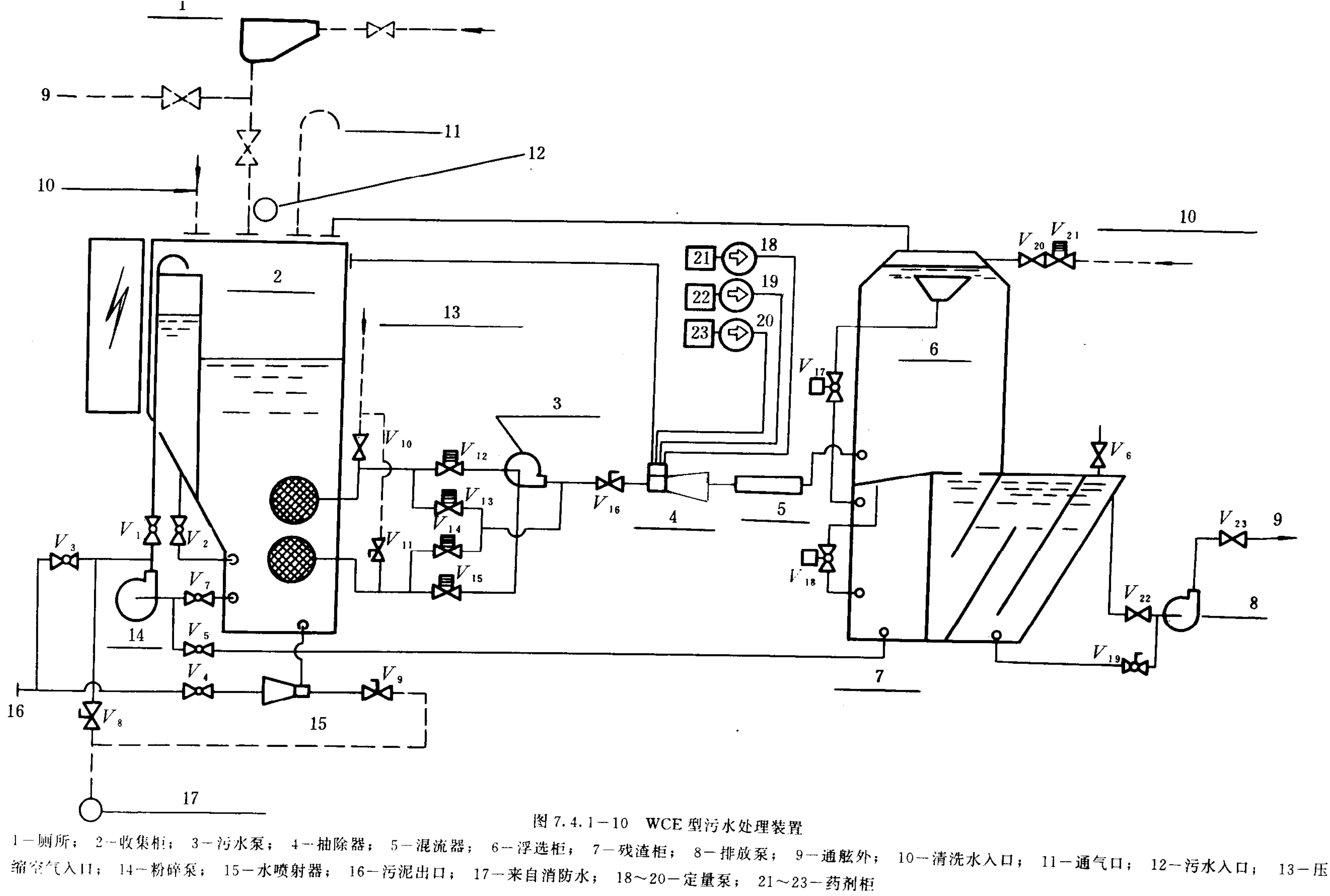


图 7.4.1—10　WCE 型污水处理装置

1—厕所；2—收集柜；3—污水泵；4—抽除器；5—混流器；6—浮选柜；7—残渣柜；8—排放泵；9—通舷外；10—清洗水入口；11—通气口；12—污水入口；13—压缩空气入口；14—粉碎泵；15—水喷射器；16—污泥出口；17—来自消防水；18～20—定量泵；21～23—药剂柜

5 粉碎与消毒装置

对生活污水单纯地进行简单的粉碎及消毒是一种初级处理设备。美国称为I型装置。在1980年1月30日之后，就不允许采用。及至1983年3月国际海洋环保会Mepc决议8/WP3 $ANNEX_2$ 将此重新列入，并对经此装置处理的污水排出时作下列规定：

1）大肠杆菌标准：在废液内的大肠杆菌的几何平均值的最近似数每100mL中应不超过1000个。

2）粉碎标准：将1L样品通过具有1.68mm网眼的美国第12号筛，或其等效设备。留存在网眼上的物质重量，在103℃的炉中干燥至恒定以后，应不超过总悬浮固体的10%，且不超过50mg。

这类装置的基本工作原理是向集污柜中加入一定量的消毒剂进行消毒处理。待集污箱储满时通过粉碎泵排出舷外。

我国生产的WSF－15船用生活污水处理装置即为这类装置。其主要技术参数见表7.4.1－10。

表7.4.1－10　**WSF－15技术参数**

处理能力	15人以下
处理水标准	①大肠杆菌每100mL少于250个；②没有可见漂浮固体
控制方法	手动，自动报警
药剂耗量	次氯酸钙每天5～6g（有效氯每100L污水60%以上）

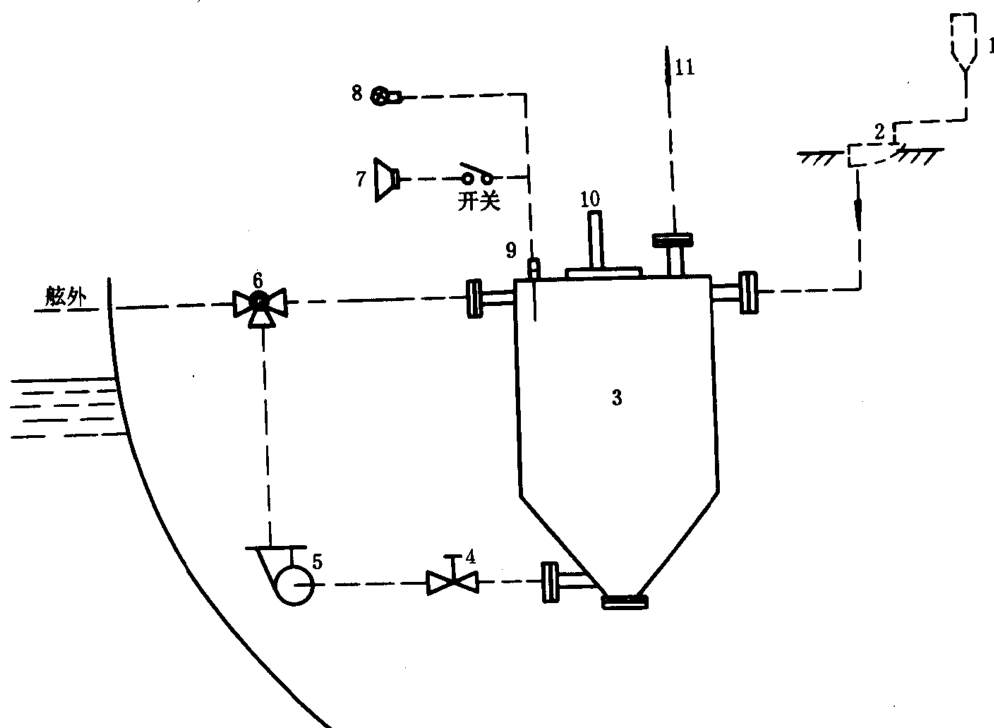


图7.4.1－11　WSF－15型污水处理装置

1－定量水箱；2－厕所；3－储存集污箱；4－闸阀；5－粉碎泵；6－三通旋塞；7－报警器；8－红灯；9－传感器；10－加药器；11－逸气口

该装置的系统原理图如图 7.4.1—11 所示。每次冲洗粪便的污水均流入储存消毒柜 3 内。同时每次通过加药器孔 10 加药一片。当污水达到报警位置后(此时柜内约有 100L 左右污水),能自动报警。这时人工启动粉碎泵 5,使粪便污水向储存消毒柜自行循环,经 10min 左右基本即可达到排放标准,即可转换三通旋塞 6 排出舷外。

考虑到储存集污柜中的粪便污水经过一定时间的储存后会分解出氨,硫化氢和碳化物等,非但气味难闻且有爆炸的危险,所以最好向集污柜定期地充入低压空气,可以部分地分解污水中的有机物,防止厌氧细菌产生。实践证明这种方法是有效的。

6 集污舱(柜)

6.1 对集污舱(柜)的基本要求

集污舱(柜)是指用于收集和储存生活污水的舱(柜),按国际海事组织环保会 1983 年 3 月 24 日通过的 MEPC 决议 8/WP3 $ANNEX_2$ 对集污柜及连接部件作下列规定:

1)集污柜及连接部件应能在横倾 15°,纵倾 7°时正确操作。

2)集污柜应设有警报或其他装置以指示该舱业已充满到容积容量的 80%,或如集污柜的设计准备储集 4 天或以上的储量时,应能指示出该舱集污量已达 90%。

3)集污柜应以耐腐蚀的材料制造或保护。

4)集污柜应设有适当尺寸的开孔,以便排空,清洁,检查及保养。

5)集污柜应设有冲洗及排空装置。

6)集污柜的构造,在考虑到正常设计安全系数的情况下,应能承受所发生的最大应力。

7)将生活污水排放至接收设备的任何管路应根据《73/78 防污公约》附则 IV 第 11 条的规定,设有标准接头(详见本章 2 节)。

6.2 集污柜排放系统

污水从污水收集管系集中到集污舱柜后,如不充气将产生厌氧细菌,产生臭味及危险,因此在集污柜应经常充气。有些船舶就利用气压式液位计测液位的同时进行充气。集污柜应装透气管,高于遮阳甲板 3m,而且要装鹅颈管和防火网。集污柜的污水用污水泵打到甲板或舷外接头的管路中时,一般设有两个阀,一个通岸上的接受设备,一个排到不受限制的海域。排污水时,要用水冲洗箱底和箱壁的残渣,冲洗水也由污水泵排出。

第 2 章　船用焚烧炉

1　焚烧炉的用途与要求

焚烧炉用于焚烧固体和液体垃圾，73/78 防污公约附则 V 对处理垃圾入海有严格要求。如：

1)一切塑料制品(包括但不限于纤维缆绳、合成渔网及塑料垃圾袋)均不得处理入海；

2)对于下述垃圾，应在尽可能远离最近陆地之处处理入海，但无论如何不得在距最近陆地不到：

(1)25nmile 之外将会漂浮的垫舱物料，衬料和包装材料处理入海。

(2)12nmile 之外将食品废弃物和一切其它垃圾，包括纸制品、破布、玻璃、金属、瓶子、陶器及类似的废物，处理入海。

(3)上项中所述的垃圾，在通过粉碎机或磨碎机后，可允许在尽可能远离最近陆地之处处理入海，但无论如何禁止在距最近陆地不到 3nmile 之外处理入海，这种已经粉碎或磨碎的垃圾应能通过筛眼不大于 25mm 的粗筛。

(4)如果垃圾与具有不同处理或排放要求的其它排放物混在一起时，则应适用其中较严格的要求。

在特殊区域如地中海区域，黑海区域，红海区域和“海湾区域”除食品废弃物可距最近陆地不少于 12nmile 排放外，其它垃圾均不得排入海域。

3)船用焚烧炉的性能要求

(1)装置必须是通用性的。除能焚烧固体垃圾之外，也应能焚烧液体垃圾，如离心分油机的垃圾，厕所或生活污水处理装置剩下的残渣，过滤器或分离器的垃圾，机舱舱底水内的剩余垃圾。

(2)排气含灰量要低，通常含灰量不超过 $4g/m^3$。

(3)排气温度必需在 250～350℃之间。

(4)不能有气味外泄，因此必须在负压下工作。

(5)烧固体垃圾时必须能确保操作者的安全。

(6)必须能够不停炉安全地抽除不能燃烧的物体和除掉灰渣。

(7)耐火泥(或砖)必须能经受船舶的振动，且修理容易。

(8)有充分的安全设施，以保证操作者安全。

(9)焚烧炉应尽可能自动化。

2　海豚式焚烧炉

海豚式焚烧炉为英国生产的一种型式，外形图如图 7.4.2－1。

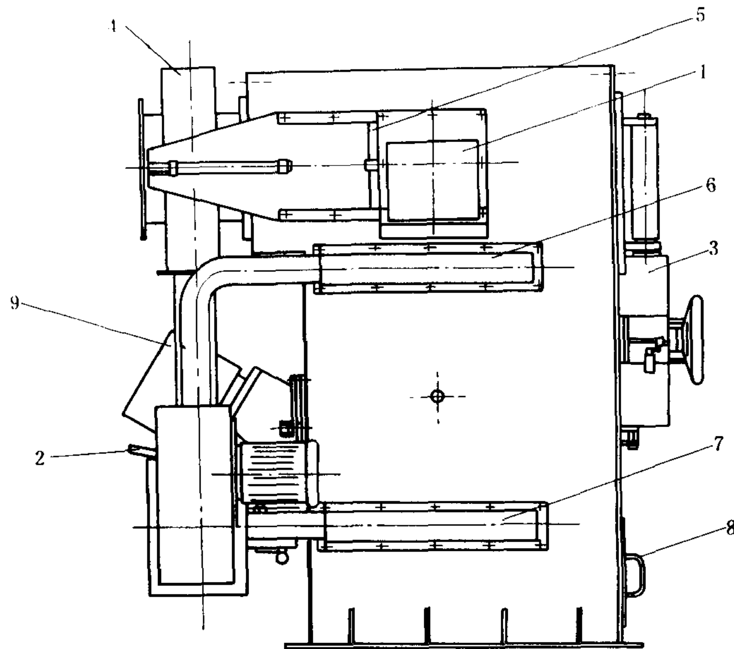


图 7.4.2－1 海豚式焚烧炉外形图

1－后燃烧器； 2－溢油盘； 3－加料门； 4－冷却空气进口环； 5－燃烧器滑板； 6－二次空气管； 7－一次空气管； 8－炉堂检查门； 9－点火燃烧器

2.1 结构特点

此种焚烧炉外壳用低碳钢焊接，通常厚度 10mm，内衬耐火层。

固体垃圾的加料口在前端，尺寸为 750×850mm。旋转加料门中心的一个手轮，可使加料门松开或关紧，在加料门的外面还有一个气动螺栓，如固定加料门的两个箱形楔块已关闭到位，气动螺栓将移动到锁紧位置。气动螺栓的动作激发一个压力敏感开关，反过来保证此螺栓移动到它的全行程，只有这些情况保证达到，起动程序才能开始。

除上述结构外，其他部分简要说明如下：

1）焚烧炉耐火材料，分为三层：

85mm 耐火层材料能承受最大工作温度 1400℃

25mm 中间高温绝热层——硅酸钙块

63mm 高效率低温绝热物质

绝热层保证炉体表面温度适合人体的温度，耐火和绝热层断面如图 7.4.2－2。

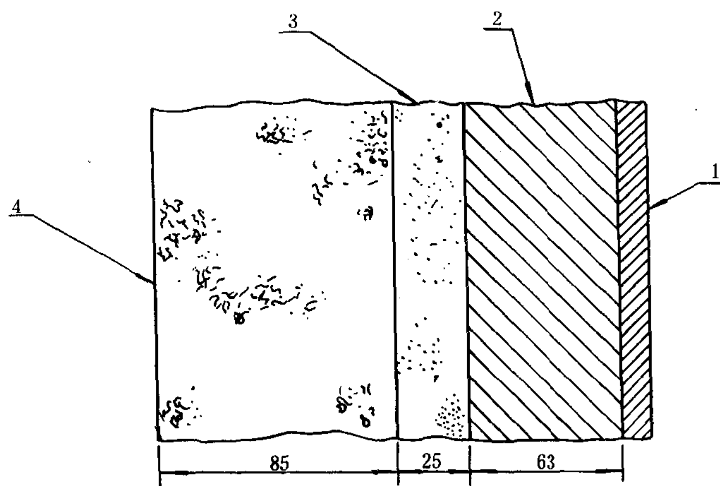


图 7.4.2—2　耐火层断面图

1—炉外壳；　2—低温高效绝热层；　3—中间高温绝热层；　4—受热面耐火砖

2)燃烧室内的缩孔过滤系统

燃烧室分为一次和二次燃烧室，在一次燃烧室中有一块托板如图 7.4.2—3 所示，称为缩孔过滤系统，该托板上布满大大小小的缩孔。

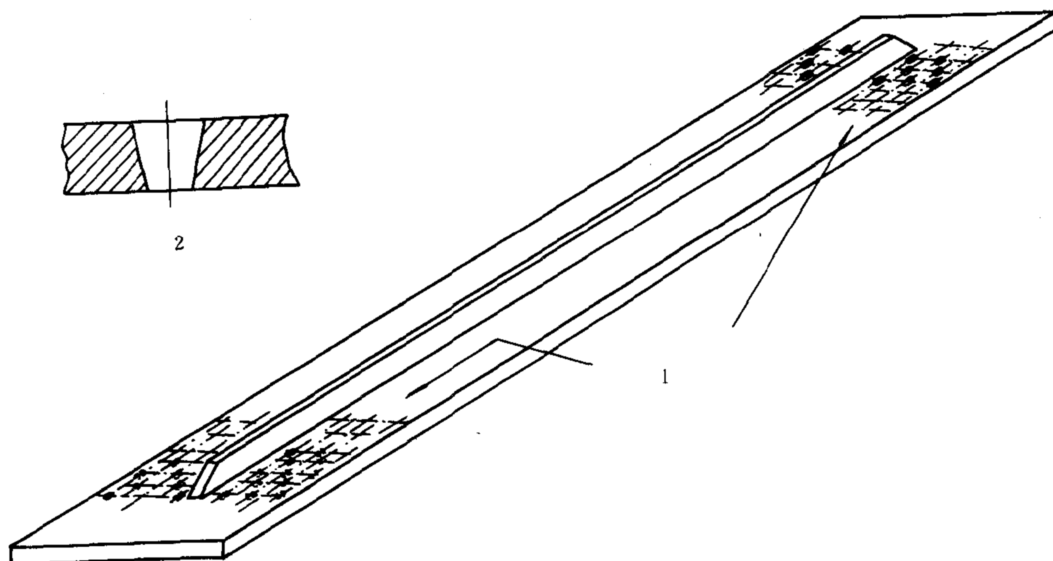


图 7.4.2—3　缩孔管过滤系统

1—缩孔；　2—缩孔断面

此系统有两个作用：

1)在主燃烧室内截留较大的灰渣。

2)通过过滤器的气体与已烧过的空气混合并保持温度在 800℃左右，以使烟中的小颗粒烧光，这个方法保证无烟工作时无需特殊控制设备。

3)空气的供给：

以鼓风机向通风管系供给空气，供一次及二次燃烧。

当焚烧固体废物时，空气直接进入一次燃烧室，燃烧室的温度由温度控制器自动控制。当焚烧液体垃圾时，主空气供给阀预先调整到一个合适位置。

到二次燃烧室的空气量用控制盘上的一个空气阀预先调整。从焚烧炉排出的燃气和一部分冷空气相混合，以减低排气温度。冷空气由同一鼓风机供给。

4)燃烧器和燃油供给系统：

此焚烧炉安装两个燃烧器，额定负荷时主燃烧器产热量为 840000 个，辅燃烧器产热量为 376000 个。燃烧器火焰有高低两档，两者的比例为 2：1。每个燃烧器都有单独风扇，它不管燃烧器点火与否均持续运转。

每个燃烧器，有一个易熔连接件，当燃烧器的火焰异常时，迅速隔绝燃油。每个燃烧器带有单独的高压油泵。焚烧炉额定的最大耗油量为 32L/hr。

5)燃烧器滑板：

两个燃烧器均装在滑板上，并共同装有一个滑板机构，以便使燃烧器在不工作时与焚烧炉分开，以防止燃烧器造成损伤。

滑板由压缩空气驱动，其工作是自动化的，当燃烧器需要工作时，一个气缸将滑板移入喷嘴口，当滑板完全到位时，触发燃烧器控制系统启动，允许燃烧器点火。当主控制系统使一个燃烧器关闭时，此滑板也自动移开，当滑板在移开位置时，燃烧器的风扇继续工作以冷却滑板。

6)液体垃圾投放设备：

液体垃圾输入一个低碳钢存储箱，正常容积为 340L。而后由一个小的齿轮泵抽吸通过一个电磁阀到焚烧炉的第一燃烧室。在压力下被投入一特殊的高熔点焚烧盘内予以烧毁。液体垃圾的流量由燃气温度控制。

7)控制与仪表：

控制板与焚烧炉分开，可以安装在舱壁或甲板上，控制板上安装起动和紧急停止按钮、警报、运转灯光信号，包括：

(1)燃烧器、点火燃烧器、诱导风扇、燃烧风机、液压垃圾泵、燃烧器的火焰都有显示信号。

上述设备如超负荷，均有报警和显示信号；燃烧器故障也有报警和显示信号。

(2)开关和按钮有：循环起动按钮、重新装填按钮、垃圾/种类选择开关、报警灯及噪音抑制开关、液体垃圾泵停止按钮、空气管“清扫”按钮。

(3)仪表：在污物井、主燃烧室、燃气、燃气温度等处均有温度表。

(4)其它还装有：燃烧空气阀定位器、烟气监视器、垃圾阀定位器等。

2.2 操作、保养与维修

1)操作：

不论消毁固体或液体垃圾，此过程均系自动控制，仅两种垃圾操作的模式不同。

(1)固体垃圾：

在加料门内填入固体垃圾，将加料门旋转到关闭位置，转动手轮将其锁住，操作模式可选择：

① 固体垃圾完成一个完全的燃烧循环后自动转到液体垃圾燃烧，当液体垃圾箱空时自动关闭。

②在固体垃圾焚烧完成一个完全的循环，并冷却到预定重新装填的温度后，重新填装固体垃圾燃烧，当"重新装填"的灯光亮后，按"重新装填"按钮，就允许重新充填固体垃圾，如果"重新装填"按钮不按下，焚烧炉将自动停止。

(2)液体垃圾：

液体垃圾在一个固体垃圾完成焚烧以后自动输入，或者可以按"液体控制"按钮。以上两种过程开始和控制的动作是相同的。

液体的流量由燃气温度所激励的机动阀控制。在炉膛液面上有一个越控(Override Control)系统，采用热电偶装在炉床上离底部 25cm 左右，在正常情况下，在液体垃圾燃烧井之上用这热电偶直接测量燃气温度。如温度低于预定温度，自动地将点火燃烧器转到高火焰位置。当温度正常时，燃烧器即转到低火焰位置。

如温度超过预定最高温度时，表明焚烧炉有故障，应停止工作。

2)安全要点与关闭顺序：

(1)有下列情况之一时将使焚烧炉进入关闭情况。

①主燃烧器电动机故障；

②点火燃烧器电动机故障；

③诱导风扇故障；

④燃烧器风机故障；

⑤垃圾泵故障；

⑥主燃烧器火焰中断；

⑦点火燃烧器故障；

⑧烟气温度过高；

⑨水位控制计温度高。

(2)当焚烧炉停止时，按下列程序：

①停止垃圾泵；

②关闭液体电磁阀；

③点火燃烧器进行一段时间的低火焰燃烧，然后关闭；

④当焚烧炉达到预定的"停止状况温度"后关闭；

⑤供给主燃烧室的空气开关(一个预定的时间)；

⑥当炉子达到预定的关闭温度，所有部件都停止工作。

3)保养：

(1)每天保养：

①在冷态下清除炉内垃圾，但不要将耐火砖表面任何坚牢粘附物除去，否则将会损坏耐火砖；

②检查进入主燃烧室的空气道，不让灰渣阻塞。操作空气管清扫设备控制器实行清扫，对难于清除的物质，用一个硬刷子人工清除。

③清扫燃烧室内的过滤板，可用长钢丝分别通缩孔，更方便的是用压缩空气喷嘴对滤板吹除。

④保证燃烧器旋口畅通，清除阻塞物。

(2)每周保养：

①对轮轴、空气阀和加料门镀链加轻机油。

②检查门的石棉密封，必要时更换石棉绳填料。

③检查耐火层和垃圾盘有否损坏，小面积的破碎应由空气助凝耐火泥填补，任何重大的损坏要用一种能压实的耐火材料修理。

④检查油浸的热电偶有无腐蚀和结垢沉淀。

⑤检查液体垃圾进入管是否阻塞或积渣。

(3)每月保养：

①打开电气控制板的盖子并吹除设备内部的灰尘。

②试验燃烧器电极，保证在油燃烧器的电极末端与燃烧器喷嘴成一直线，并保证正确的火花间隙。如发现电极烧坏了，应予更换。

(4)每季度保养：

风扇电机未采用密封预润滑轴承者，应加润滑脂，油嘴加小量油脂，擦除多余的润滑脂。

3　英西马(INCYMAR)式焚烧炉

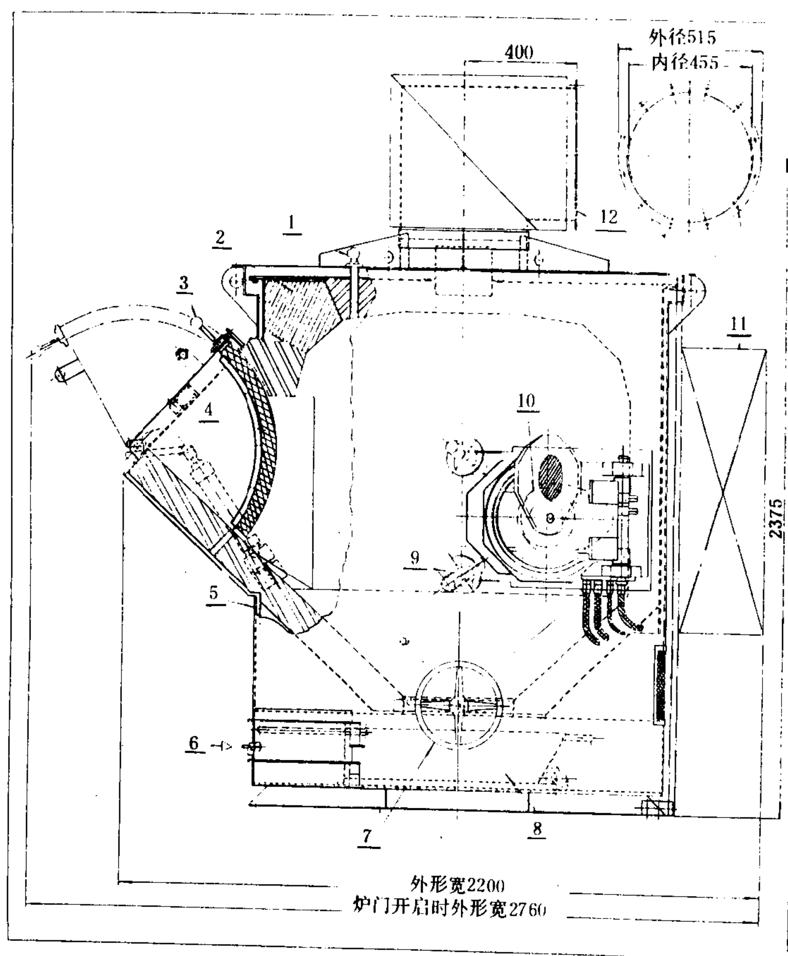


图 7.4.2－4　英西马船用焚烧炉布置结构图

1－热电偶；2－低热量可拆耐火砖；3－固体垃圾加料门；4－加料槽隔热板；5－双层空气冷却外壳；6－空气进；7－自清式旋转炉栅；8－移动式灰盘；9－柴油点火器；10－转杯燃烧器；11－电气控制箱；12－风扇

亦为英国生产的一种焚烧炉，这个焚烧炉的耐火层比一般焚烧炉较薄，热惯量较低。因此升温快，冷却也快，可以节约燃料。为了维护操作者的安全，炉体采用两层保护，两层中有冷空气循环，使外层温度不高于 60℃。薄耐火层修理也较易。其布置结构如图 7.4.2—4，性能分述于下：

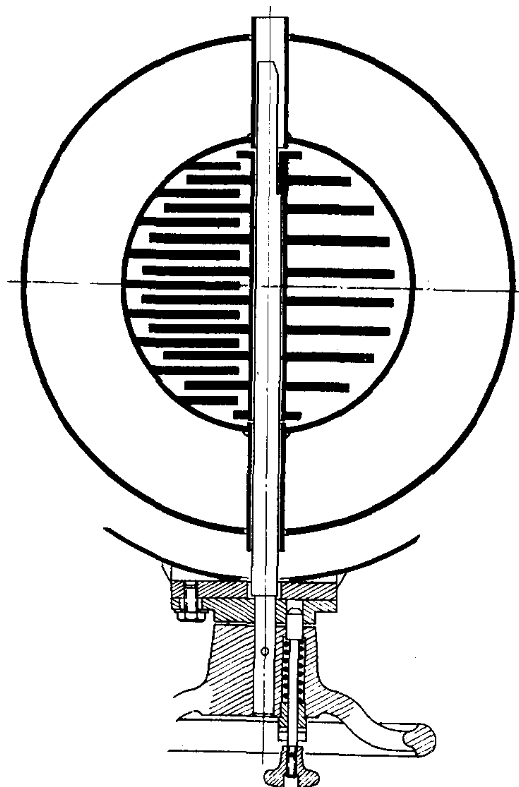
1）液体垃圾燃烧：

（1）转杯式燃烧器：为了焚烧液体垃圾，通常选用的燃烧温度为 1000℃，在此温度下燃烧气体在炉内停留时间 1s，在炉膛内的温度必须均匀分布。要同时满足燃烧温度和停留时间较难解决。例如用一个高热值液体燃烧器，和一个低热值液体燃烧器，则高热值液体燃烧器燃烧气体或柴油温度可高达 1800～1900℃，低热值的水基物料温度又太低，这样两个燃烧器同时在炉膛内燃烧时，炉内温度场很不均匀。因此如果使高热值液体和低热值液体在同一火焰中燃烧（同一燃烧器），这样就较易满足燃烧温度和停留时间的要求。英西马式焚烧炉有单一焚烧器，即转杯式燃烧器。在这种燃烧器中有两个环路：一是雾化低热值水基垃圾；另一是雾化高热值液体燃料或附加柴油。

此外，转杯式燃烧器不象机械式燃烧器容易堵塞，因为污液出口的孔径大，减少了阻塞的可能性。

由于污液泵供给的污液中含有悬浮固体，所以当压头高时泵极易损坏，而转杯式燃烧器所需的工作压力较低，故污液泵不易损坏。

由于燃烧器在圆形炉膛中成切线安排，燃气必然产生旋流，燃气带入的固体颗粒也跟着旋转，这样使固体颗粒能在燃烧室内完全烧掉。


图 7.4.2—5　炉栅

2）燃烧室顶：

焚烧炉的燃烧室是耐火材料制成的。其顶部用小块耐火砖以陶瓷铆钉与顶部与耐热结构钢支架相连，每块耐火砖是分开的，便于拆卸。圆桶也为耐火砖制成。这种设计有下列优点：

一整个顶部可拆卸，便于维修；

一便于更换顶部与圆桶连结的耐火砖。

由于室顶便于拆卸，室顶拆卸后即可检修内部，所以此种焚烧炉的停炉检修时间很短。

3）焚烧炉的火墙：

火墙很薄，在冷却几小时后如需重新升火，由于热惯量低，从冷态到工作温度时间快（只要 30min，一般焚烧炉要 2h 以上。），因此，燃料消耗量大大降低。

4）炉栅：

固体的焚烧可以从底部或侧面获得空气，但最好空气从底部上来，底部的炉栅一方面通空气；一方面灰渣可以下落。空气的供给采用风扇抽风，以建立炉膛所需要的负压。

炉栅与一根中心轴连接，并安装有一个离合器与手轮连接。如图 7.4.2—5

炉栅由手轮操纵，它有下列特点：

(1)将炉栅绕轴旋转 90°,一方面将不能燃烧的物体落入灰盘(如罐头盒、玻璃等);一方面清洁炉栅。旋转时固定炉栅和活动炉栅彼此清除残渣。

(2)拆卸手轮后,可以将炉栅转轴抽出,进行检查和修理。

5)灰盘:

为装有轮子和一个大手柄的金属盘,容易拉出和推进,排灰渣方便。

6)固体垃圾投料:

固体垃圾通过一个加料门装入炉膛(见图 7.4.2-4)。为保证操作者的安全,加装有屏隔板,在加料和有意外事故时,火焰不会波及操作者。它的操作程序如下:

一加料门开启时屏隔板关闭;

一固体垃圾放入闸门内;

一当加料门坚密关闭后,可将屏隔板转动,固体垃圾进入炉栅上;

燃烧点火器,点火时仅需 10s。在转杯式燃烧器前喷入柴油,产生相当大的火焰,以保证点火的可靠性。

在主燃烧器工作时,点火器不工作。点火器装置在凹处,可防止接触火焰,并用冷空气冷却。

7)调节:

污液的热值在 24h 期间变化很大,当热值低时,为使能保证燃烧,可打开柴油供给开关来达到。但这非常不经济,在许多情况下,船主由于柴油消耗大,禁止船员使用焚烧炉。此外喷入柴油对耐火材料增加热冲击,这也不利。该设备用一个电气控制阀,由炉膛温度控制最佳燃烧状况所需的油量,这样保证最低的燃油消耗。

8)安全设备:

焚烧炉在工作中为防止意外事故设有许多保险措施:

(1)固体加料门双电路控制。

(2)燃烧器活页门关闭用电路和机械控制。

(3)在点火期间控制点火器火焰,并给主燃烧器点火。

(4)控制主燃烧器的火焰。

(5)控制燃烧温度。

(6)燃烧污液只在一定温度之下工作。

(7)炉膛预定不超过某一最大温度,以保护炉膛耐火泥。

4 阿特拉斯 ASWI-402-A 焚烧炉

这种焚烧炉为丹麦生产的,其排气管可为直立式或水平式,其结构类似,视船上安装地位定购不同的外形尺寸。

焚烧炉本体是由双层钢板制成,炉膛分一次和二次燃烧室,内部的钢板衬以绝热性能高的材料。焚烧固体废料的燃烧室也是双层钢板用高绝热材料衬里;并与第一燃烧室用陶瓷板分开。焚烧炉的前端装有一加料用的涡槽。

图 7.4.2-6 为焚烧炉的本体和系统原理图。图中只示出炉子的本体形状。

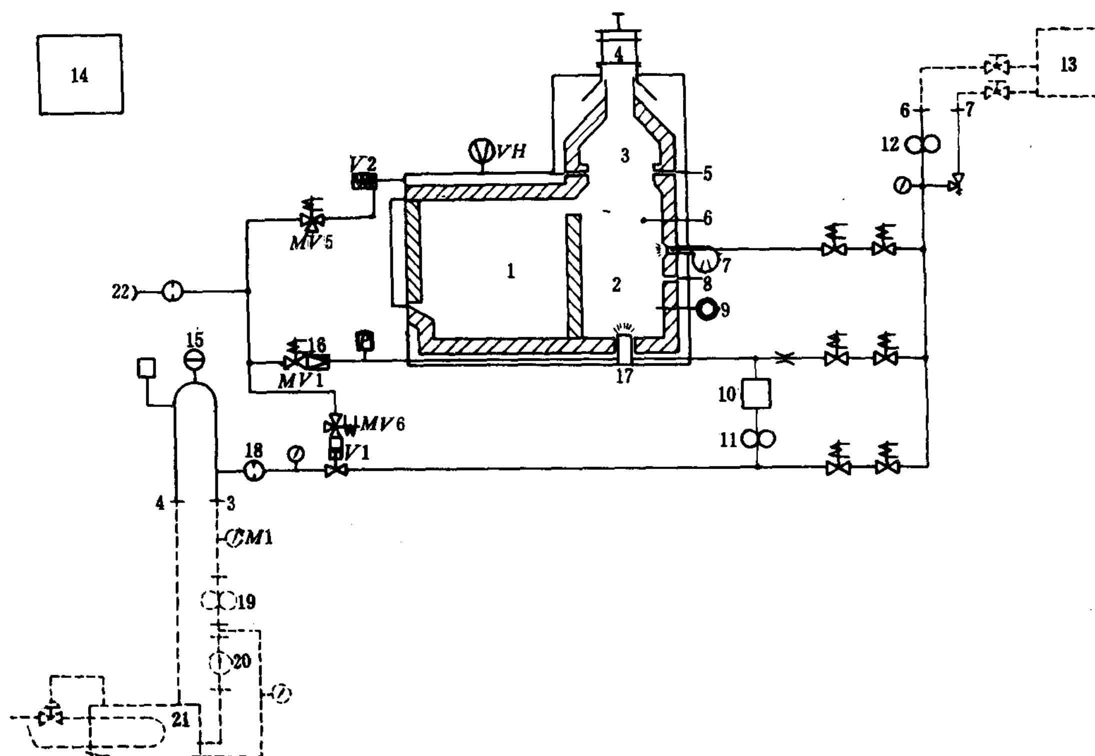


图 7.4.2－6 ASW140ZA 焚烧炉管路系统图

1－固体燃烧室； 2－主燃烧室； 3－二次燃烧室； 4－冷空气混合室； 5－空气喷嘴； 6－热电偶； 7－辅助燃烧室； 8－空气喷嘴； 9－火焰探测器； 10－混合箱； 11－液体垃圾配置泵； 12－柴油泵； 13－柴油柜； 14－控制板； 15－空气排出器； 16－减压阀； 17－液体垃圾燃烧喷嘴； 18－自清滤器； 19－循环泵； 20－粉碎泵； 21－液体垃圾箱； 22－从送风机来

焚烧炉可以单独焚烧固体或液体垃圾，也可以二种垃圾一起烧。

当焚烧液体垃圾时，叶轮带刃的离心式粉碎泵 20 从存放箱 21 中吸入 液体垃圾，并将它粉碎混合后通过循环泵 19，滤器 18、配量泵 11 及混合室 10 输入喷嘴 17。由于液体燃料本身的热值不稳定，有时高，有时低。为了保证炉内温度不致变化太大，不超过允许值，所以根据炉温（正常值约为 800～1000℃），自动地控制配量泵的转速。当液体垃圾的热值太低，炉膛内温度低于 800℃时，自动地将柴油加入，在混合室 10 中混合后送入炉内燃烧。

如果固体与液体垃圾一起燃烧时，则应先将固体垃圾通过装料门加入到燃烧室 1 中，然后再启动液体垃圾系统工作。固体垃圾在炉膛 1 中全靠热分解燃烧。

冷炉起动时，用柴油系统点火并燃烧，使炉温上升后，自动地转到液体垃圾系统工作。当液体垃圾箱中的液位降到最低位时，液体垃圾系统自动停止工作，并转到冷却状态。冷却状态时，只有送风机继续工作。当炉温下降到 80℃时，全部工作停止。

当只燃烧固体垃圾时，启动柴油系统点火并燃烧。当炉温达到 800℃以上后，柴油系统停

止工作，固体燃料在分解状态下燃烧，而当炉内温度低于800℃时，柴油系统又自动启动工作，直到固体垃圾燃完为止。

焚烧炉装备有需要的警报系统，它显示故障的情况并给出警报。

所给警报如下：

燃烧温度过高；

火焰故障；

液体垃圾温度太低；

雾化压力太低；

液体垃圾箱液位太低。

焚烧炉装有一台送风机，它供给炉外壳冷却及燃烧用的空气、排气温度冷却等用途。排气离开焚烧炉的温度低于350℃。

5 OG/GS系列焚烧炉

这种焚烧炉是我国引进挪威戈拉公司船用焚烧炉制造技术进行生产的。

焚烧炉有二个系列五种规格：OG系列有OG100型、OG120型、OG200型、OG400型、GS系列有GS500型。

图7.4.2—7为OG型焚烧炉的结构原理图

焚烧炉系统主要由燃烧室本体、电气控制箱、烟气风机、烟气风门等组成。燃烧室本体由钢结构、绝热材料、耐火砖和燃烧器组成，炉体内为园柱形空间，被燃物质在燃烧室内形成螺旋燃烧气流，以增加被燃物质与空气接触的表面积和燃烧时间，保证了被燃物质的充分焚化。

为确保安全使用，戈拉焚烧炉上装有一整套安全保护装置如：焚烧时进料门的自动锁紧机构；停机后，为使炉膛内温度逐渐降低，时间继电器自动控制烟气风机4h后停转等。

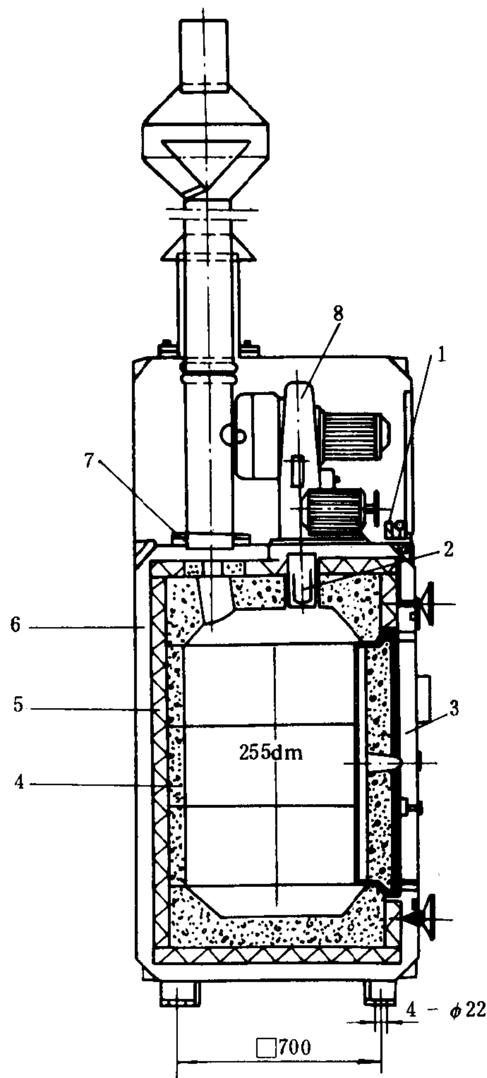


图7.4.2—7 OG型焚烧炉的结构原理

1—进料门的限位止动开关；2—柴油和污泥燃烧器；3—进料门；4—组合式耐火砖；5—绝热材料；6—冷却空气夹层；7—排烟口；8—鼓风机

焚烧炉燃气温度高，最大可达1400℃。各种垃圾完全燃烧，排出烟气无烟无臭，对环境公害无影响。

污油泥柜底部装有一台离心泵，它起着循环和均化污油泥柜中液体的作用。当污油泥柜抽空到低位时，污油泥燃烧器自动停止。

焚烧炉的主要技术性能及参数见表7.4.2—1。

表 7.4.2-1 OG、GS型焚烧炉技术参数

参数 \ 型号	OG100	OG120	OG200	OG400	GS500
1. 热容量 W	420000	504000	1176000	2100000	2730000
2. 可焚烧废物量 1)废油 2)固体废物 3)污水泥渣	4L/h 每炉 200L 4～6h	14L/h 每炉 200L 4～6h	45L/h 每炉 400L 3～6h 15L/h 允许最大颗粒 8mm,加热温度 60℃最高 80℃	80L/h 每炉 400L2～4h 30 L/h 允许最 大颗粒 8mm。 加热温度 60℃ 最高 90℃	110L/h,没有热 值的废水污泥 一般最大 135kg/h 峰值 200kg/h
3. 燃烧室温度 1)油污泥 2)固体废物	最高 1400℃	最高 1400℃	最高 1400℃	最高 1400℃	最高 1400℃
4. 烟气出口温度	300℃ (400℃报警)	300℃ (400℃报警)	300℃ (400℃报警)	300℃ (400℃报警)	300℃ (400℃报警)
5. 炉外壳表面温度	高于环境温度 20～30℃	高于环境温度 20～30℃	高于环境温度 10～20℃	高于环境温度 10～20℃	高于环境温度 10～20℃
6. 柴油燃烧日柴油耗量	6L/h	6L/h	10～20L/h	10～28L/h	14～36L/h
7. 空气耗量	800Nm³/h	1500Nm³/h	4500Nm³/h	6000Nm³/h	12000Nm³/h
8. 动力消耗	约 1.5kW	约 3kW	5.5kW 最大 7kW	6.5kW 最大 9kW	14kW 最大 21kW
9. 总质量	1300kg	1300kg	2600kg	2600kg	4300kg

6 AQ-10焚烧和蒸汽两用炉

为了利用焚烧废料所产生的热量,丹麦阿尔巴吉锅炉厂生产了这种两用炉,我国引进了这项技术,根据统计,主机如每小时耗油150克,则产生的油渣约为1%。7000～30000kW 主机的24h 油耗和产生的油渣量如表 7.4.2-2 所示。

表 7.4.2-2

主机	7000kW	15000kW	22000kW	30000kW
燃油消耗量	36t	72t	108t	144t
分油机产生的水和油渣 1%	360kg	720kg	1080kg	1440kg
在其中纯油占 50%	180kg	360kg	540kg	720kg

各种油的热值

重油 40190kJ/kg

柴油 41868kJ/kg

油渣 27214kJ/kg (含水 30%)

如果利用这些废油和固体垃圾燃烧的热量产生蒸汽，这对于节能是有利的，如用AQ—10两用锅炉，1kg废油可获得10kg蒸汽，因而当前不少船舶选用这种焚烧炉。其示意图如图7.4.2—8所示，右侧为固体垃圾焚烧室，左侧下部为液体垃圾及固体垃圾气体焚烧室（主燃烧室），左侧上部为锅炉管群及汽室。

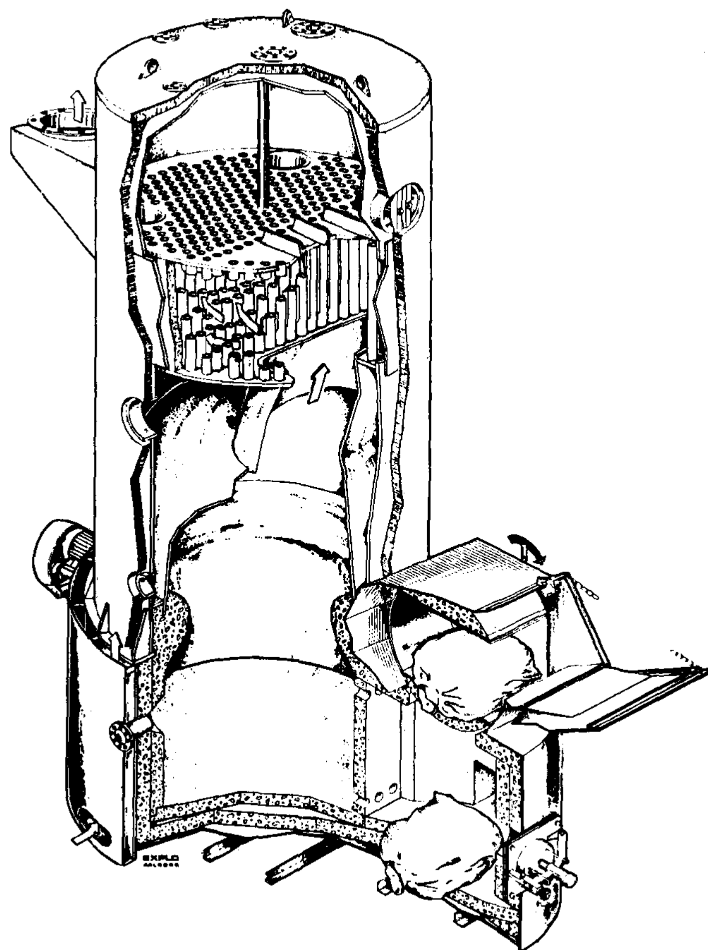


图7.4.2—8 AQ—10焚烧/蒸汽两用炉

图7.4.2—9为AQ—10焚烧炉的管路系统图。

配量泵19是一单螺杆泵，直接与直流电动机相连。排量取决于重油的种类，废油中水的含量。配量泵预定4个固定位置，即废油工作的高焰－低焰，重油工作的高焰－低焰。如果在低火焰位置产生的热量超过所需量，自动燃烧程序将燃烧器关闭。

在任何时候如果超过某种限制，如水位太低，安全阀故障，油温太低（仅指油渣和重油的粘度因温度低而太大时），火焰故障，空气压力下降，燃烧器都能停止工作。并且其自动程序锁住，故障警报和灯光显示，只有在故障排除后，按"重新投入"按钮，燃烧器才能重新起动。

油渣存放在油渣收集箱中，箱内装有加温盘管和高/低位指示器。由输油泵（单螺杆泵）将油渣输到油渣混合箱，油渣中的水大部分沉淀，沉淀的水通过三通旋塞可直接排到舱底污油水分离器。油渣在混合箱中被乳化，含水量大约为20%～30%（重量），混合箱中的浮化油渣需加温，加温后保持1000s（Red. No. 1，37.8℃）以下，以便输出和循环。根据需要可向混合箱中加水或重油，用阀控制加入量。

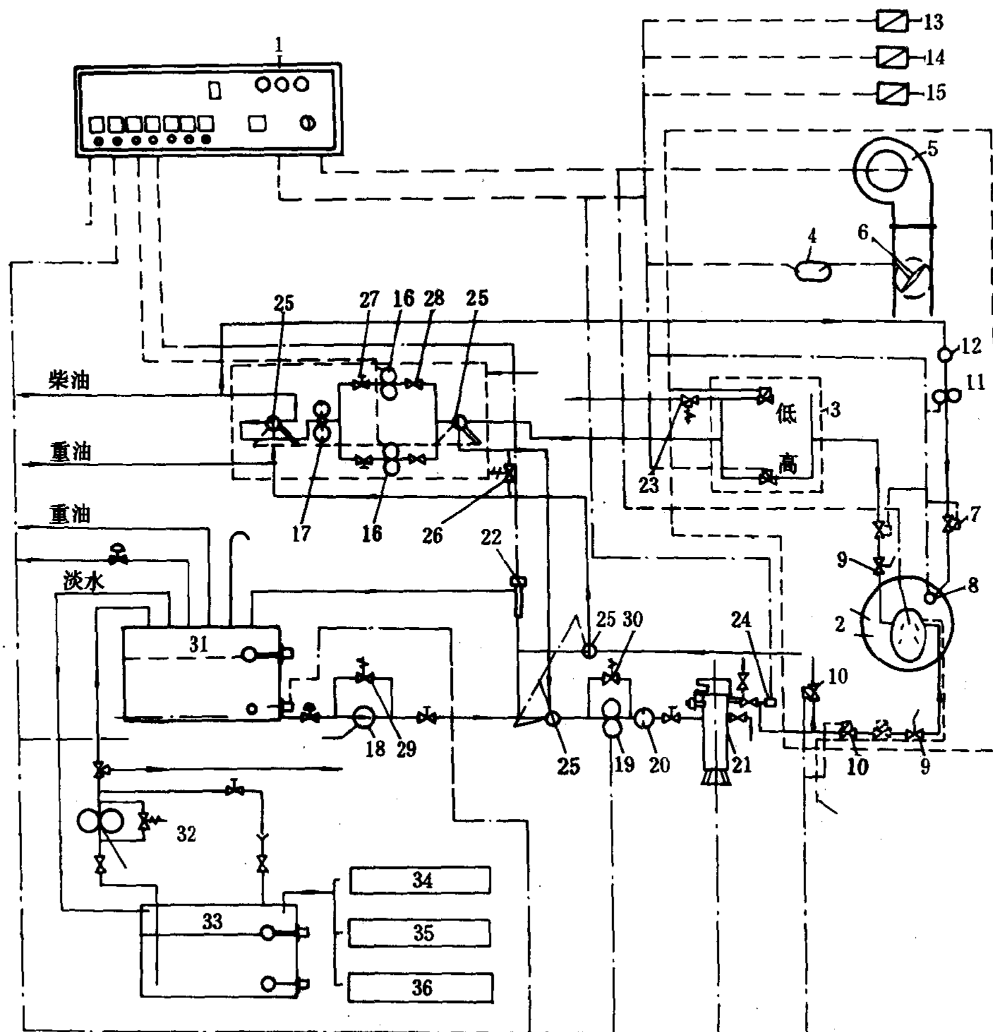


图 7.4.2—9 AQ—10 焚烧炉的管路系统

1—控制板； 2—转杯式燃烧器； 3—阀组； 4—空气调节器伺服电动机； 5—强制通风机； 6—空气调节器； 7—电磁阀； 8—柴油点火器； 9—手动速闭阀； 10—电磁阀； 11—点火柴油泵； 12—过滤器； 13、14—稳压调压器； 15—稳压安全装置； 16—油泵； 17—滤器； 18—柴油泵； 19—配量泵； 20—粗滤器； 21—电加热器； 22—油中水含量传感器； 23—压力控制阀； 24—油温警报； 25—三通阀； 26—压力泄放阀； 27—阀； 28—止回阀； 29、30—超压泄放阀； 31—废油混合箱； 32—转输泵； 33—废油收集箱； 34—燃油分油机； 35—滑油分油机； 36—舱底水箱

正常情况下，油渣中水的含量最多不大于 30%，这样可以保持稳定的火焰。混合箱的容积能容纳 24h 左右的消耗量，也可按船主的要求确定容量。

混合箱内废油的均质混合由一个粉碎泵进行，反复循环使之达到乳化状态，粉碎泵是离心泵，前端吸口带有旋转刀刃和固定刀刃，固体进入后由两种刀刃的相互运动将固体垃圾切削成颗粒。其均匀程度取决于被处理的物质经过泵循环的次数。大约循环 5～10 次，固体颗粒可小于 1mm。正常情况下可采用 $35m^3/h$ 的泵，也就是箱中废油渣及水循环 4～8 次/h，这样保证水和废油渣均匀乳化，具有近似的热值。

在循环系统中，备有一测含水量的杆状传感元件 22，以测量废油中水的含量。它与一个电容测量设备相连，当废油中水的含量变化，其介电常数也变化，因此可以显示水的含量。水的含

量在控制盘上显示。

1)用柴油工作：

柴油和废油管路的三通阀 25 转到柴油位置时，柴油通过双联滤器和油泵 16 主阀组 3(它控制输油到燃烧器的油量)，阀 23 控制油的压力。燃烧器启动时，将控制板上的油料选择开关旋到柴油位置。

2)用重油工作：

将三通阀 25 转到重油位置，重油经双联滤器 17、泵 16 到配量泵 19。此外控制给油量的多少也就是控制火焰的高低。将控制板上燃料选择开关旋到重油位置。

3)用油渣工作：

将三通阀 25 转到油渣位置，油渣由配量泵 19 从循环管路抽去，通过粗滤器 20，经过加温器 21(用电或蒸汽加温)使油粘度为 5～8°E 到燃烧器。

一个油温警报器，当油温过低时发出报警。

燃烧器启动时，将控制板上的燃料选择开关旋到废油位置。

当设备在冷态时，为了起动，控制板燃料选择开关也要先放在柴油位置，经 5～10min 后，燃烧室才能到达能保证安全点火和油渣的完全燃烧。在控制板中有一个时间继电器自动转换到燃烧废油的位置。

4)焚烧固体垃圾：

AQ－10 的固体焚烧室在图 7.4.2－8 的右侧，如图所示。这个焚烧室与主燃烧室一样衬以耐火材料，用一块耐热钢或耐火材料板和主燃烧室隔开，如图所示上部下部开有一排小孔连通。固体垃圾通过手动溜槽放入此焚烧室，标准的垃圾袋容积大约 75L 左右。

这个溜槽的设计消除了回火的危险，经船级社批准能在机舱内对焚烧炉加料(如焚烧炉在机舱)，一个诱导通风扇与主燃烧室和此固体燃烧室相连，保持 5～15KPa(5～15mmH_2O)负压。这样气体和气味不会外泄。

固体燃烧室的工作

AQ－10 的锅炉部分正常工作时可以焚烧固体垃圾。固体焚烧室由主燃烧室来的一部分燃气和辐射热加热至温度 650～750℃，此时固体垃圾在高温下分解，一部分在固体燃烧室燃烧，一部分在主燃烧室燃烧。此时主燃烧室的温度约 1000～1300℃。

固体垃圾焚烧完毕后剩余的物品，包括金属、玻璃等可以从燃烧室下的除灰门取出。

参 考 文 献

[1] 中华人民共和国船舶检验局：海船防污染结构与设备规范，1986 年

[2] 国际海事组织，1973 年国际防止船舶造成污染公约及其 1978 年议定书，1981 年

[3] IMO：MARPOL 73/78 and Relevant Documents，1985

[4] Super Trident Marine Treatment plant Intruction manual：Hamworthy Engineering L. T. D UK Sasakura Engineering co. LTD

[5] Red Fox manual：Red fox industries INC

[6] SALAN & Wicander Sweden：Neptmvtic sewage and waste waten Treatment unit general instruction manual

[7] Instruction for sewage treatment unit：Kawasaki Heavy industris LTD

[8] ELSON marine Sewage treatment system construction manual: Elson LTD England

[9] 美国海岸警卫队对外国旗的要求:33PR 第 159 部份一船用卫生设备

[10] 船用卫生设备标准:美联邦规章法典,交通部

[11] P. ABRIL and Nagel: Antipollution on beard ships incinerotion, the total solution, 1979

第5篇　船舶采暖、通风和空气调节系统

第1章　船舶舱室的舒适和卫生环境条件

船舶采暖、通风和空气调节(简称船舶空调)的任务是对舱室内空气进行处理,包括通风换气、干燥或加湿、加热或冷却、净化再生、消毒杀菌等。使舱室内空气的温度、相对湿度、清洁度和流动速度保持在一定范围内。此外,船舶空调还必须考虑尽量降低噪声,以保证船员和旅客适当的工作和生活条件,或者满足某些货物或仪器设备对环境气候的要求。

考虑到船舶乘员生理卫生方面的要求和空调设备的经济效果,船舶生活房间内合理的"人工气候"条件必须根据具体情况加以确定,各国都制订了空调舱室的设计标准,在运行管理中,也必须随船舶航行区域气候的变化而随时加以调节。

对危险品货物的运输和舰艇战斗力的发挥,在某种程度上更受到船舶通风和空调系统完善程度的限制,为确保其安全可靠,订有严格的法规要求。

船舶空调在春秋季节的气候条件下,常采用单纯通风,将舱外空气吸入,只经过过滤而直接送入各舱室,以保持舱室内空气的清新。

一些不设空调的舱室,如厕所、浴室、配餐间等,由专门的抽风系统将其向空气排至船外。

机舱内除必须排除热空气和封闭热源外,常采用机舱集中控制室局部空调,以使人员值班区获得良好的环境气候条件。

集装箱船的集装箱视其为干杂货集装箱,冷藏集装箱、通风集装箱、动物集装箱还是液体集装箱等,按不同要求,各箱可单独解决。以保证箱内的货物质量。

舰艇空调除应保证在各种恶劣气象条件下,能满足舰上人员起码的生活条件和装备仪表的正常运行外,还必须考虑到浸水或火灾情况下的应急措施,并能防止各种设备和人员受有害气体或放射性尘埃的侵害。

1　通风换气要求

船舶舱室通风、换气的要求随着各类舱室条件的不同和人员对环境条件的不同要求,因而差异很大。世界各国都有自己的规定,且差别也较大。表 7.5.1—1 所示为船舶各类舱室的通风、空调型式和世界各国对换气率(每小时换气次数)的要求。

表 7.5.1—1　　船舶舱室通风形式、温升、换气率与采暖温度表

通风舱室名称 \ 通风方式		空调装置	机械通风		自然通风		相对夏季外加温度允许温升℃		换气率　次/h						采暖温度℃	备注
			送风	抽风	送风	抽风	日本 SOT	美国 HVAC	中国	日本 SOT	美国 HVAC	英国 DTI	挪威 NSC	西德 SBG	HVAC	
机舱	蒸汽机机舱		✓			✓			20～30	25～40						
	汽轮机机舱		✓			✓			30～40	25～40						
	柴油机机舱		✓	✓					30～40	25～40						
锅炉舱	锅炉舱(燃油)		✓		✓				30							
	锅炉舱(燃煤)		✓		✓				30							
辅机舱	主发电机舱		✓	✓			+5		25	10						
	油泵舱		✓	✓					30～40	20			30			
	净油机室		✓	✓												
	冷冻机舱		✓	✓			+15		氧 30 氨 40	5						
船员、旅客房间及办公会客室		✓							10～15			10～15	6	10		
公共舱室	饭厅	✓							15～20			15～18	6	15		
	娱乐室及吸烟室	✓							15～20			15～18	6			
工作室	驾驶室	✓							10～15							
	海图室	✓							10～15							
	无线电室	✓														
	综合办公室	✓														
	装卸办公室	✓														
	装卸操纵室	✓														
	机舱集控室	✓														
厨房	厨房	△	✓	✓	✓			5.5	40～60	40～60	60	20～40	20		10	
	配膳室	△		✓	✓			5.5	20～30	15	15	10	6	15	10	
卫生间	病房	✓				✓			10～20			12		12		
	治疗室	✓				✓			10～20							
	洗涤室			✓	✓					20						
	干燥室			✓	✓					15		10				
	洗脸间			✓	✓					10						
	厕所　公用厕所			✓	✓				15～20	10		30				
	厕所　专用小盥洗室			✓	✓				15～20	10		30				
	浴室			✓	✓				15～20	10						
	淋浴室			✓	✓				15～20	10						
	走廊				✓	✓		5.5	5～10		30					
货舱	散货船				✓	✓			3～5	2.5						
	矿沙船				✓	✓			3～5	1.25						

通风方式 \ 通风舱室名称			空调装置	机械通风		自然通风		相对夏季外加温度允许温升℃		换气率 次/h						采暖温度℃	备注
				送风	抽风	送风	抽风	日本 SOT	美国 HVAC	中国	日本 SOT	美国 HVAC	英国 DTI	挪威 NSC	西德 SBG	HVAC	
机房	电罗经室	夏天制冷 冬天取暖	△		✓ ✓	✓ ✓		+5	5.5	10～15	10	15				4.5	
	报房	夏天制冷 冬天取暖	△		✓ ✓	✓ ✓	+5		10～15	10							
	配电板室				✓	✓					10						
	升降机室				✓	✓		+15	8			10					
	舵机舱				✓	✓		+15	8	6～10	5	10				4.5	
	应急消防水泵舱				✓	✓		+10			5						
	CO_2 瓶站室					✓	✓	+15	8	5～10		10					
	泡沫柜舱				✓	✓		+5			5						
	泡沫发生舱					✓	✓										
	应急发电机室					✓	✓	+10	8			6				4.5	
	蓄电池间					✓	✓	+10		30		15				4.5	
	空调器室和风机室			✓			✓		8							4.5	
	首、尾侧推推进器室								8			10				4.5	
	绞盘机室								8			10					
	起货机控制室								14	25～40		6				21	
	绞车变流机室								8			10					
	锚机舱								8			10				4.5	
	轴隧					✓	✓					6					
	泵间				✓	✓			8		20	20		30		4.5	
仓库	油布舱				✓	✓					10	10				4.5	
	木工间				✓	✓			5.5			10				15.5	
	油漆间					✓	✓		5.5			10					
	灯具储藏室					✓	✓										
	洗衣机室								5.5			15				21	
	被服间					✓											
	各种仓库贮藏室					✓			8	5～10		10					
	海关关税仓库					✓			8			6				4.5	
	厨房餐具仓库					✓											
	厨房公用干食品库								5.5	15～20		15	10～20	13	10	10	
	粮库		△		✓	✓		保持30℃			10		10～20				
	旅客行李房				✓	✓			8	20						15.5	

续上表

通风舱室名称 \ 通风方式		空调装置	机械通风		自然通风		相对夏季外加温度允许温升℃		换气率 次/h						采暖温度℃	备注
			送风	抽风	送风	抽风	日本 SOT	美国 HVAC	中国	日本 SOT	美国 HVAC	英国 DTI	挪威 NSC	西德 SBG	HVAC	
其他	健身房	△				✓										

表注：(1)表中符号"✓"表示采用通风的装备，"△"表示定点通风的场合。

(2)日本 SOT 标准是在旧的 IS 基础上，重新进行审查及讨论的结果，制订成 IS—SOT 标准。

(3)美国 HVAC 是美国造船和轮机工程师协会技术和研究规划的 037 小组委员会编写的对商船采暖、通风和空气调节(HVAC)的设计标准。

(4)英国 DTI 为英国商业部标准。

(5)挪威 NSC 为挪威航运公司标准。

(6)机械通风：由于是用鼓风机通风，不受外界气象状态的影响，能保证正确的通风量。应尽量简化管道，在允许范围内进行换气。

(7)风量平衡：在机械送风或抽风时，应注意全部居住舱室的风量平衡。特别注意下列各舱室的污浊空气不向室外流，并考虑风量平衡：厨房、洗涤室、烘干室、洗脸间、厕所、浴室、淋浴室、粮库、油布舱等。

(8)舱容计算：家俱、机器、仓库内物件，虽各不相同，但其所占容积值很小，因此舱室容积是算至壁、顶、地板之间，不扣除机器、家俱等所占的容积，而把这些看作容积裕度。

(9)德国 SBG 规定在空调时，换气率可按新鲜空气为 80%和 100%两种情况设计，本表所列为前者。

表 7.5.1—2 所示为外国对船舶居住舱室所提出的新鲜空气需要量的一些有关数据。

表 7.5.1—2　**船舶起居室新鲜空气需要量** $m^3/(h \cdot 人)$

国别	新鲜空气量 $m^3/(h \cdot 人)$	附注
日本	22.5	
挪威(NSC)	30	挪威航运局要求，单人房间新鲜空气量 $60m^3/(h \cdot 人)$，四人房间不小于 $25m^3/(h \cdot 人)$
英国 DTI(商务部)	≮25	英国交通部要求居住舱室 $85m^3/(h \cdot 人)$，会议室、休息室为 $43m^3/(h \cdot 人)$
德国*	25～90	一般取中间值
前苏联	小房间(≤$23m^3$)：51 中房间：68 大房间：85	一般新鲜空气量取等于总风量的 20% 餐厅取 $25m^3/(h \cdot 人)$

* 资料见德国《造船技术手册》

2　船舶空调参数

对船舶空调系统在设计时可以依据不同的情况确定条件参数。为了能取得一致，世界各国都规定了一些要求作为遵守的基本条件。这些条件是室内、外的温度和湿度。这些条件各国虽有些出入，但大致范围相同。表 7.5.1—3 所示为中国和 ISO 所规定的参数。该参数虽然是设计值，但可作为空调系统运行参数的参考。

表 7.5.1—3　　**船舶空调舱内、外温度设计参数**

船舶航区			舱外温度(℃)		舱内温度(℃)		舱内相对湿度(%)	附　注
			干球	湿球	干球	湿球		
中国	夏季	远洋	35	28	24～28	40～50		海水温度为 32℃
		东海、渤海	32	27				海水温度为 28℃
		南海	34	28				海水温度为 30℃
		长江流域	36	28.5				长江水温为 33℃ (均为中国文献推荐)
	冬季	远洋	−18	80% *	19～22	30～40 (±10%)		
		东海、渤海	−10	65% *				
		南海	+5	75% *				
		长江流域	−5	75% *				
ISO	夏季	远洋	+30	70% *	+27		50%	
	冬季	远洋	−20	…	+22		—	

*　舱外空气相对湿度

为了保证人的感觉较为舒适，除了对舱内温湿度有所规定外。一般还推荐如下条件。

1)夏季时室内外温差宜在 6～10℃之间。

2)无论夏、冬季室内的温差宜在 3～5℃。

3)室内风速夏季保持在 0.2～0.5m/s，冬季保持在 0.1～0.2m/s。

4)向室内供入空气量为 30～50m³/(h·人)。

5)在离出风口 1m 处测试的噪声应小于 55～60dB(A)。

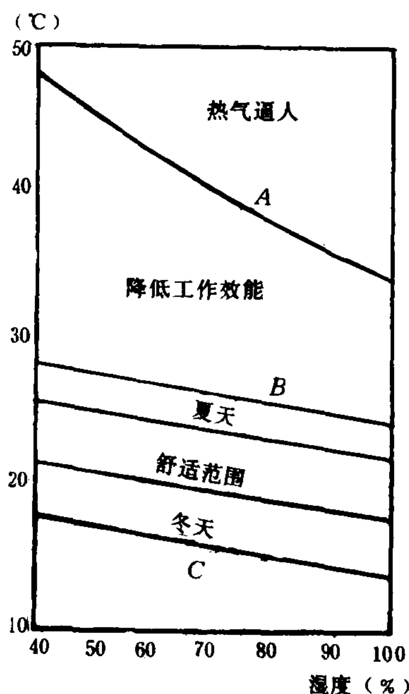


图 7.5.1—1　舒适的环境条件范围

A—最大允许范围极限；B—推荐值的上限；C—推荐值的下限

3　舒适空调环境条件

船舶空调，除某些特殊舱室要求恒温恒湿以满足工作或设备的要求外，一般都属于“舒适空调”的范畴。

所谓“舒适空调”是指人处在某一环境温度、湿度范围的环境条件下感觉舒适。这时无论工作或休息均感觉良好。通常船舶空调的目的就是要造成起居舱室内的舒适温、湿条件。

根据在不同环境条件下的大量试验，舒适空调的温、湿度要求，可以在一定的范围内变化，而不必维持一个恒定的温、湿度。所以船舶空调造成的环境条件并不是十分严格的。在运行中只要能使室内温、湿度维持在舒适环境条件之内即可。

图 7.5.1—1 所示为在不同季节期间室内舒适环境条件的范围区域供参考。

第 2 章　舱室空气调节系统

1　空调过程基本原理

船舶空调，除某些特殊舱室要求恒温恒湿外，一般都属于“舒适空调”的范畴。

在工程上通常利用湿空气的焓—湿图(H—d 图)可以较全面地反映出空气状态参数及其空调中的热湿交换过程，比利用公式计算空气状态参数的变化要简明得多。所以 H—d 图是空调设计和运行管理的一个极重要的应用图表。

H—d 图有不同形式，但原理相同，图 7.5.2—1 是常用的湿空气 H—d 图〔大气压力为 0.101MPa(760mmHg)〕。

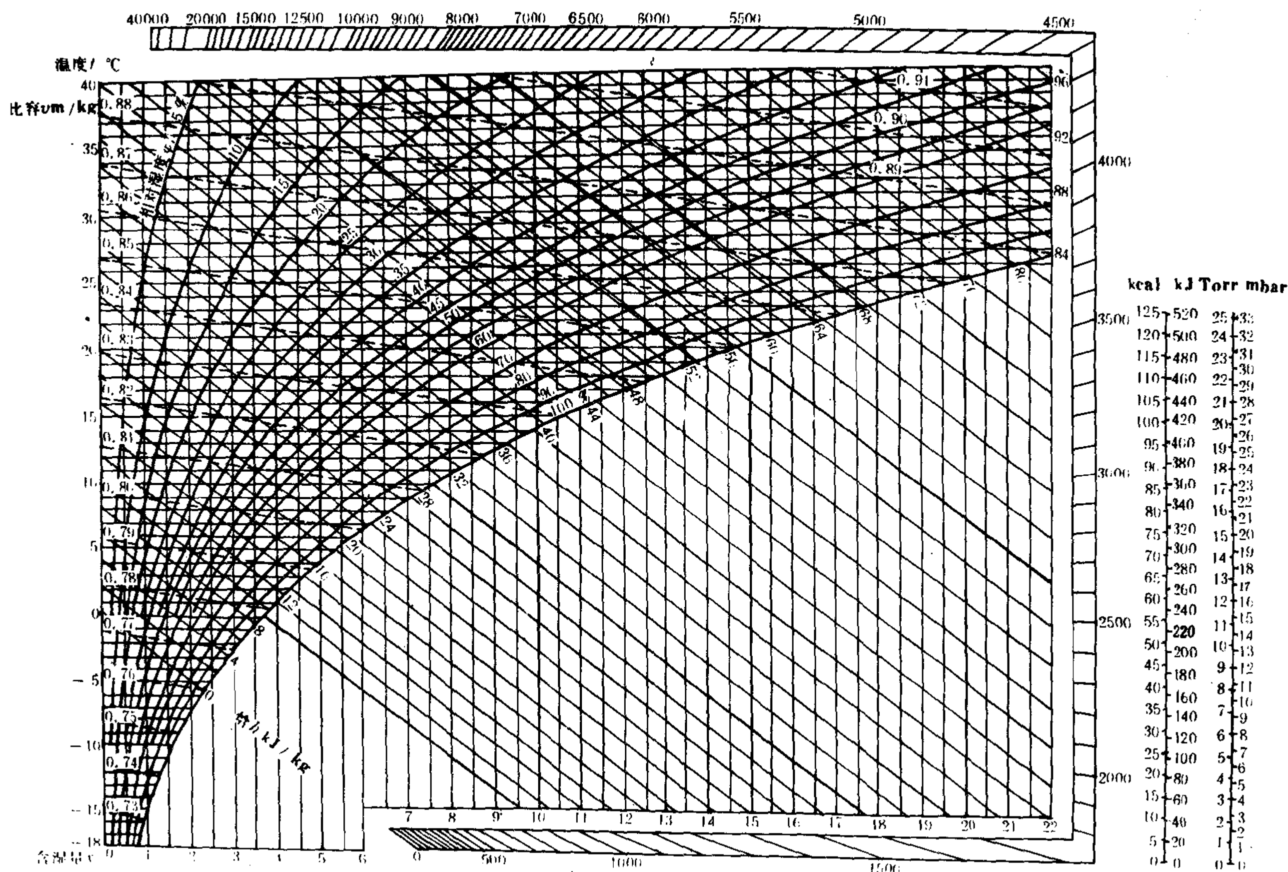


图 7.5.2—1　湿空气 H—d 图

已知湿空气的任两个状态参数，就可在H—d图上定点，求得其它参数。

1.1 空气的湿球温度与露点温度

在图7.5.2—2上，从A点空气状态，引一直线与等焓线平行，交饱和曲线（$\varphi=100\%$）于B点，其所得温度t′即湿球温度。

从A点引一直线与等湿线平行，交饱和曲线（$\varphi=100\%$）于C点，其所得温度t_s即露点温度。

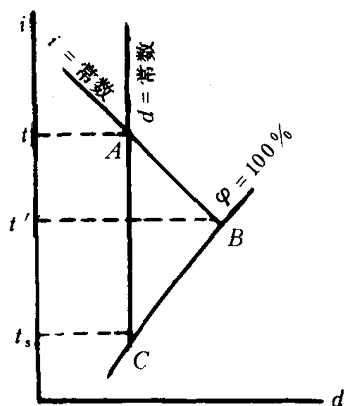


图7.5.2—2 确定t′、t_s图
t—干球温度；t′—湿球温度；t_s—露点温度。

1.2 表示湿空气状态变化的热湿比

在空气状态变化的过程中，其焓值变化ΔH和含湿量变化Δd的比值ΔH/Δd称为变化过程的热湿比（用“ε”表示），表示其坡度的斜线称过程辐射线，绘于H—d图的外围，这些斜线的起点均为H=0，d=0。

$$\varepsilon=\frac{H_2-H_1}{0.001(d_2-d_1)}=\frac{\Delta H}{0.001\Delta d}=\frac{Q}{s} \qquad (7.5.2—1)$$

式中：H_1、H_2 ——初态、终态点空气的焓，kJ/kg；

d_1、d_2 ——初态、终态点空气含湿量，g/kg；

Q ——全热量，kJ/h；

s ——湿量，kg/h。

因H的单位是kJ/kg（以前常用kcal/kg），所以ε值相应的两种数据应分别绘在图上；ε值可正可负。

如湿空气的始态及其过程的热湿比已知，则在H—d图上划一根与热湿比的辐射线平行的直线，此即空气的过程线，而湿空气的终态，必然处于热湿变化的过程线上。

1.3 两种不同状态空气的混合过程

两种不同状态的空气（如新风和回风），以不同的比例混合后，用H—d图可方便地求出其混合后状态参数。

例 某船舶空调器使用的回风量为$G_n=4800$kg/h，其回风状态为tn=29℃，$\varphi=50\%$，使用室外新风量$G_w=3200$kg/h，其状态为$t_w=35$℃，$\varphi_w=60\%$。求回风和新风混合后的状态点M。

〔解〕：先在H—d图上找出N、W两点，并联成$\overline{NW}$直线（见图7.5.2—3）。然后，在直线上取M点，使：

$$\frac{\overline{WM}}{\overline{MN}}=\frac{G_n}{G_w}=\frac{4800}{3200}=\frac{3}{2}$$

M即混合点，可从H－d图中查得混合后的状态参数为：$t_M=31.4$℃、$\varphi_M=55\%$、$H_M=72.43$(kJ/kg)、$d_M=16$(g/kg)。

1.4 在H－d图上表示空调的基本过程

降温去湿是空调的主要工况，图7.5.2—4表示降温减湿的最简单的基本过程。图中w点代表舱内、外空气参数；点1是进入空气调节器的空气参数，它是舱内外空气的混合物，所以位

于$\overline{nw}$线上。

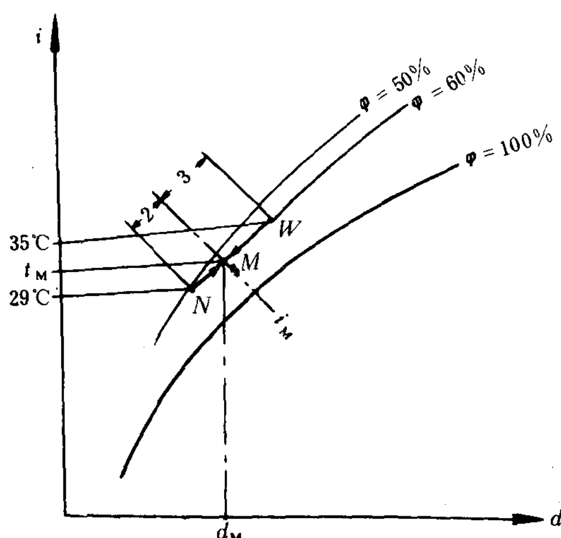


图 7.5.2—3　两种空气的混合

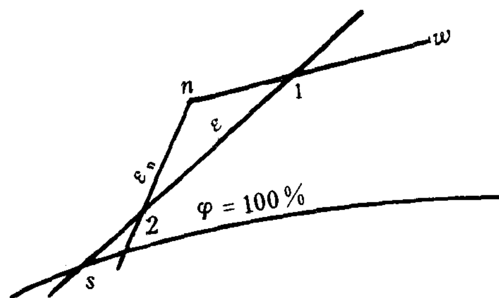


图 7.5.2—4　空调过程的图解

根据内负荷(送风负荷)的热湿比$ε_n$,划$\overline{n2}$线,进入舱室的空气状态应处于这根线上。根据总负荷(包括舱外空气负荷)的热湿比ε,从点1划$\overline{1s}$线,从空调器出来的空气状态点应处于这根线上。显然从空调器出来被送入舱室的空气参数应同时符合上述内负荷和总负荷的要求,所以其状态点为此两直线的交点2。

点s称机器露点,是空调器冷却盘管外表面温度的当量值(非平均值),它处于饱和线上。在空调中,常用机器露点温度表示空气经表面冷却器处理后,所得的接近饱和状态(φ=90%～95%)的空气温度,使用时应注意其与实际露点温度概念的不同。

2　舱室空调系统的分类及组成

2.1　舱室空调系统的分类

船舶空气调节系统按"空气调节器"(包括风机、冷却器、加湿器、过滤器等)与空调舱室的布置关系,以及空气处理过程的不同,可分为三大类:集中式、半集中式和分散式(局部式)系统。此外还可以根据冷却介质、蒸发方式、管内风速、以至新风比例等的不同分成各种具体空调方式。

2.1.1　集中式空调系统

空气在空气调节器内集中处理(常称中央空调器),再沿供风管道送至各个空调舱室,当空调舱室数量较多时,为了避免供风管系过于庞杂,常在船上采用几个划分区域的空调系统(如左右舷或上、下区分设空调站等),对客船还考虑防火等要求,可能设置更多的集中式空调装置。

集中式空调系统按其新风比例的不同可分为:

1)封闭循环系统:

该系统新风比为零,舱内空气再循环使用,没有舱外新鲜空气的补充。这时空气调节器的功用在于调节再循环空气的温度和湿度,使空气净化和再生,必要时向系统内陆续补充氧气,

以适应人体需要。显然，对于潜艇等水下工作舱室，与大气隔绝，只能采用这种系统。

2)直流式系统：

该系统新风比为100%，即空气全部来自舱外的新鲜空气，经处理后送入舱内，然后全部排至舱外。这种系统能量消耗较大，经济性差，所以除高压诱导空调系统及少数特殊情况外，一般都不采用这种系统。

3)混合式系统(又称再循环系统)：

该系统新风和舱室来的回风以一定比例混合后进行处理，然后送入舱内。这种系统既能符合卫生条件的要求，又较经济，所以是船舶空调系统的主要型式。

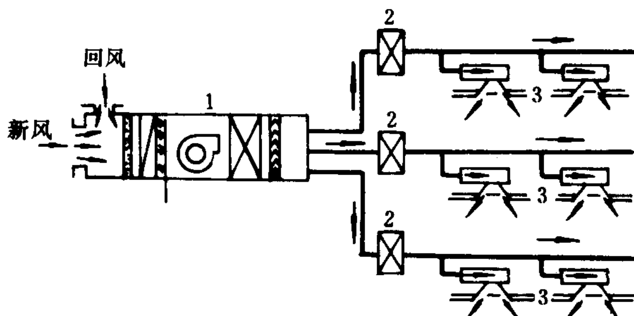


图7.5.2—5 区域再加热式空调系统
1—空调器； 2—分区热交换器； 3—布风器

混合式系统又可分成一次混合式即回风与新风一次混合，或二次混合式即回风分二次与新风混合，第一次在空气调节器前，第二次在空气调节器后。一次混合式采用较多。

2.1.2 半集中式系统

这种系统，除了有集中的空调机房外，还包括有分散在舱室内的空气处理设备，如诱导器，用以对空调机房送来的空气再进行一次冷热交换处理，并就地处理室内回风，可减小风管尺寸和独立调节舱温。按不同的二次处理，分类如下。

1)区域再加热式空调系统：

这种系统的简图如图7.5.2—5所示，先将几个相邻空调区的供风在一台空调器中集中处理，然后再按各分区舱室热负荷，由装在各分区的主风管或空调器分配室的加热器，对各分区的供风温度作进一步调节。这种系统对个别舱室调节的幅度较小，一般用于空调分区较多的客船；虽有再加热时冷热抵消的缺点，但在显热比较小或中间除湿时，可由此控制室内温湿度，当采暖时无额外热损失。

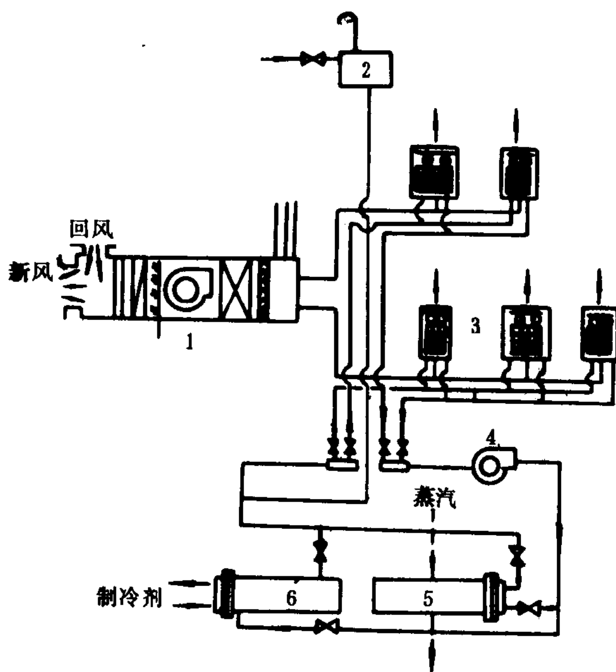


图7.5.2—6 末端再加热和再冷却系统
1—空调器；2—膨胀水箱；3—有水换热器的诱导器；4—循环水泵；5—水加热器；6—水冷却器

2)末端再加热式空调系统：

为了改善舱室的个别调节性能，常采用高速诱导布风，此布风器中(或在其前的供风支管中)加装末端加热器；加热方式常用电加热，或用热水加热，在夏季工况时，末端加热不用。对采暖工况，末端加热仅为适应各舱室热负荷不同而设通常集中式空调器的供风温度升到20～30℃，以满足热负荷较低舱室的要求，而热负荷较高舱室，用末端电加热补充，以节省加热能耗。一般每个房间用400～1000W电加热。热水式有手动调节旁通流量和自动调节流量二类。

3)末端再加热和再冷却空调系统：

图7.5.2—6为系统原理图，其主要特点是在夏季和冬季可进行不同调节，即在诱导器内装有换热盘管，可分别通入冷水或热水。其集中式空调器在降温工况的供风温度约为12～16℃、采暖工况约为15～25℃。由于供风温度较适中，它的供风热损失相应减少。但这种系统较为复杂。

2.1.3 全分散式系统(局部机组)

这种系统没有集中的空调机房，空调机组(风机盘管机组)包括冷热源和空气处理、风机全部集中在一个箱体内，组成一个紧凑、独立的空调系统，可按需要直接装在被调舱室或邻舱内。在船上，仅某些特殊的空调舱室(如机舱集中控制室、会议室等公共场所及特种客舱等)采用这种装置系统。一般不设风道，也可以设简单的风道以改善气流分布。

2.2 根据主风管内空气流速分类

1)低速系统：主风管空气流速在12m/s以下(常为10～12m/s)，进入舱室的支管风速为4～8m/s。其特点是风机压头不高，全风压约在1.2kPa(约120mmH_2O)以下，但通风管道尺寸大。

2)高速系统：主风管空气流速在20m/s以上(常为25m/s左右，甚至30m/s)，支管风速约为8～15m/s。其特点是风速高，风管阻力大，风机的全风压高达3～5kPa(约300～500mmH_2O)。

由于高速系统风速提高，普遍采用诱导式布风器，可提高供风温差，从而能减少供风量，通风管系的截面积因而显著减小，并可采用标准化的圆管，使装置系统的尺寸、重量、造价和安装成本均减低，这些都优于低速系统，但高速系统的风机压头大，所耗功率较大，风机的温升和噪音也较高。

风速介于二者之间的系统可称为中速系统，兼具上二者优点，近来用得较多。

2.3 根据其调节处理方式分类

1)单风管系统：

空调器出来的空气由一根主风管送至各舱，对空气的处理过程全部在集中式空调器中完成，因此，所有舱室的供风温度相同，如要对个别舱室的温度进行调节，只能靠改变供风量，所以不能始终保证该舱室的新风供应量，而且要影响其它舱室的供风。但这种系统最简单，用得最多，较适于经常处于夏季空调工况工作的船舶，因这类船需要取暖的时间不长，而在夏季降温工况时，各房间可用变风量送风口实现温度调节。通常低压系统用矩形风管，高压系统用螺旋圆风管。单风管系统如图7.5.2—7所示。

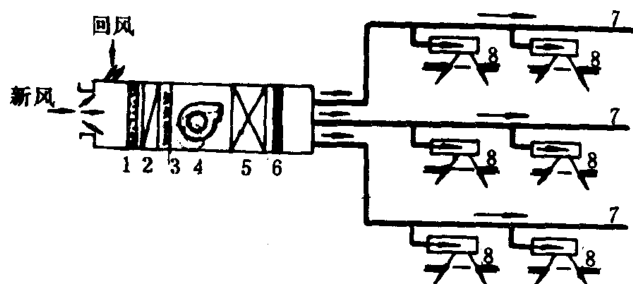


图7.5.2—7 集中式单风管空调系统

1—过滤器；2—加热器；3—加湿器；4—风机；5—冷却器；6—挡水器；7—风管；8—布风器

2)双风管系统：

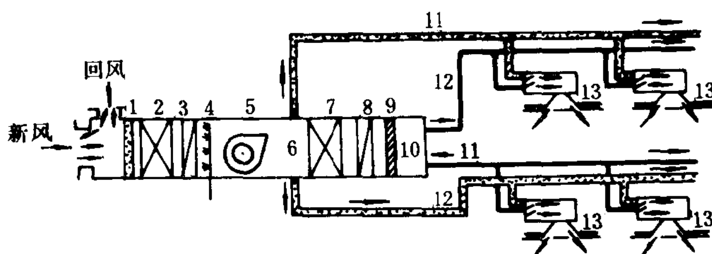


图 7.5.2—8 双风管空调系统

1—过滤器；2—预冷器；3—预热器；4—加湿器；5—风机；6—中间分配室；7—再冷却器；8—再热器；9—挡水器；10—分配室；11—预处理供风管；12—再处理供风管；13—布风器

图 7.5.2—8 为双风管系统的原理图，空调器由前后两部分组成，一部分供风经前部预处理后，进入舱室布风器，另部分则继续经空调器后部再处理后，进入舱室布风器。所以，每个舱室的布风器由两根风管分别供应温度不同的两种空气，当舱室温度需要调节时，只要调节这两根风管的风门，改变冷、热风的混合比，就可改变供风温差，达到调节目的。当降温工况时，一级供风温度为进风温度加风机温升（不设预冷器时），二级供风温度为 11～15℃；当采暖工况时，一级供风温度为 15℃左右，二级供风温度视外界气温而定，一般为 29～43℃。

这种系统的优点是调节性能好，反应灵敏不装末端换热器，管理也方便，缺点是双风管重量尺寸和造价都较大，主要用于豪华船舶。

3 船舶空气调节器

空气调节器是对空气进行集中处理的设备。室外的新鲜空气和室内的回风空气经过空气调节器集中处理（加温、降温、湿度处理和净化）后送入需要空调的舱室。

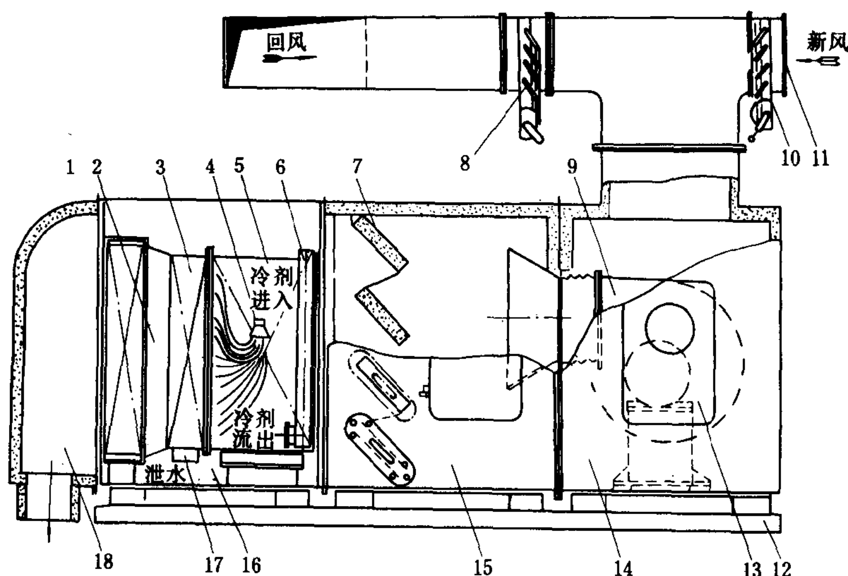


图 7.5.2—9 船舶空气调节器

1—空气加热器；2—加湿器；3—挡水板；4—制冷剂分配器；5—空气冷却器；6—制冷剂回气集管；7—滤器；8—回风调节门；9—风机；10—新风调节门；11—新风吸入口；12—底架；13—检查门；14—进风混合室；15—消音室；16—空气处理室；17—集水盘；18—分配室

3.1 船舶空气调节器的基本组成

它由空气混合室、风机、空气过滤器、冷却器、加热器、加湿器、消音室、空气分配室等组成。图 7.5.2—9 所示为常用的单风管系统船舶空调器。

目前船舶空调，主要通过冷、热盘管进行，空气的热交换，降温去湿过程中，一般热交换和质交换同时进行，而加温加湿则分别进行。

在新风和回风的吸入口上，都装有铁丝网和百页窗，以防大的异物吸入。新风和回风的比例可由手动调节风门开度进行调节。一般出厂时已调定，除异常气候或单纯通风时才再临时调节。在某些空调器中，可随外界气温变化自动控制风门，改变回风比，以减少供风温度的波动，这在船舶舒适空调中很少采用。

回风比，对不带末端冷却器的系统，一般约为 30%(0～60%内变动)，对带末端冷却器的系统，则为 0～40%(因一次风量可大幅度减少，常采用全新风)。

空调器中消音室的作用是降低风机运转振动和气流波动而产生的噪声。一般用气道截面突变和内贴吸音材料来消减噪声。

一般按全船舱室位置和各舱室“气候”条件要求，划区分设船舶空调器，采用两个或多个空调器分别负担所属舱室的空调任务。

对货船，一般按左右舷分区设立空调器，有利于风管布置，并在长期定向航行时，可有效调节由于太阳辐射而引起的空调热负荷变化。有的船舶对负荷较大的起居甲板、艇甲板和驾驶甲板所属舱室，分别专设一组空调器。

对客船和客货船、往往按舱室布置特点，采用多组空调器，分别按区域或空调要求接近的舱室供给所需空气。对某些使用时间少或气候条件要求差别较大的公共舱室，往往增设独立的柜式空调器。

3.2 空气的冷却和加热

船舶空调器中空气的冷却和加热，目前均采用表面式换热器。冷热介质在盘管内循环，以加热或冷却在管外流动的空气。通常都采用肋管换热元件，材料多为铜管、铜片以提高抗腐蚀性能和使用寿命，也有用铝材制作。

盘管按管子排列有顺排、叉排之分；按肋片加工方法有绕片式、套片式、镶片式和轧片式等几种，结构见图 7.5.2—10 所示。

船舶空调器中采用的冷却器有直接式和间接式两类，前者为制冷剂直接在盘管内蒸发吸热，冷却管外空气；后者使用冷却后的冷媒水在管内循环而冷却空气。由于直接式结构紧凑，系统和设备简单、制冷剂蒸发温度为－2～－3℃，制冷量和效率都较高，管理方便，易于实现自动控制，所以船舶空调采用较多。间接式的优点是冷、热介质可在同一管系内工作，制冷系统的管路可缩短，传热效率也较好，但其设备和运行费用较高，冷媒水易冻结(一般蒸发温度不能低于0℃以下)必须有安全措施等，所以间接式最适宜于空调系统较多而又分散的船舶，如客船或科学调查船等。间接的冷媒水温度一般为＋4～＋7℃(最低不能小于＋2℃)。

船舶空调中的直接蒸发冷却器，多数采用制冷剂经膨胀阀分液器分成多路，并列进入蒸发盘管，蒸发后的制冷剂先汇集到集气管，后被吸入压缩机。

上海冷气机厂生产的 ZF_{-48}^{-20}蒸发器的型号规格见表 7.5.2—1。

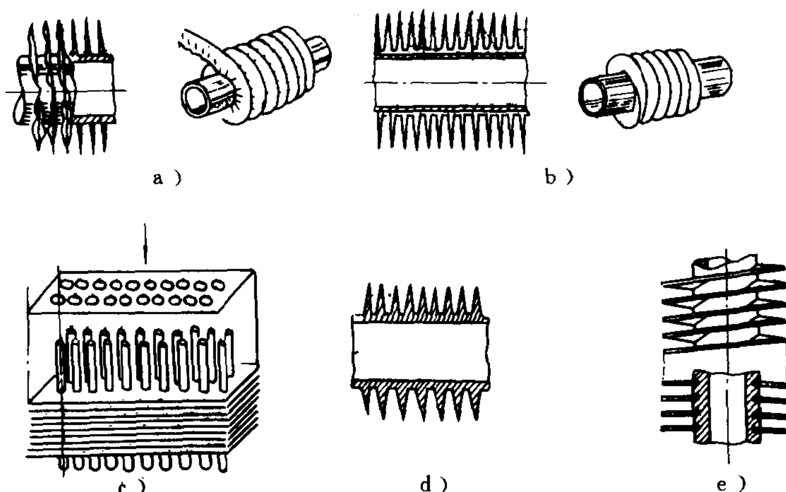


图 7.5.2—10 各种型式的肋片管

a)褶绉绕片管;b)光滑绕片管;c)套片管;d)轧片管;e)镶片管

表 7.5.2—1 **ZF-$\frac{20}{48}$蒸发器技术参数** 单位:mm

蒸发管型式	管子			肋片				每米管长表面积 m^2				肋化系数 τ
	材料	外径	内径	材料	片厚	片距	片高	光管面积	肋片面积	总外表面积	总内表面积	
褶绉式	铜	16	14	铜	0.2	0.2	10	0.05	0.50	0.55	0.044	1.25

3.2.1 空气的冷却

夏季空调时(一般外界气温高于 25℃),不论是直接式或间接式,其盘管表面温度一般均低于被处理空气的露点温度,因而空气被冷却时会析出一部分水分,即为降湿冷却过程,由冷却器和挡水板完成。该处理过程在 H—d 图上表示见图 7.5.2—11。图中 1、2 点为空气处理过程的始、终状态点,1、2 点连线交 φ=100%的饱和线于 3 点,3 点为理想处理结果,t_3 实际上相当于空冷器冷却表面的平均温度。

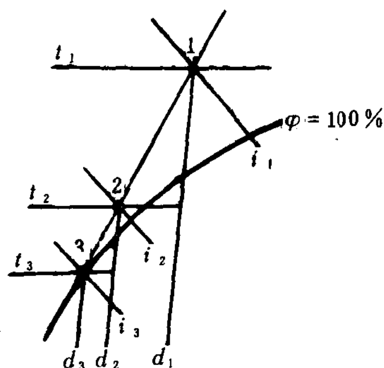


图 7.5.2—11 空气冷却器冷却过程

3.2.2 空气的加热

船舶空调中,空气一般都经过空调器中的加热盘管进行加热,而后送入空调舱室,这叫一次加热,但目前的趋势,还将此空气在分支风管或舱室的诱导器中再加热(即二次加热)。加湿也在空调器中一次完成。

其加热介质通常为蒸汽或热水,在特殊场合可采用局部电加热。

空气的等湿加热过程在 H—d 图上的表示见图 7.5.2—12。

3.3 空气的加湿与减湿

空气的湿度调节是空调的重要任务之一。

夏季,舱外空气湿度较大,空气经冷却器降温,同时就已降湿。所以一般不再减湿处理。

冬季,舱外空气被加热后,其相对湿度很低,必须进行加湿处理。

船舶空调中空气加湿常用喷蒸汽加湿法,也可用喷水加湿;某些小型独立的空调装置中还有用电加湿器,即用电热器产生蒸汽向空气中喷入蒸汽。

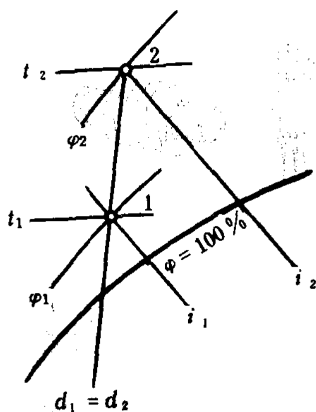


图 7.5.2—12 空气等湿加热过程

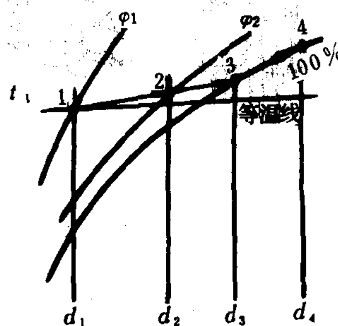


图 7.5.2—13 空气加湿过程

加湿过程在 H—d 图上的表示，见图 7.5.2—13。空气从初态 1 到终态 2 所消耗的蒸汽量 G_s 为：

$$G_s=\frac{d_2-d_3}{1000}G_a,\qquad kg/h$$

式中：G_a——经过空气冷却器的空气量，kg/h。

如空气被加湿到饱和状态点 3 之后，继续加湿，则空气的状态将沿饱和线上升到点 4，3—4 即空气湿度非等温上升过程。

蒸汽喷管加湿，一般采用一根或一组∅10～20mm 钢管或白铁管，管上钻有∅2～3mm 的喷孔，喷孔常为双排，中心夹角 90°，孔距 50mm 左右，管长多取 600～700mm，其管径应比蒸汽接入管大 1～2 号管径。

加湿器可布置在加热器之前或其后，当布置在加热器后，如控制不当，会加湿过量，使空调舱室壁面结露，所以一般以布置在加热器之前为多。

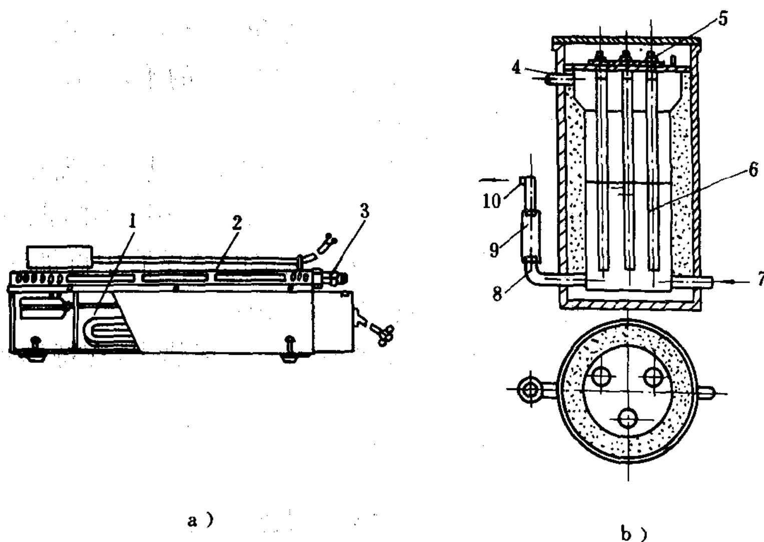


图 7.5.2—14 电加湿器构造

a)电热式加湿器；b)电极式加湿器

1—管状加热器；2—防尘罩；3—给水管；4—蒸汽出口；5—接线柱；

6—电极；7—进水管；8—溢水管；9—橡皮短管；10—溢水嘴

在立柜式独立空调器中，采用电加湿器者较多。它有电热式和电极式两种，构造如图 7.5.2—14 所示。电热式由管状电热元件，放在盛水的开式容器内，将水加热汽化，并由浮球阀补

水。电极式加湿器则在金属或耐裂陶瓷制的圆筒中盛水到一定高度，将三根不锈钢棒或炭棒插入其中作为电极，并与三相电源连接。通电后，水被加热产生蒸汽，由排出管引至需加湿的空气中。圆筒内水位越高，则导电面积越大，电阻越小，电流越强，发热量就越大。因此，可用溢水管调节筒内水位，来调节蒸汽产生量。

电极式加湿需要的电功率N可由下式计算：

$$N=\frac{G_s}{H_s},kW \qquad (7.5.2—2)$$

式中：G_s——蒸汽发生量，kg/s；

H_s——蒸汽焓值，低压蒸汽 $H_s=2681.6$kJ/kg。

电极式加湿器也可采用二根电极棒或用二个同心而不同直径的金属网作电极，并可由室内空气的相对湿度大小控制电流通断，从而控制蒸汽的产生或停止。电极式较安全，筒中无水时电流能自动截断，效率也较高，所以使用较广，但耗电能，电极腐蚀较快，盛水筒易结水垢，所以目前在小型空调器中有所采用，而船上仍以喷蒸汽法最普遍。

为了避免蒸汽加湿时形成较大水滴而带入室内，故采用各种干式加湿器，以去除凝水，其中喷头式加湿器如图7.5.2—15所示，蒸汽沿喷头的圆周切线方向进入，使蒸汽在喷头中旋转，甩出凝水，由喷头底部泄放；在喷头的供汽管上还装有限制蒸汽最大流量的节流孔板2。

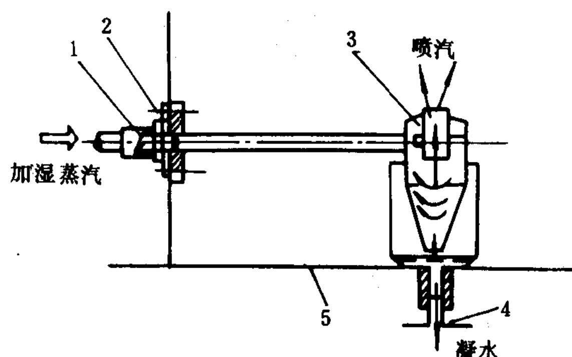


图7.5.2—15 喷头加湿器

1—蒸汽进口；2—节流孔板；3—喷头；4—泄水管；5—空调器底板

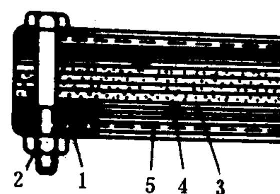


图7.5.2—16 空气过滤器结构

1—边框；2—螺栓、螺母；3—聚酯型粗孔泡沫塑料；4—细滤网；5—粗滤网

取暖工况时，舱内空气的含湿量一般应控制在6.5g/kg(相当于室温为+22℃时，相对湿度为40%)，空调器出口处相对湿度最大值，不应超过表7.5.2—2所列的数值。

表7.5.2—2 **单管系统取暖供风湿度最大值**

供风温度(℃)	25	30	35	40	45	50
相对湿度(%)	30	22	18	13	10	8

3.4 空气的净化处理

3.4.1 空气净化

空调器处理的空气，新风和回风中都含有尘埃，对于一般的舒适空调虽然没有提出对空气净化的具体要求，但为保持卫生和避免尘埃影响换热器的传热，常在空调器进出口设置空气过滤器。船舶空调的过滤器常用聚酯型粗孔泡沫塑料(一般厚10～15mm)，或其他多孔材料、滤层两面以金属网络夹紧，四周以框架固定，装于空调器进风口架子上。图7.5.2—16所示为一常用的纤维空气过滤器。尘埃经惯性撞击、扩散、接触阻流，重力筛滤和静电作用而过滤，其过

滤效果主要决定于滤料纤维的粗细、密实度和过滤时的风速。过滤器应经常清洗、更换。

过滤器前后常设U形玻璃管式风压计，正常空气阻力约19.6～98Pa（2～10mmH_2O），当阻力上升，就应清洗滤网。如阻力过低证明滤层已破损应换新。在有些过滤器中采用金属网格或皱折钢皮，表面涂以厚质矿物油，以粘附流过空气中的尘埃。某些船舶还装有滤器自动更换装置，当积灰过多阻力升高，由空气压差继电器控制更换滤器驱动电机转换滤层。换新后，通过限位开关使驱动电机停转，并发出音响信号。图7.5.2—17为其装置原理图。

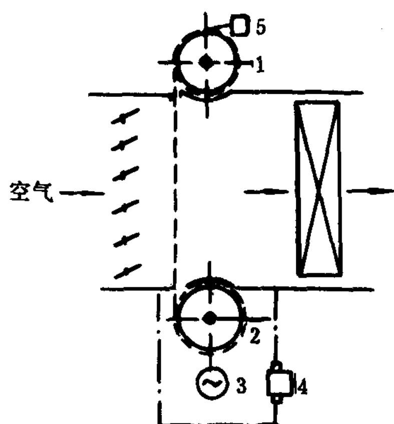


图7.5.2—17　滤层自动更换装置原理图
1、2—干净、脏滤层卷筒；3—电动机；
4—差压继电器；5—限位开关

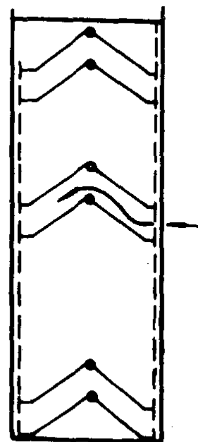


图7.5.2—18　挡水板

近来空气负离子技术应用于空调以净化空气。还有用静电除尘可捕集到极微小的气溶胶悬浮物，如国产的JKG—2A型静电空气过滤器和JKQ—20静电空气净化器。

3.4.2　挡水板

为避免空气处理中产生的水分随供风送入舱室，在空调器中必须设置挡水板。常用惯性原理使气流不断急速变更方向，水滴撞击在挡水板上而被截留，使气、水分离。附于挡水板上的水滴增多成水膜后下落，并集于承水盘内，由泄水管排出。挡水板结构如图7.5.2—18。为避免高速气流将挡水板上水滴冲入供风管，一般在挡水板出口侧做成凸缘和凹槽。船用挡水板多为铝板、镀锌钢板或特别硬质塑料板，做成2～3折，按一定间距排列。迎风速以2.5m/s为宜，这时阻力不大，如迎风速超过2.8m/s，挡水板可能失效。

3.5　船用空调器的规格和主要技术参数

近年来国内外设计、制造的一些不同类型的船用空调器，装船使用效果良好，介绍如下：

3.5.1　ZKZ型空调系统

ZKZ空调器系泰州光明机械厂产品，由低噪音中央空调器、双层绝热螺旋风管、附件和末端装置配套组成，能自动调温、调湿和出口静压自调。

直接蒸发式空调器的技术参数见表7.5.2—3；

间接水冷式空调器的技术参数见表7.5.2—4；

带制冷机组式空调器的技术参数见表7.5.2—5。

表 7.5.2—3 **ZKZ(F)中央空调器技术参数**

项目	型号	ZKZ(F)(直接蒸发型)中央空调器					
		ZKZ(F)-3	ZKZ(F)-4	ZKZ(F)-7(Ⅰ)	ZKZ(F)-7(Ⅱ)	ZKZ(F)-10	ZKZ(F)-13
额定风量	m³/h	3200	4000	7000	7000	9500	12500
冷　量	kW (kcal/h)	～35 (30000)	～46.5 (40000)	～75.6 (65000)	104.67 (90000)	116.3 (100000)	151.2 (130000)
热　量	kW (kcal/h)	～40 (35000)	～46.5 (40000)	～83.7 (73000)	104.67 (90000)	128 (110000)	137 (135000)
过滤器型式		粗穿孔泡沫塑料网					
蒸发器 型式		凹凸板翅片管组					
蒸发器 制冷剂		R12(或 R22)					
蒸发器 排数×列×节距		8×16×3	8×16×3	10×24×3	12×24×3	10×24×3	10×24×3
蒸发器 进液管	mm	16	16	25	32	32	40
蒸发器 回气管	mm	40	40	50	65	65	80
蒸汽压力	MPa	0.3(饱和蒸汽)					
加热器 型式		凹凸板翅片管组					
加热器 排×列×节距		2×16×3	2×16×3	2×24×3	4×24×3	2×24×3	2×24×3
加热器 蒸汽耗量	kg/h	75	85	150	190	210	270
加热器 进汽管	mm	15	25	25	25	32	40
加热器 凝水管	mm	15	15	25	25	32	40
风机 型式		双进风双叶轮空调风机					
风机 推荐使用风量	m³/h	2700-3800	3000-4700	6000-8000	6000-8000	9000-12000	12500-15000
风机 电机功率	kW	3	5.5	10	10	13	17
风机 风机转速	r/min	2240	1920	1550	1550	1800	1950
加湿器 型　式		热保护干蒸汽喷射式					
加湿器 加湿量	kg/h	14	20	25	30	35	45
外形尺寸 长	mm	2200	2200	3130	3550	3350	3570
外形尺寸 宽	mm	1000	1400	1350	1340	1600	1670
外形尺寸 高	mm	1200	1600	1860/1200	1800/1170	1860/1200	1960/1380
重量	kg	980	1200	1600	1572	1860	2200

注:1kcal/h=1.163W。

表 7.5.2—4 **ZKZ(S)中央空调器技术参数**

项目	型号	ZKZ(S)(间接水冷却型)中央空调器					
		ZKZ(S)−3	ZKZ(S)−4	ZKZ(S)−7(Ⅰ)	ZKZ(S)−7(Ⅱ)	ZKZ(S)−10	ZKZ(S)−13
额定风量	m³/h	3200	4000	7000	7000	9500	12500
冷　量	kW (kcal/h)	～35 (30000)	～46.5 (40000)	～81.4 (70000)	104.67 (90000)	116.3 (100000)	151.2 (130000)
热　量	kW (kcal/h)	～40 (35000)	～46.5 (40000)	～83.7 (72000)	104.67 (90000)	128 (110000)	157 (135000)
过滤器型式		粗穿孔泡沫塑料网					

续上表

项目 \ 型号			ZKZ(S)(间接水冷却型)中央空调器					
			ZKZ(S)—3	ZKZ(S)—4	ZKZ(S)—7(I)	ZKZ(S)—7(Ⅱ)	ZKZ(S)—10	ZKZ(S)—13
冷却器	型式		凹凸板翅片管组					
	冷却水量	t/h	10	12	23.4	30	33.4	43.4
	冷却水进口温度	℃	9.0	9.5	9.0	9.0	9.0	9.0
	冷却水出口温度	℃	12.0	12.9	12.0	12.0	12.0	12.0
	排数×列数×片节距		8×16×3	8×16×3	10×24×3	12×24×3	10×24×3	10×24×3
	进水管	mm	40	40	50	65	65	80
	出水管	mm	40	40	50	65	65	80
冷却或加热水压力		MPa	0.3—0.6					
水加热器	加热水量	t/h	8.75	12	18	22.5	27.5	33.8
	加热水进口温度	℃	45	45	45	45	45	45
	加热水出口温度	℃	41	41.6	41	41	41	41
蒸汽压力		MPa	0.3(饱和蒸汽)					
蒸汽加热器	型式		凹凸板翅片管组					
	排列×列数×片节距		2×16×3	2×16×3	2×24×3	4×24×3	2×24×3	2×24×3
	蒸汽耗量	kg/h	75	85	150	190	210	270
	进汽管	mm	15	25	25	25	32	40
	凝水管	mm	15	15	25	25	32	40
风机	型式		双进风双叶轮空调风机					
	推荐使用风量	m^3/h	2700—3800	3000—4700	6000—8000	6000—8000	9000—12000	12500—15000
	电机功率	kW	3	5.5	10	10	13	17
	风机转速	r/min	2240	1920	1550	1550	1800	1950
加湿器	型式		热保护干蒸汽喷射式					
	加温量	kg/h	14	20	25	30	35	45
外形尺寸	长	mm	2200	2200	3130	3550	3350	3570
	宽	mm	1000	1400	1350	1340	1600	1670
	高	mm	1200	1600	1860/1200	1800/1170	1860/1200	1960/1380
重量		kg	980	1200	1600	1572	1860	2200

表 7.5.2—5

ZKZ(J)中央空调器技术参数

项目 \ 型号		ZKZ(J)(带制冷机组型)中央空调装置					
		ZKZ(J)—3	ZKZ(J)—4	ZKZ(J)—7(I)	ZKZ(J)—7(Ⅱ)	ZKZ(J)—10	ZKZ(J)—13
额定风量	m^3/h	3200	4000	7000	7000	9500	12500
冷量	kW (kcal/h)	35 (30000)	46.5 (40000)	70 (60000)	104.67 (90000)	116.3 (100000)	151.2 (130000)
热量	kW (kcal/h)	40 (35000)	46.5 (40000)	83.7 (72000)	104.67 (90000)	128 (110000)	157 (135000)
过滤器型式		粗穿孔泡沫塑料网					

项目 \ 型号			ZKZ(J)(带制冷机组型)中央空调装置					
			ZKZ(J)—3	ZKZ(J)—4	ZKZ(J)—7(I)	ZKZ(J)—7(Ⅱ)	ZKZ(J)—10	ZKZ(J)—13
蒸发器	型式		凹凸板翅片管组					
	制冷器		R12(或R22)					
	排数×列数×片节距		8×16×3	8×16×3	10×24×3	12×24×3	10×24×3	10×24×3
蒸汽压力		MPa	0.3(饱和蒸汽)					
加热器	型式		凹凸板翅片管组					
	排数×列数×片节组		2×16×3	2×16×3	2×24×3	4×24×3	2×24×3	2×24×3
	蒸汽耗量	kg/h	75	85	150	190	210	270
	进汽管	mm	25	25	25	25	32	40
	凝水管	mm	15	15	25	25	32	40
加湿器	型式		热保护干蒸汽喷射式					
	加湿量	kg/h	14	20	25	30	35	45
风机	型式		双进风双叶轮空调风机					
	推荐使用风量	m^3/h	2700—3800	3000—4700	6000—8000	6000—8000	9000—12000	12500—15000
	电机功率	kW	3	5.5	10	10	13	17
	风机转速	r/min	2240	1920	1550	1550	1800	1950
制冷机组	压缩机型号		4FV7	4FV78	4FV10	8FS10	8FS7	6FW10
	压缩机代用型号		4FS7B	4FS7B	8FS7B	配二台空调器	8FS7B	BLk—130
	冷凝器面积	m^2	15	28	30	90	45	58
	冷却水耗量	t/h	10—15	15—25	20—30	60—90	30—40	40—60
	冷却水进口温度	℃	<32	<32	<32	<32	<32	<32
	膨胀阀型号		RF—11	RF—13	RF—13	RF—11×2	RF—11×2	RF—13×2
	压缩机功率	kW	13	13	22	55	22	40
	制冷剂		R—12	R—22	R—12	R—12	R—22	R—12
	制冷剂注入量	kg	60	60	60	170	60	130
	电压	V	380	380	380	380	380	380
外型尺寸	长	mm	2536	2840	3800	3550	4000	3570
	宽	mm	1280	1400	1660	2500	1660	2195
	高	mm	2050	1600	1860/1200	1800/1170	1860/1200	1960/1380
重量		kg	2283	1720	2330	3372	2590	2730

注:· ZKZ(J)—7(Ⅱ)中央空调装置是一套制冷机组配二台中央空调器(左右型)。

· ZKZ(J)—13 中央空调装置的制冷机组如用 BLK—130 型船用螺杆压缩机时,制冷介质是 R—22。

· 各型机组布置可按用户要求而定。

3.5.2 ACU 系列船用空调器

沈阳冷暖风机厂制造,适用于单管道无再热空调系统,采用绝热螺旋管风道。调节布风器风量控制室内温湿度。

表 7.5.2—6　**ACU 型船用空调器技术参数**

项目		型号	ACU 系列船用空调器			
			ACU—3.2	ACU—6.5	ACU—8.5	ACU—10
空调工况制冷量		kW (kcal/h)	(32000)	75.6 (65000)	93～98.85 (80000～85000)	116.3～151.2 (100000～130000)
空调工况制热量		kW (kcal/h)	(29000)	94.2 (81000)	93～98.85 (80000～85000)	128～163 (110000～140000)
空气过滤器		型式	W 型无纺布			
风　机		型号	4—72No4	T4—72No4.5A	CY6—57No5.6E	CY6—57No5.6E
		风量	5480	7120	8500	1000
		风压 kPa(mmH_2O)	1.8(180)	2.45(246)	2.5(250)	2(200)
		功率(kW)	5.5	7.5	10～11	11
蒸发器	型式		铜管、铜翅片盘管			
	制冷剂		R12	R12	R12	R22
	排数×列数×节距		8×20×3	12×22×3	8×28×3	8～10×28×3
	进液管	mm	Dg19	Dg25	Dg16	Dg16
	回气管	mm	Dg66	Dg70	Dg40	Dg40
加热器	型式		铜管、铜翅片盘管			
	排数×列数×节距			1×24×3	1×28×3	1×28×3—2 台
	蒸汽耗量	kg/h	110	160	213	238
	进汽管	mm	∅25	Dg25	Dg40	Dg40
	凝水管	mm	∅25	Dg25	Dg20	Dg20
加湿	型式		蒸汽喷雾		热保护干蒸汽	
	加湿量	kg/h	25	37	56	60
蒸汽压力		MPa	(表压)0.3 饱和蒸汽			
外形尺寸	长	mm	2060	2840	3200	3757
	宽	mm	1060	1160	1370	1610
	高	mm	1375	1260	1460	1870
重量(kg)			900	1400	2300	2340

3.5.3　CHR 型船用空调器

江苏太仓船舶制冷设备厂产品，采用封闭式制冷压缩机，利用室温变化可自动控制机组运行。其技术参数见表 7.5.2—7。

表 7.5.2—7　**CHR 型船用空调器技术参数**

型　　号	CHR—2A	CHR—5	CHR—7	CHR—12	CHR—15
制　冷　量　W	2300	5200	8000	12500	17000
采　暖　量　W	1500	3000	6000	8000	10000
电　　源	220V;380V;A.C　50Hz				
压缩机功率　W	750	1500	3000	3700	4500
风机功率　W	60	120	180	370	450

续上表

型　　号	CHR－2A	CHR－5	CHR－7	CHR－12	CHR－15
电加热器功率　W	1500	3000	6000	8000	10000
冷剂	R22				
冷却水量 m^3/h	0.9	2	3	4	5
风量	500	900	1400	2300	2900
温度调节范围℃	15～17				
噪音　dB(A)	48	52	57	59	61
重量　kg	100	180	260	350	450
外形尺寸　mm	570×1200×350	580×1600×390	750×1600×450	950×1700×500	1200×1800×550
冷剂充注量　kg	0.75	2	3	4	4.5

3.5.4　海—帕瑞斯(H1—PRES)空调器

丹麦生产的海—帕瑞斯空调系统为高风速的空调系统。其空调器型号为ZTH型，供风量如表7.5.2—8所示。

表7.5.2—8　**ZTH型空调器的供风量**

型号	ZTH－2	ZTH－3	ZTH－4	ZTH－5	ZTH－6	ZTH－7	
风量	0.8	1.55	2.65	3.80	5.20	7.85	m^3/s
加热量	58	112	190	274	374	565	kW
冷量	56	108	180	264	362	546	kW

空调器内装有V型皮带传动的电动风机，调风门，过滤器，冷却蒸发器，加热器(可为热水，蒸汽或电加热)和加湿器。

空调器有回风式单管道，双管道和热回收式等不同类型。根据按装地位的尺度可有不同的组成方式。图7.5.2—19为回风式单管道的基本组成，其尺度见表7.5.2—9。图7.5.2—20为另一组合方式，其尺度见表7.5.2—10。图7.5.2—21为双管道空调器，其尺度见表7.5.2—11。

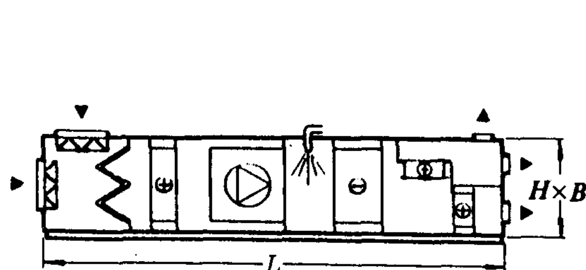


图7.5.2—19　回风式单管道空调器

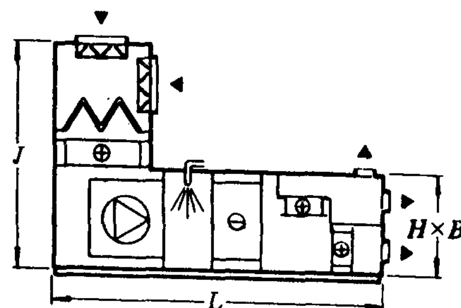


图7.5.2—20　双层布置单管道空调器

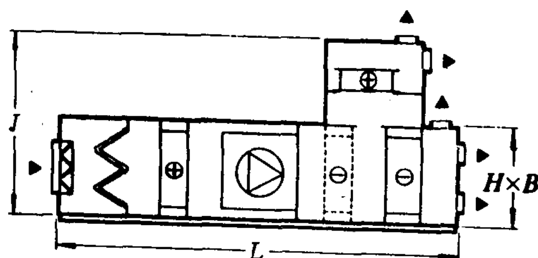


图7.5.2—21　双管道空调器

表 7.5.2—9　　回风式单管道空调器尺度(mm)

	ZTH—2	ZTH—3	ZTH—4	ZTH—5	ZTH—6	ZTH—7
H=	775	775	1125	1125	1450	1750
B=	715	1115	1215	1615	1615	1915
L=	3750	4000	4250	4250	5000	5250

表 7.5.2—10　　双层布置单管道空调器尺度(mm)

	ZTH—2	ZTH—3	ZTH—4	ZTH—5	ZTH—6	ZTH—7
J=	1775	1775	2125	2125	2450	2750
H=	775	775	1125	1125	1450	1750
B=	715	1115	1215	1615	1615	1915
L=	2750	3000	3250	3250	4000	4000

表 7.5.2—11　　双管道空调器尺度(mm)

	ZTH—2	ZTH—3	ZTH—4	ZTH—5	ZTH—6	ZTH—7
J=	1525	1525	1875	1875	2200	2500
H=	775	775	1125	1125	1450	1750
B=	715	1115	1215	1615	1615	1915
L=	3000	3250	3500	3500	4250	4500

热回收式空调器如图 7.5.2—22 所示，其尺度见表 7.5.2—12。这种空调器的特点只利用回风的热量或冷量，而不将回风混入新风中再利用。回风管道采用单独抽风机。回风管和新风进风管之间有一个换热器。换热器可以是回转盘式或交叉管式。

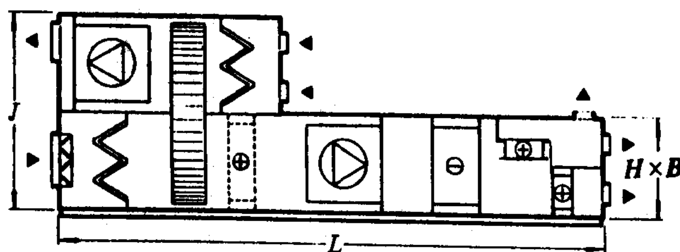


图 7.5.2—22　热回收式空调器

表 7.5.2—12　　热回收式空调器尺度(mm)

	ZTH—2	ZTH—3	ZTH—4	ZTH—5	ZTH—6	ZTH—7
J=	—	1440	1790	2090	2410	—
H=	—	775	1125	1125	1450	—
B=	—	1115	1215	1615	1615	—
B1=	—	1215	1515	1765	1915	—
L=	—	5050	5300	5300	6300	—

3.5.5　西姆科(SEMCO)空调器

丹麦西姆科公司生产的空调器，目前在船上用得较多。属于高风速型空调系统。分单风管式的 SC 型(见图 7.5.2—23)，在布风器处再加热的单风管式 SR 型(见图 7.5.2—24)，双风管式 DC 型(见图 7.5.2—25)等几类。

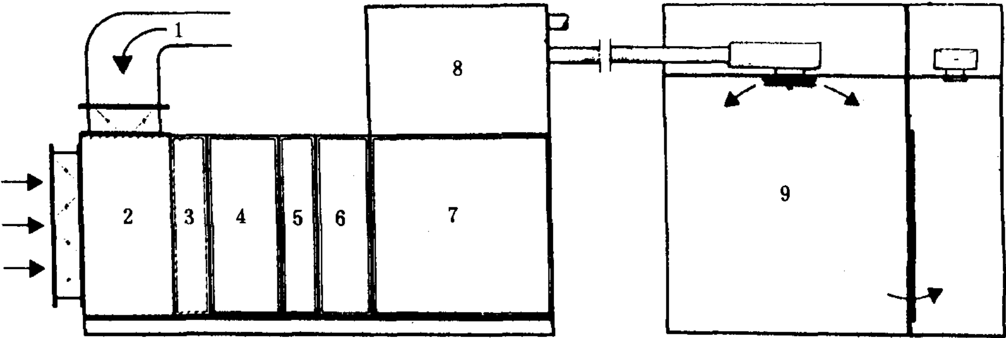


图 7.5.2—23 单风管式 SC 型空调器

1—回风管；2—混合式；3—过滤器；4—冷却器；

5—加热器；6—加湿器；7—风机；8—消音室；9—被调舱室

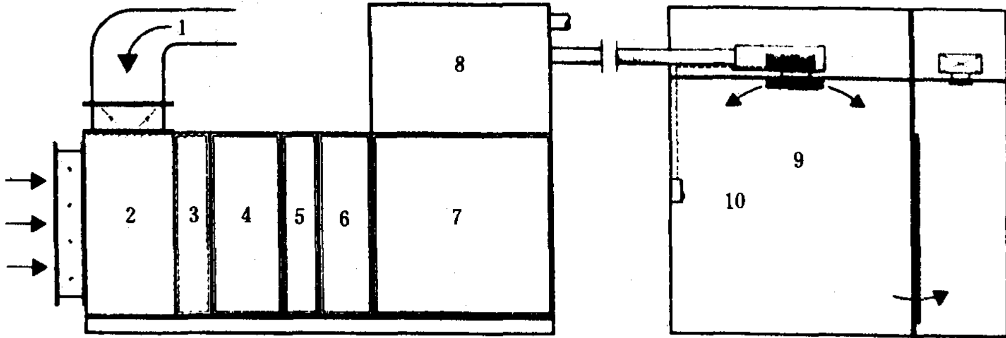


图 7.5.2—24 再热式单风管 SR 型空调器

1～9 同上图；10—温度继电器

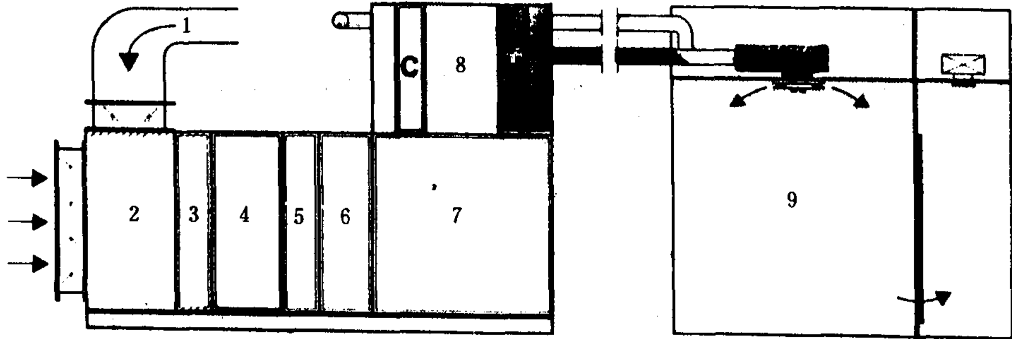


图 7.5.2—25 双风管式 DC 型空调器

1～9 同上图

西姆科空调器的风量规格如表 7.5.2—13 所示。

表 7.5.2—13 西姆科空调器的风量

代号	01	02	03	04	05	06	07	08
最大风量 m^3/h	1360	1820	2920	4270	5900	8810	13600	21100

4 船舶空气诱导器、布风器和管道

4.1 空气诱导器、布风器的作用

由集中式空气调节器处理后的空气，通过专门管道送入舱室，空气送入舱室及回流的方式应使送入舱室的空气有比较合理的分布，在室内造成均匀而稳定的温度、湿度和速度场。船舶舱室空间狭小，应尽量避免造成局部气流和送、回风间的短路，同时又不直接吹到人身。

送入舱室内气流的均匀分布主要由空气诱导器和布风器来完成。回风一般都是通过舱室门下的格栅直接排入走廊。

诱导器和布风器送风在室内形成的气流情况见图 7.5.2—26。

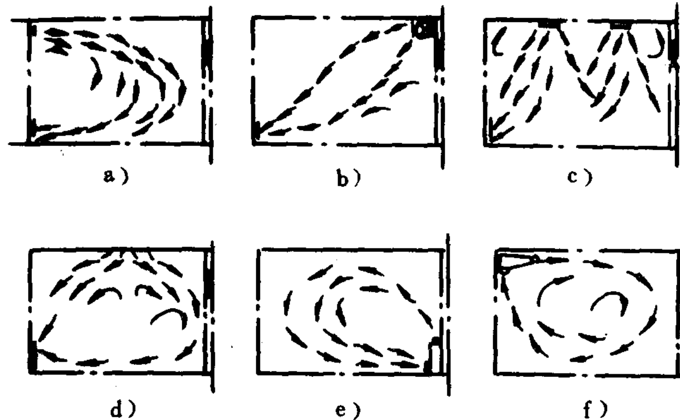


图 7.5.2—26 设有舱室诱导器和布风器的舱室气流情况

a)、b)壁式布风器； c)、d)顶式布风器； e)立式诱导器； f)顶式诱导器

实际上布风器就是在出口处装有格栅的出风口。出风口可以做成各种形式。有些布风器的出口格栅做成活动的形式，可任意调节出风的送风方向。还有一种布风器成球形，在出口处装一挡板。球形可以转动，以改变送风的方向。出风口格栅和布风器的结构以及通风管道可参阅本篇第 3 章内容。下面着重说明船用空调诱导器。

4.2 高速诱导器

在高速诱导式空调系统中，风管末端均装有空气诱导器，空气不仅在空气调节器内集中处理，而且在诱导器内就地处理室内回风，从而一方面使集中处理和输送的总风量大为减少，系统可紧凑、风管尺寸小，另一方面可使各空调舱室更有效、更灵活地独立调节室内温度，但是它要求系统的风机功率较大、噪声高，采用立式诱导器时还要占去一定的舱室面积，设备初投资也有所增加。

4.2.1 诱导器的工作过程

诱导器，实际上是一个带有混合室的高速射流出风器，立式结构简图见图 7.5.2—27。由空调器来的一次风，经风管、调风门进入静压箱，借空气的静压力，使一次风经喷嘴群（常达 26～46 个喷嘴吹出，产生高速射流（可达 20～40m/s）。

在喷嘴周围形成局部负压，室内空气（称二次风）通过进风栅被吸入诱导器的混合室，最后从出风栅送入舱室。二次风量与一次风量的比例称诱导比。如调节一次风风门开度便可调节诱导器总出风量。

静压箱内敷贴吸音材料，它除有均流作用外，还有良好的消声效果。为了进一步调节舱室温度，在二次风入口处装设换热盘管或组合式电热器，用以加热或冷却气流（又称二次处理）。也可不设换热器，即为简易式诱导器。

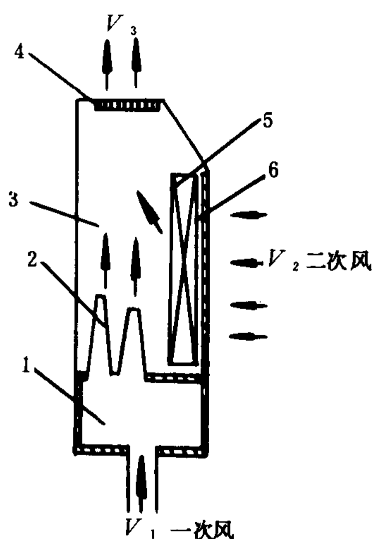


图 7.5.2—27 诱导器简图

1—静压箱；2—喷嘴；3—混合室；4—出风栅；5—换热器；6—进风栅

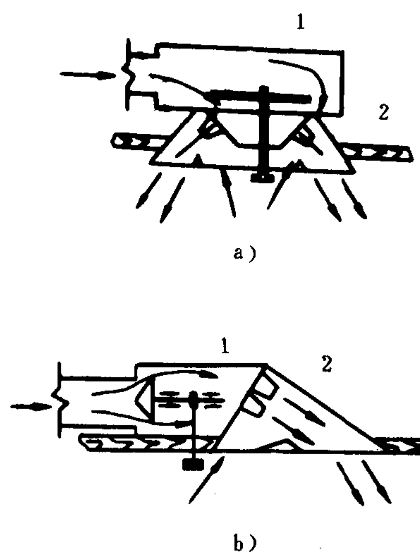


图 7.5.2—28 顶式、卧式诱导器简图

1—调风门；2—喷嘴

诱导器按安装方式可分为立式、卧式及顶式。

立式诱导器一般安装在窗台下墙的内侧，它安装、调节方便，但占据了一定舱容面积，卧式及顶式诱导器吊在天花板下，不占舱室有效容积，与室内装璜配合，基至还起到一定的美观作用。

图 7.5.2—28a)、b)所示为顶式、卧式诱导器的结构示意图。

4.2.2 诱导器的主要性能

评价诱导器的主要性能指标为诱导比和工作压力。

诱导比 n 是二次风量与一次风量之比，即

$$n=\frac{\rho_2 Q_2}{\rho_1 Q_1}\approx\frac{Q_2}{Q_1} \tag{7.5.2—3}$$

式中：n ——诱导比，无因次；

Q_1——一次风量，m^3/h；

Q_2——二次风量，m^3/h。

总风量 $Q=Q_1+Q_2$

$=(1+n)Q_1$，m^3/h

即 $Q_1=\frac{Q}{1+n}$

由上式可知，如诱导器的诱导比 n 值大，则当送风量要求一定时，一次风的供风量就可减小。对一定结构的诱导器，诱导比为定值。目前，我国自行设计和生产的船用空调诱导器的诱导比 n＝1.5～4。

工作压力(又称喷嘴压力)，由风机而定。一般在 250～850Pa 范围内，占整个诱导或空调系统风机总压头的比例较大，所以在选择诱导器时应于注意。

对诱导器的要求是诱导比大、噪声低(一般能至 50～55dB，但应在允许范围内)，静压箱中的压力不太高〔一般为 147～490Pa(15～50mmH_2O)〕，同时体积小。由于噪声大于 45dB 时即能影响人的正常睡眠，因此，在某些对空调噪声要求较严的船上仍使用一般布风器，另外，诱导器单件生产，价格较高、占据舱容等也是它的不利因素。

4.2.3 诱导器的型式

船用诱导器的型式虽多，尚缺乏统一的标准。按空气二次处理的情况，可分为不带换热器的简易诱导器、再加热诱导器和冷热诱导器。

(1)简易诱导器没有二次换热器，是一种特殊的送风装置，利用室内的二次回风，达到减少室内送风温差和增大室内送风量的作用。另外，诱导空调系统，一次风的温度可处理得较低，风量也可减少，风管中的风速又高，所以风管尺寸大为减小。

(2)再加热诱导器内部装有电加热器(电热丝外套翅片管)或二次加热盘管，在降温工况时不作二次处理，只在采暖时，室内负荷由二次加热器负担，新风负荷则由集中空调器负担，所以，这种换热器不带水，也称为“全空气”式诱导器。

(3)冷热诱导器，它内部装的二次处理盘管，即可冷却又可加热二次风，盘管内的传热介质是水，所以又称为“水一空气”式诱导器。

这种系统的一次风量更少，风管尺寸更为紧凑，但盘管数量多，诱导器尺寸稍大。根据回水管数量不同，又分双水管系统，三水管系统和四水管系统三种。

双水管系统中设供、回水管各一根，夏季供冷水，冬季供热水。管系较简单，初投资较省。三水管系统(冷水、热水、回水各一根)和四水管(冷、热水各有进出管)，运行、调节比较方便，但管系复杂，成本高，仅国外一些豪华客船上采用。

夏季，二次盘管用作冷却二次风时，根据冷却盘管表面有无凝水，可分为“干式冷却”和“湿式冷却”。前者盘管表面温度在二次风露点温度以上，后者相反。湿式冷却的二次冷却水温一般为 10～14℃。实际上，“干冷”开始运行时也结露。二次冷却多为湿式冷却，因此，二次盘管下均应设盛水盘，以及时排除凝水。“湿冷”用于室内负荷较大，允许相对湿度有较大变化的情况下；“干冷”则相反。

冬季，二次盘管用水温约 80℃的热水进行二次加热，以灵活调节舱室温度。通常二次盘管多用于冬季对空气进行二次加热；而夏季对空气就不再进行二次冷却。

“空气一电热”式诱导器，为海洋船舶常用的一种诱导器，采用橡皮圆柱形喷嘴，肋片管电热器，诱导比为 2～5 左右。它设有转动式一次风调风门。当中央空调器仃用时，启用电热器可直接采暖，此时诱导器成为独立的空气加热装置。

诱导器上一般均设有调风旋钮，借此调节供风管上调风门的开度，以改变一次风量。带二次盘管的诱导器还有调温旋钮，用来改变二次盘管的热负荷，从而对所在舱室的室温进行单独调节。具体调节办法如下：改变二次风的风门开度，以调节出风量；在“空气一水”式诱导器中，也可在进水管上设三通阀，调节冷、热水的旁通量；在带电加热器的诱导器中，控制电加热器的开关以进行调节。

对有二次盘管的诱导器，在进行舱室个别调节时，应先用调温旋钮作变质调节，不要随意调小调风旋钮，以免影响新鲜空气量的 供入。另外，由于二次风常有尘埃，客易弄脏二次盘管，应注意定期清洁。

5 空调系统的节能及热回收

5.1 空调系统节能

在空调系统中的节能主要有以下几方面：

1)选用高效率制冷机；

2)强化换热及有效的隔热；

3)研制节能型空调系统，合理地确定室内空气参数；

4)研制空调系统的自动控制，并以计算机控制操作，达到安全、经济运行；

5)采用各种形式的热 回收设备，充分利用能量；

6)利用太阳能、大气热能等来采暖；

7)吸收式制冷机及氟利昂透平制冷机将各种余热 、废热进行回收利用，作为空调冷源。

目前已有一些船舶采用溴化锂吸收式制冷机作为空调装置的冷源。据日本 Nkk 公司的资料，采用吸收式制冷空调装置与压缩式比较可节电 60%左右。在纵倾 10°、横摇 22.5°时工作正常 。

表 7.5.2—14 示出日本川琦重工为"超节能系统"船舶采用吸收式制冷空调装置的产品系列。该产品已在散货船和油船上使用。

表 7.5.2—14 **日本川琦重工船用吸收式制冷空调产品**

	项目 \ 单位 \ 型号		热水型				蒸汽型			
			AR－SM60LW		AR－SM90LW		AR－SM60LS			
	制冷量 USRT*		60	70	90	105	60	70	80	90
热源—热水	温度	℃	90	95	90	95				
	耗量	m^3/h	36.6	42.7	55	64.2				
热源—蒸汽	压力	10^4Pa					9.8	9.8	9.8	9.8
	耗量	kg/h					490	571	653	734
各泵电机总容量	功率	kW	10		12		10		10	

* USRT 为美制制冷吨单位。

1 USRT＝126.6×10^5 J/h 为空调工况时蒸发温度 7.5～12℃时的制冷量。

吸收式制冷 空调系统可采用单管道或双管道系统，也可采用风机盘管系统。图 7.5.2—29 所示为吸收式制冷风机盘管空调系统图。

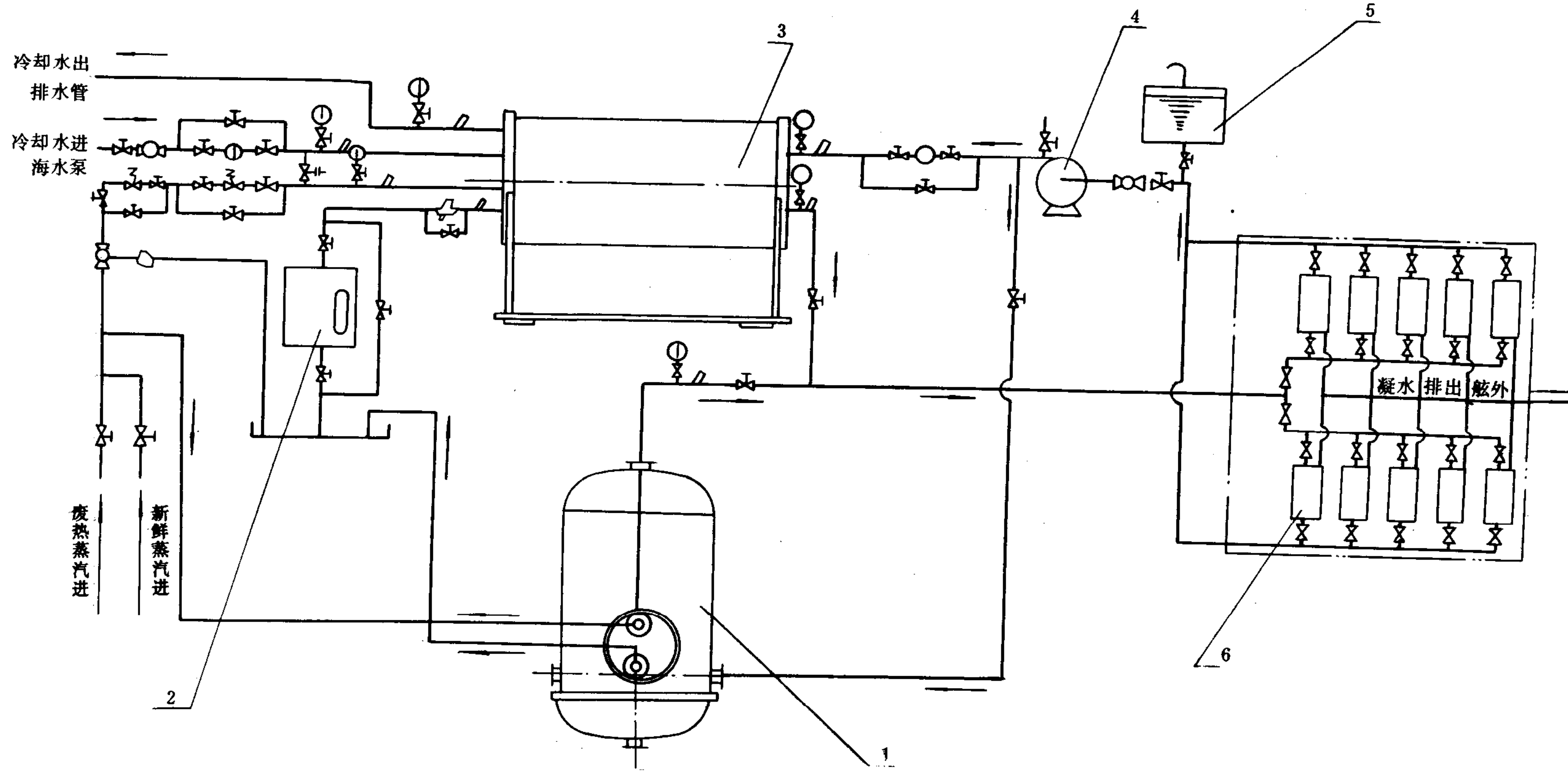


图 7.5.2—29　吸收式制冷风机盘管空调系统

1—热水柜；2—凝水柜；3—溴化锂吸收式制冷机；4—冷媒水泵；5—补给水箱；6—风机盘管空调器

5.2 空调系统热回收

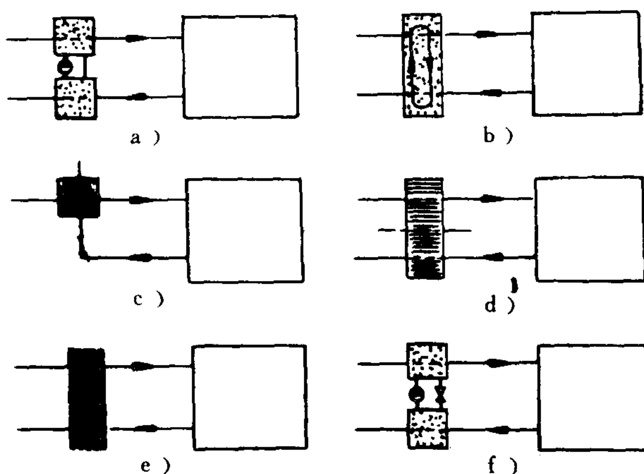


图 7.5.2—30 各类空调系统热回收原理图

a)、b)—液体热回收；c)—管板热回收；d)—转轮热回收；e)—热管热回收；f)—热泵热回收

空调系统热回收的方式较多，常用的可见图 7.5.2—30。

1）液体回收系统：在空调排风、新风管内装设两个换热器，液体在两换热器内进行自然或强制流动循环，由于温差进行液体传热，实现热回收，常用的液体有淡水或乙二醇溶液等〔图中 a)、b)〕。

2）固体热回收系统：常用的热回收换热器有管式或板翅式，直接经过固体表面使空调器的排风与新风进行换热〔图中 c)〕。也可直接用一种热容量较大的固体制成转轮，在排风与新风间旋转，使其不断吸热和放热，实现热回收〔图中 d)〕。

3）机械热回收系统：用热管换热原理组成热回收器，使排风机新风通过热管两端进行换 热〔图中 c)〕；也有通过排风与新风间设一热泵进行循环，通过其蒸发器和冷凝器的工作进行热回收，一般该热泵循环可设计成蒸汽压缩式或吸收式〔图中 f)〕。

船舶空调取暖采用转轮式热回收系统原理见图 7.5.2—31，转轮式热回收器。见图 7.5.2—32转轮式热回收器的主体为一蜂窝状转轮，在与排风、新风气流平行的轴上旋转，转轮上下两半分别与排风、新风接触，实现两股气流间的热、湿交换，达到热回收目的。冬、夏季空调均能有效运行。并属全热回收。转轮材料大多为带有吸湿剂（如氯化锂 Licl）的石棉纸芯，蜂窝铝或不锈钢板或金属丝网等。

从管理上考虑，节能应是 船员需经常注意的日常工作。例如调整空调器的各工况参数，保证自动控制系统的完好性，按不同外界条件启用空调系统等。

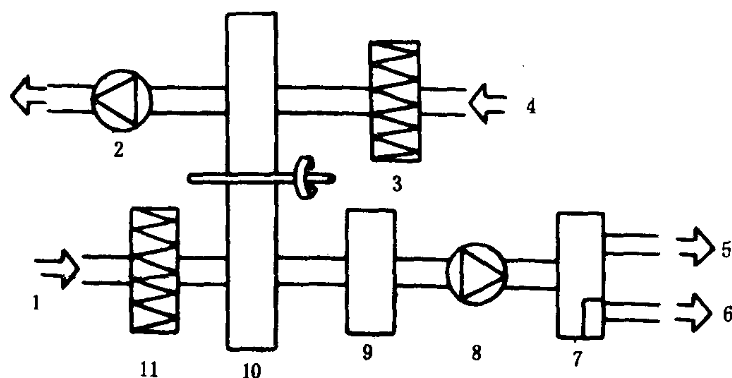


图 7.5.2—31 转轮式空调热回收系统原理图

1—新风进；2—风机；3—空气滤器；4—回风；5、6—送风；7—二次加热冷却器；8—风机；9—空气加热、冷却器；10—转轮热回收器；11—空气滤器

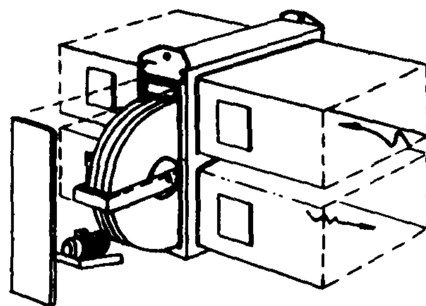


图 7.5.2—32 抽屉式转轮热回收器

6　船舶空调系统的自动化

船舶在不同航区和季节航行时，空调器的工作和舱室的剩余热量和剩余湿量会随之改变，为了保证舱室能维持满意的“舒适气候”和空调装置节能、合理地运行，并减轻管理人员的劳动强度和提高调节质量，船舶空调系统一般装有自动控制设备。

空调系统自动控制的主要内容有：

1）夏季降温时对供风温度或舱室温度的自动调节；

2）冬季取暖时对供风温度或舱室温度的自动调节；

3）冬季取暖时对供风湿度或舱室湿度的自动调节；

4）空调送风系统的空气静压控制等。

前两项一般船舶都具备，后两项只在自动化程度较高和对空调要求较严格的系统才采用。这些控制设备通常在船舶出厂前已调试完毕，对运行管理人员其任务就是保持设备的正常运行，并在调控失误时排除故障、正确调整，使自控设备发挥应有作用。

6.1　空调系统的温度控制

空调舱室的温度控制可通过改变供风温度或供风量实现，但因为调节风温比调节风量容易、准确，另则如供风量太少会恶化卫生条件，所以船舶空调常用调节风温来控制室温，风量调节作为补充措施，即由手动调节室内布风器的风门。此外，还可采用区域二次加热（或冷却），改变新风、回风比例等控制室温。

空调系统中应用最广泛的温度控制是单脉冲控制方式，见图 7.5.2—33，控制系统的感温元件 1 装在空调器的出口端，以感受供风温度，在风温与给定值发生偏差时，通过调节阀 3 改变加热（或冷却）介质的流量，稳定供风温度。

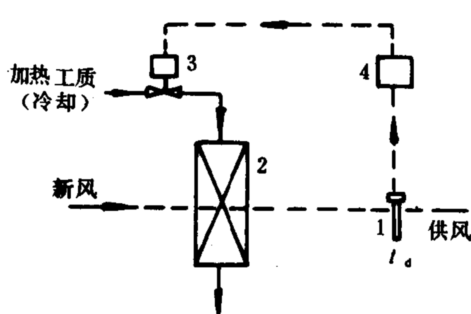


图 7.5.2—33　单脉冲温度控制原理

1—供风温度传感器；　2—空气加热（或冷却）器；

3—流量调节阀；　4—单脉冲温度控制器

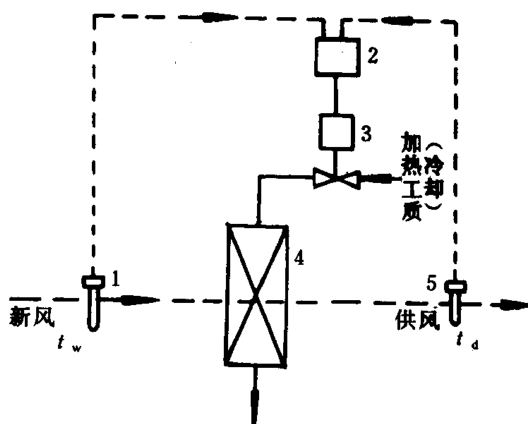


图 7.5.2—34　双脉冲温度控制原理

1—新风温度传感器；　2—双脉冲温度调节器；

3—流量控制阀；　4—空气加热（或冷却）器；

5—供风温度传感器

上述控制方法，在外界气温变化剧烈，室内热负荷变动较大时，舱室温度不能保持稳定；因此，常把感温元件 1 装在空调器的回风进口处。这样，根据回风温度的变化来控制空气的加热（或冷却）处理，以使舱室气温更稳定。

近期在船舶空调系统控制中，采用了双脉冲控制，即温度自动补偿系统，如图 7.5.2—34

所示。除了感受供风温度的信号脉冲外，还在空调器进口处装一感温元件感受舱外空气的温度，以此信号对送风温度作自动补偿，两信号同时送入调节器，经综合调节放大，并按给定值发出讯号给控制阀，以调节空气的加热或冷却。这种控制系 统只要调节适当，可避免室外温度变化对舱室温度波动的影响。

6.1.1 夏季空调供风温度自动调节

夏季舱室温度一般低于外界气温 6～10℃较为适宜，否则进出舱室易感不舒。室内温度随外界气温升降而变动，供风温度也应随之改变。而空气冷却器对空气的冷却程度，由制冷系统的正常工作和制冷剂流量所决定，在间接冷却系统中由送入空气冷却器的冷媒水流量或从空气冷却器旁通的风量决定。

1)直接蒸发式空气冷却器的自动调节：

用直接蒸发式空气冷却器的空调器，可不必为控制夏季供风温度而装设自动调节系统；因为新风温度改变时空气冷却器的热力膨胀阀能导致空气冷却器出口处制冷剂过热度的改变，相应地调节制冷剂流量，同时制冷机能量自动调节装置配合工作，就能使 空调器的供风温度随 外界气温变化相应改变，并保持在一定范围之内，以符合舒适空调的要求。

但也可以利用单脉冲双位温度控制器，直接感受舱室回风温度，控制制冷剂供液电磁阀以调节舱室温度；或根据空气冷却器热负荷变化引起的制冷系统蒸发压力改变，通过制冷压缩机卸载一能量调节装置的动作，自动调节空调系统的供冷量，使 送风温度稳定在某一范围内，如我国“丰”字号远洋干货船采用的空调控制系统。

2)间接冷却式空气冷却器的自动调节：

为控制舱室温度，可通过温度控制器感应回风温度，自动调节间接冷却式空气冷却器的冷媒水循环量。这种方法设备简单，较常用。图 7.5.2—35 所示为三种调节供风温度的具体方案。其中方案 c)中冷却盘管分为两组。仅一组受控。

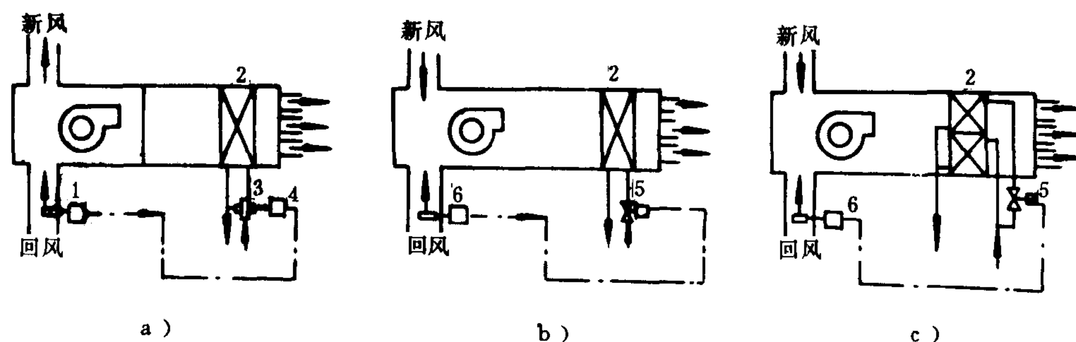


图 7.5.2—35 间接冷却式空气冷却器水量调节

a) 三通分流阀调节；b)双位调节；c)分级调节

1—温度传感器；2—空气冷却器；3—三通分流 阀；4—比例式温度调节器；5—电磁阀；6—温度继电器

3)改变空气混合比的自动调节：

在再循环、双风管空调系统中，可改变空气混合比来控制舱内温度。

如双风管空调系统中可改变温度不同的二根风管供风量比例来进行调节，见图 7.5.2—36。

对具有一、二次再循环空气的空调系统，可改变新风和回风混合比。或改变一、二次回风比例进行调节，如图 7.5.2—37 所示。

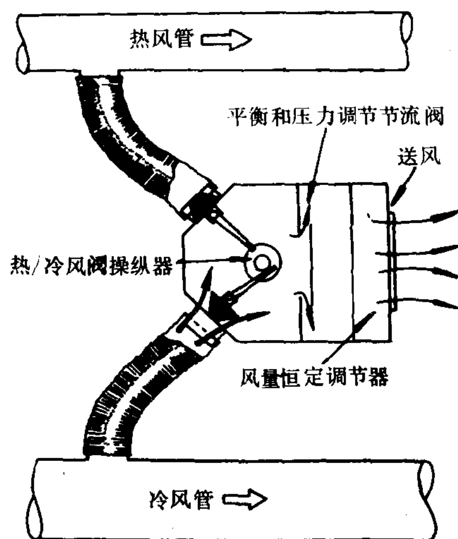


图 7.5.2—36　双风管系统冷、热风混合调节

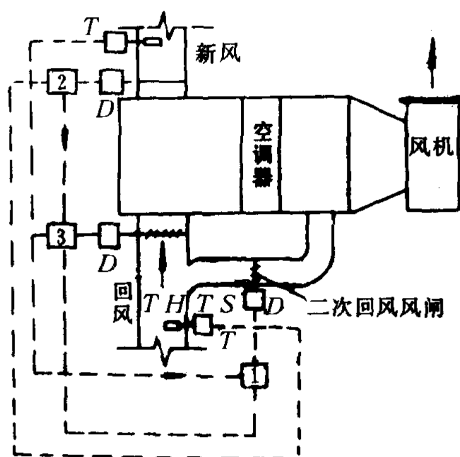


图 7.5.2—37　再循环空调系统改变混合比调节

D—电动比例操作器；T—温度继电器；TH—干湿球温度发送器；TS—电子相对湿度三位 PI 调节器；1—1JZ 继电器组；2—2JZ 继电器组；3—3JZ 继电器组

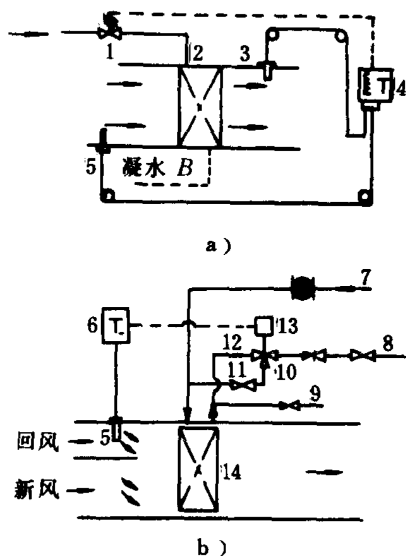


图 7.5.2—38　间接作用式温度控制原理图

a)蒸汽空气加热器的控制系统；b)热水空气加热器的分流温度控制系统；1—电磁阀；2—蒸汽空气加热器；3、5—感温包；4、6—温度控制器；7—热水进入；8—热水排出；9—加热器手动放水阀；10—三通阀；11—调节阀；12—加热器排水通路；13—伺服电机；14—热水空气加热器

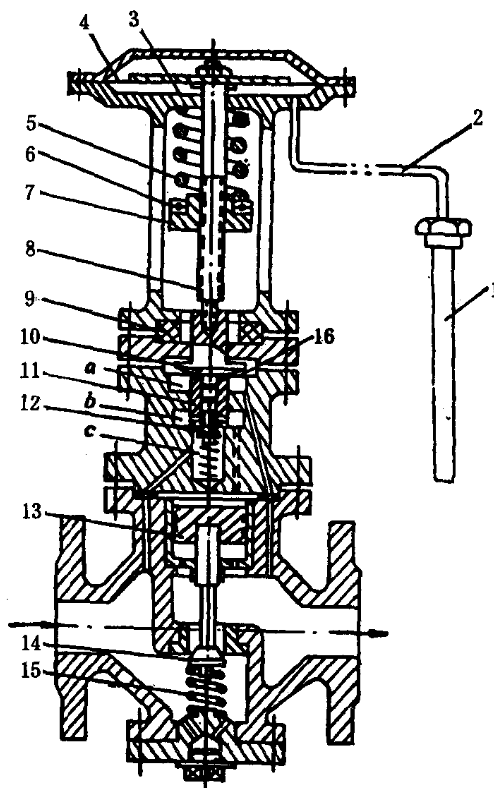


图 7.5.2—39　HJ 型温度控制器

1—温包；2—毛细管；3—储液盘；4—测量膜片；5—调整弹簧；6—弹簧座；7—调整螺母；8—顶杆；9—隔热环；10—压座；11—脉冲阀座；12—脉冲阀；13—活塞；14—主阀盘；15—主阀弹簧；16—反馈膜片

6.1.2　冬季空调供风温度的自动调节

船舶空调的热源主要是压力为 0.2～0.3MPa 的减压蒸汽，或被蒸汽加热的热水(50～60℃)。舱室温度的调节可控制加热工质的流量。

如图 7.5.2—38 所示为具有电磁阀或三通阀的间接作用式温度控制原理图。主要通过气动(或电动)温度控制器控制电路，以启闭热源供给阀来调节舱室温度。

6.1.3　常用的温度调节器

图 7.5.2—39 所示为常用的国产 HJ 型温度调节器。改变其调整螺母位置即可改变所控制的温度范围。

图 7.5.2—40 所示为双液体温包补偿式温度调节器。

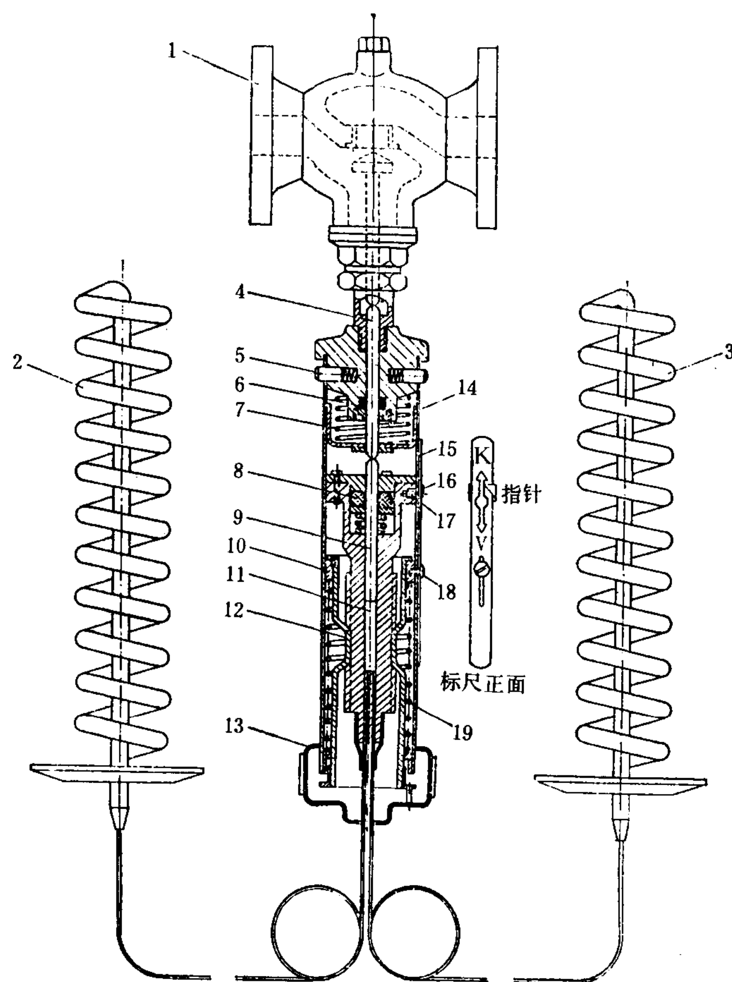


图 7.5.2—40　双液体温包补偿式温度调节器

1—调节阀；2—室外温包；3—供风温包；4—顶杆；5—按钮；6—调节阀填料箱；7—弹簧；8—液缸填料；9—柱塞；10—螺纹管隔环；11—液缸；12—螺纹管；13—调节旋钮；14—筒体；15—标尺；16—标尺指针；17—液缸导向螺钉；18—标尺固定螺钉；19—超压保护弹簧

图 7.5.2—41 所示为气动温度调节器的基本结构和工作原理图。

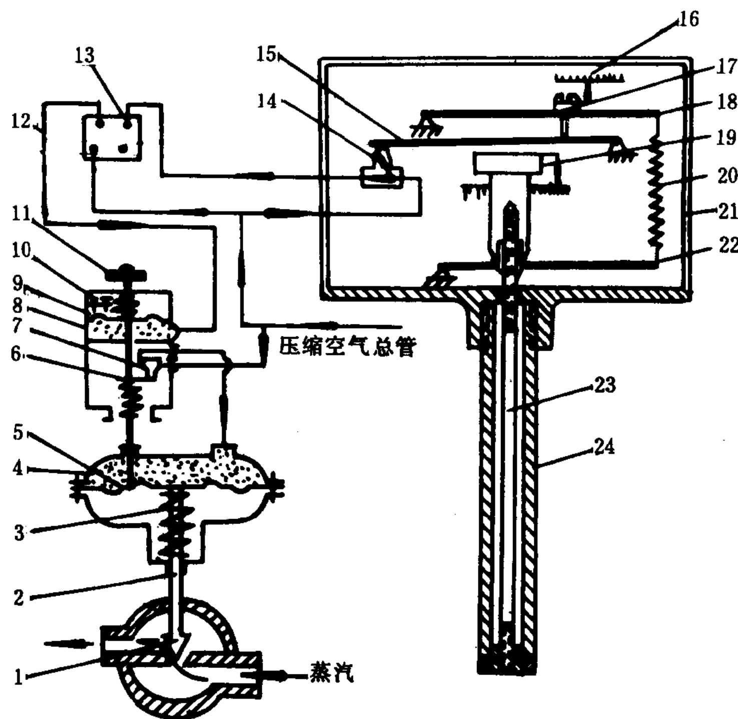


图 7.5.2—41　气动温度控制器结构、工作原理图

1—蒸汽控制阀阀芯；2—阀杆；3—弹簧；4—膜盒；5—膜片；6—挡板；7—喷嘴；8—放大器；9—膜片；10—调节螺钉；11—调节盘；12—支管；13—手自动转换开关；14—喷嘴；15—第三杠杆；16—温度标尺；17—比例调节螺钉；18—第二杠杆；19—调温旋钮；20—主弹簧；21—感受器；22—第一杠杆；23—铟钢圆杆；24—黄铜感温管

其感温管由膨胀系数约为 25：1 的黄铜管 24 和铟钢圆杆 23 组成。黄铜管一端与温度感受器外壳固定，另端与铟钢圆杆连结。由热变形的相对位移而输出信号。

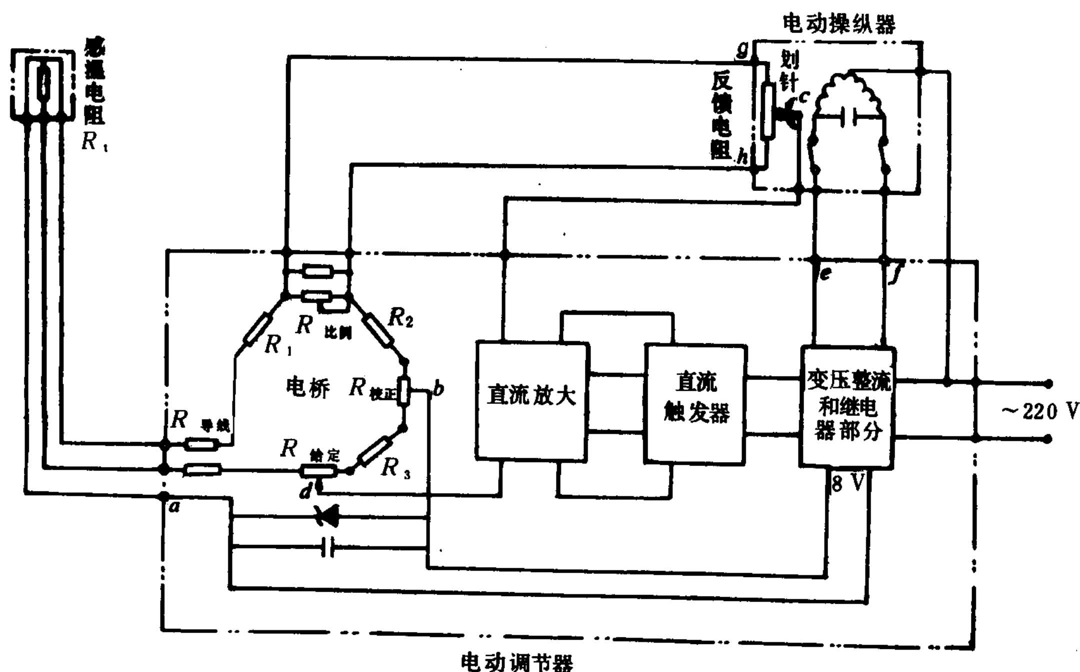


图 7.5.2—42　p－4A1 型 电动比例调节器电路原理

气动调节器工作可靠，便于管理，也适于防火防爆，但需有一定压力的压缩空气气源，调节

的精度不够高，时间滞后较大，因而适宜于一般精度要求的大型空调。目前船上使用较多。

除了气动调节器外，船舶空调系统也常采用电动调节器。图 7.5.2—42 所示为国产的p－4A[1] 型比例调节器与 SM 型电动操作器所组成的空调温度调节系统的电路原理。

电动调节器的特点是调节精度高，装卸简便，适于遥控及集中控制；但使用、调整较复杂，电器接点可能产生火花，不利于防火防爆。

空调系统中采用的温度调节器型号较多，可参阅本手册第 9 卷的有关部分。

6.2 空调系统的湿度控制

根据船舶空调的舒适要求，允许室内相对湿度在±5%(甚至更大)的范围内波动，因此可采用双位调节或比例调节。冬季多采用蒸汽喷湿法；夏季降温工况同时已 进行除湿，只注意避免湿度过高，一般不作专门调节。

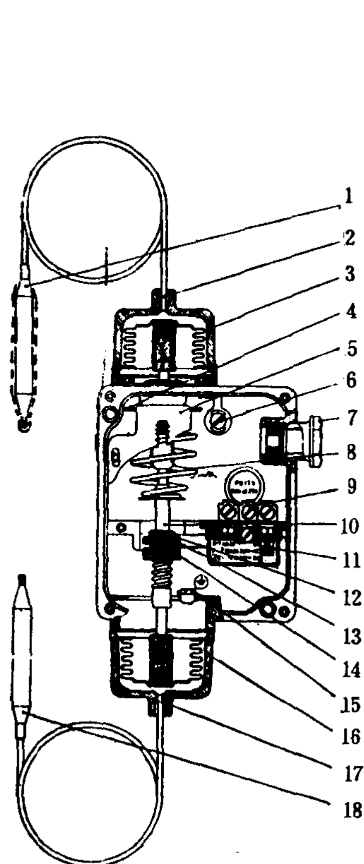
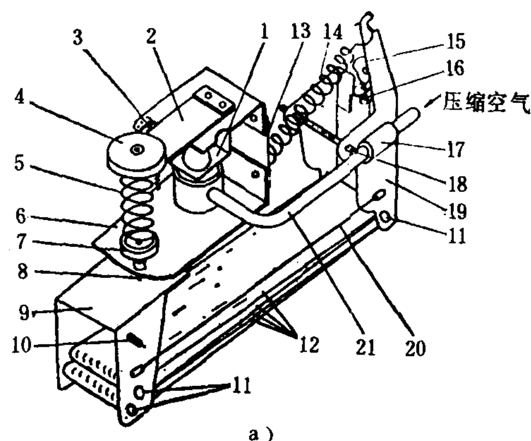


图 7.5.2—43 干、湿球式湿度控制器

1—低温温包(湿球)；2—毛细管；3—低温波纹管组件；4—调节盘；5—主标尺；6—接线柱；7—电缆线引套；8—调节弹簧；9—接线柱；10—主轴；11—开关；12—上导钮；13—拔臂；14—下导钮；15—接地线；16—高温(干球)波纹管组件；17—毛细管；18—高温温包(干球)



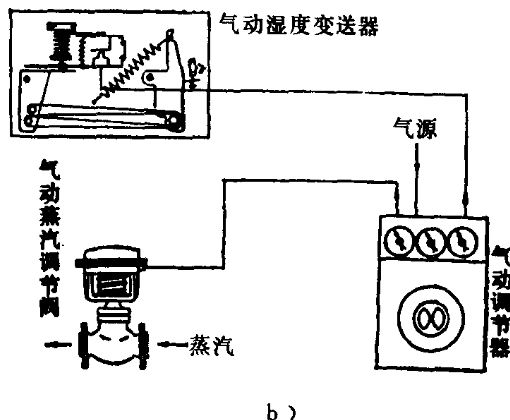


图 7.5.2—44 尼龙膜气动湿度调节系统

a)HP901A 型尼龙膜气动湿度变送器；b)调节系统简图

1—喷嘴挡板机构；2—舌板；3—细拉伸弹簧；4—平衡重；5—舌板弹簧；6—固定底板；7—弹簧座；8—顶针；9—左角架；10—左角架转轴；11—薄膜轴；12—感湿薄膜环带；13—弹性钢片；14—调节弹簧；15—调节凸轮；16—调节螺钉；17—空气滤器；18—右角架转轴；19—右角架；20—限位钢丝；21—空气导管

目前常用的船舶空调湿度控制器有干、湿球式、毛发式和电阻式湿度控制器等。

6.2.1 干、湿球式湿度控制器

干、湿球式湿度控制器构造见图 7.5.2—43。

干、湿球式湿度控制器，除温包发讯外，目前较多采用电阻发讯(如铂电阻、镍电阻)，如国产 CSC—1101 型船用电子式自动干、湿球湿度计，采用两只铂电阻敏感元件。

这种控制器的缺点是控制误差大，湿球润湿、清洁不便，气流速度影响大。

6.2.2 毛发式湿度控制器

这种湿度控制器利用毛发(或尼龙丝)在不同湿度下伸缩率不同，由长度变化的位移量作为湿度控制信号，通过不同形式的控制器和执行器来控制空气的湿度。

图 7.5.2—44 为中国远洋船舶上使用的 HP901A 型尼龙膜气动湿度变送器及气动湿度控制系统。

这种调节器的比例范围在调湿时约整定为 7.5%～10%，由于其感湿范围为 30%～80%，因此，相当于相对湿度变化 3.75%～5%时调节阀就可从全开变为全关。

这类控制器使用时间较长后，尼龙丝(或毛发)产生塑性变形或因其它原因而产生零位漂移，这时在使用中需用标准湿度计校测湿度值，再用螺钉 16 和凸轮 15 改变右角架 19 的位置，加以校准。

6.2.3 氯化锂电阻式湿度调节器

图 7.5.2—45 所示为氯化锂双位式电动调节器，采用吸湿材料氯化锂涂层作为感湿元件，两根平行缠在绝缘体上的银丝，靠涂料使之构成导电回路，感湿元件的电阻随涂料含水量变化而改变，从而发出电信号来控制空气湿度。

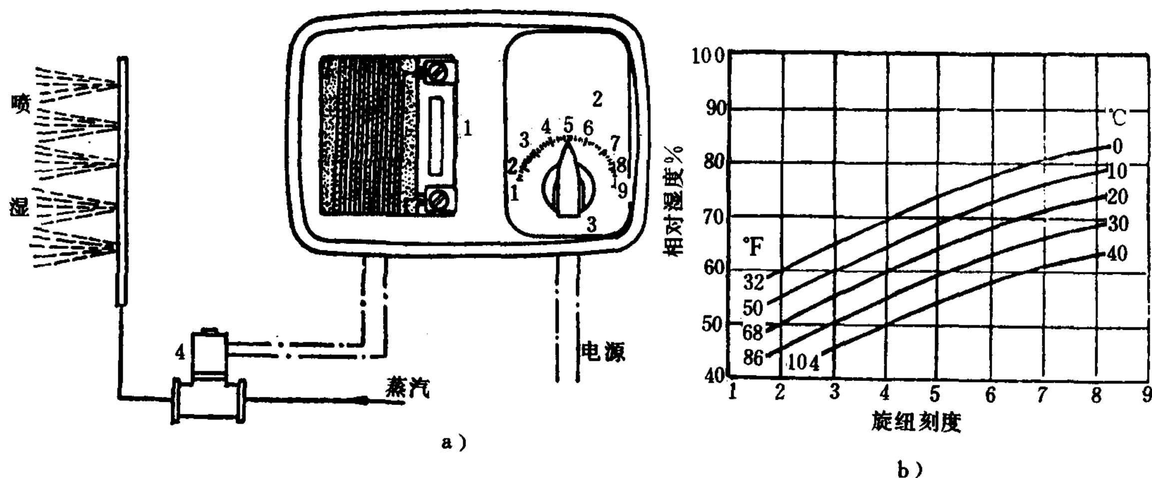


图 7.5.2—45 氯化锂电阻式湿度调节器及其系统

a)调节器及其系统图；b)调湿刻度与温度和调定湿度的关系曲线

1—感湿元件；2—晶体管放大器；3—调节旋钮；4—调湿电磁阀

氯化锂的电阻值与温度有关，因此还设有环境温度调整旋钮，按图中 b)的曲线加以调整。不同型号的感湿元件所控制的湿度范围不同，选用时应加注意。

这种调节器简单、尺度小，灵敏，可测出相对湿度 ψ 在 ±0.14%范围内的变化，反应速度快，调节精度可达 $\varphi=\pm1.5\%$以内。缺点是需要对环境温度进行校正，使用长久后涂料会污染或剥落，在使用中应定期检查，加以清洁或更新，并注意不要用手接触或擦拭感温元件，以免影

响其工作性能。

在空调系统中所使用的湿度敏感元件，其技术数据见表 7.5.2-15。

表 7.5.2-15　　湿度敏感元件主要技术数据表

型号及名称	测量范围	测量精度	生产厂
TH 型干湿球温度信号发送器	t=0～40℃；φ=20～100%		上海永嘉自动化仪表厂
DBWS-13 型氯化锂湿度变送器	t=10～40℃；φ=35～85%	t：±0.5℃ φ：<±2%	北京宣武区环境保护仪器厂
MSOI-$\frac{A}{B}$型湿敏电阻器（电阻式湿度传感器）	φ=30～95%	当 t=20℃时 φ：±1～3%测湿性能稳定	河南鹤壁市粮油电子仪器厂
USL-F_1 型氯化锂湿度发送器	φ=65～75% φ=15～95%		成都仪器厂
LLS-1 型氯化锂露点湿度计	t=-20～40℃	露点温度±0.6℃； 干球温度±0.3℃	北京宣武区环境保护仪器厂

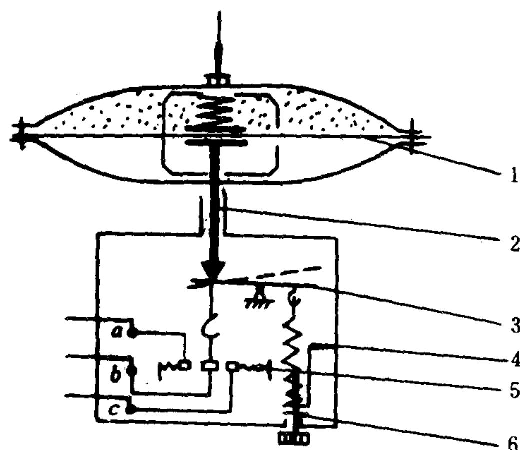


图 7.5.2—46　薄膜式静压控制器

1—静压薄膜；2—顶杆；3—杠杆；4—静压读数指针；5—电触点；6—调节螺钉及弹簧

6.3　空调送风系统的静压控制

为在各舱室调节风量时不致使有关舱室的风量改变和噪声增大，一般在中、高速空调系统中应装设静压控制系统。有如下四种型式：

6.3.1　薄膜式静压控制系统

图 7.5.2—46 所示为我国远洋客船上采用的薄膜式静压控制器简图。它通过伺服电机控制有关风门的开度，以调节静压。

6.3.2　气动式静压控制系统

图 7.5.2—47 所示为我国"丰"字型远洋货船中采用的静压控制系统，用伺服气缸操纵风管空气泄放阀对静压加以控制。

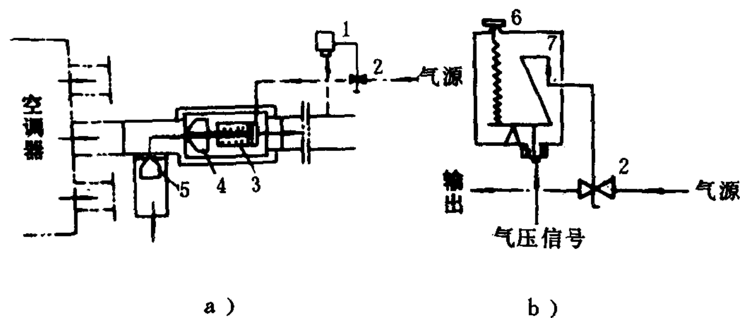


图 7.5.2—47 气动式静压控制系统

1—气动压力调节器;2—三通节流阀;3—风门伺服气缸;

4—风量调节阀;5—空气泄放阀;6—调整螺母;7—喷嘴挡板

6.3.3 电动积分式静压调节系统

图 7.5.2—48 所示为该系统原理图,其控制特点是:当风压与调定值有偏差时,风门动作,风门与风压间无固定比例关系,是一个单纯的积分调节器。

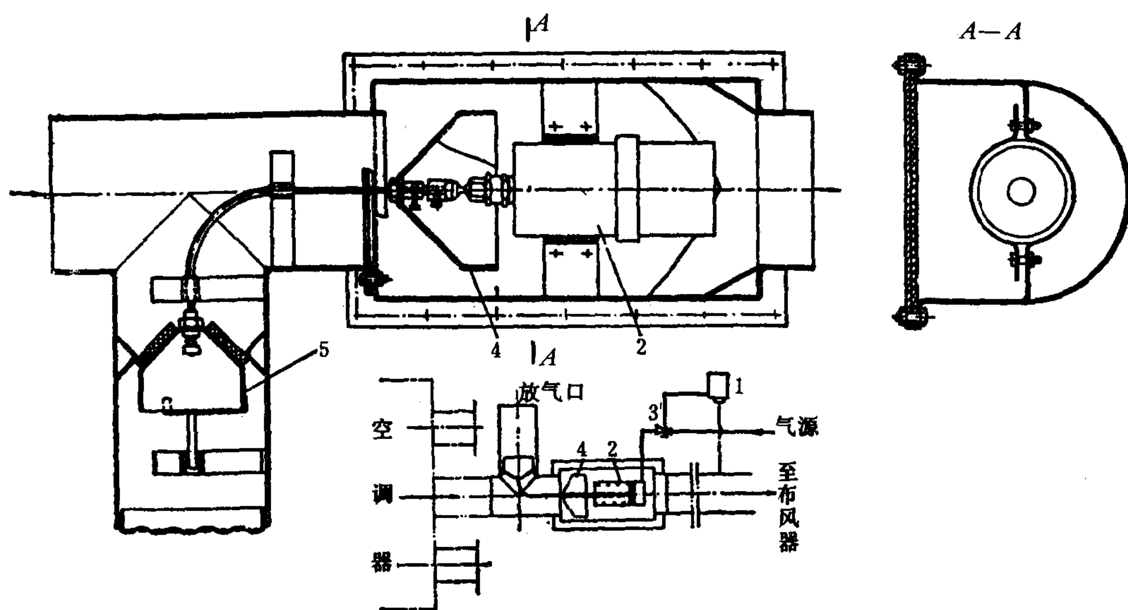


图 7.5.2—48 电动积分静压调节器及系统

1—橡皮薄膜;2—调节弹簧;3—调节阀;4—动触头;5—定触头

6.3.4 直接作用式静压调节器

电动或气动间接式静压调节系统,设备较多,投资大,维护工作相应增加;所以在货船上较多采用直接作用式静压调节系统,调节器阻力虽大,但不需另设能源,直接由风管风压驱动,地位紧凑,维护简单,价格也较便宜,图 7.5.2—49 所示为调节器构造图。

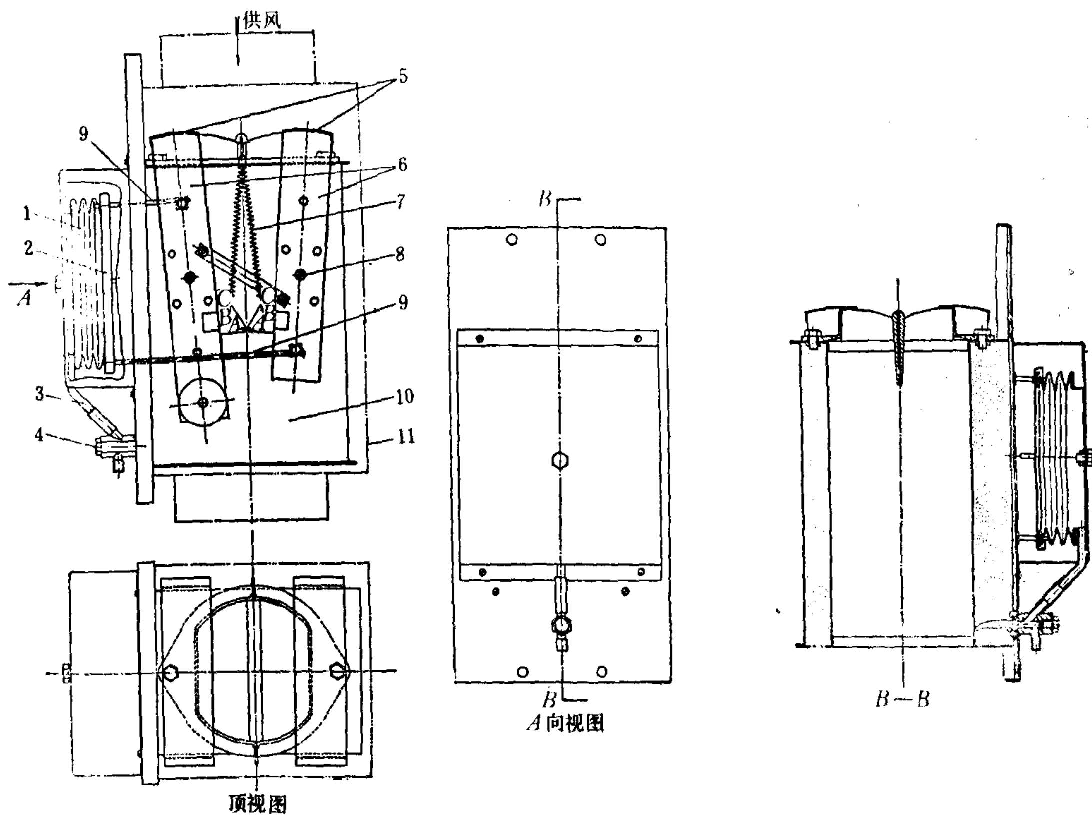


图 7.5.2—49　直接作用式静压调节器

1—风压计接管；2—测压管；3—承压板；4—橡胶波纹管；5—风门；6—风门连杆机构；7—调压弹簧；8—连杆转轴；9—顶杆；10—内体；11—外壳

7　空调系统的热负荷估算

7.1　舱内外空调参数的确定

目前尚无国内外统一的舱内外空调参数标准，可根据本篇第 1 章内容选定。

7.2　热负荷估算

通常计算按以下步骤进行：

1)计算空调舱室容积。

2)估算室内吸取的显热量(q_s)：

q_s 可用图 7.5.2—50 查取。

3) 确定空调型式并选定送风温差(Δt)。

4)根据 q_s、Δt 确定送风量 Q：

Q 可用图 7.5.2—51 查取。

图 7.5.2—51 曲线可用下列关系式表示：

$$Q=\frac{1.1q_s}{17.3\times1.163\times10^{-3}\Delta t}\quad m^3/min \tag{7.5.2—4}$$

式中：Q——所需送风量，m^3/min；

q_s ——室内取得的显热，kW；

Δt ——送风温差，℃；

17.3——$\frac{空气比热(0.24)}{空气比容(0.83)}\times60$

应用例举：

当 $q_s=6.6\times11.63$ kW，$\Delta t=14$℃时，则 $V=300m^3/min$。

5）根据Q、Δt 和新风比 m 确是所求的冷负荷 q_c。

q_c 可用图 7.5.2—52 推算。

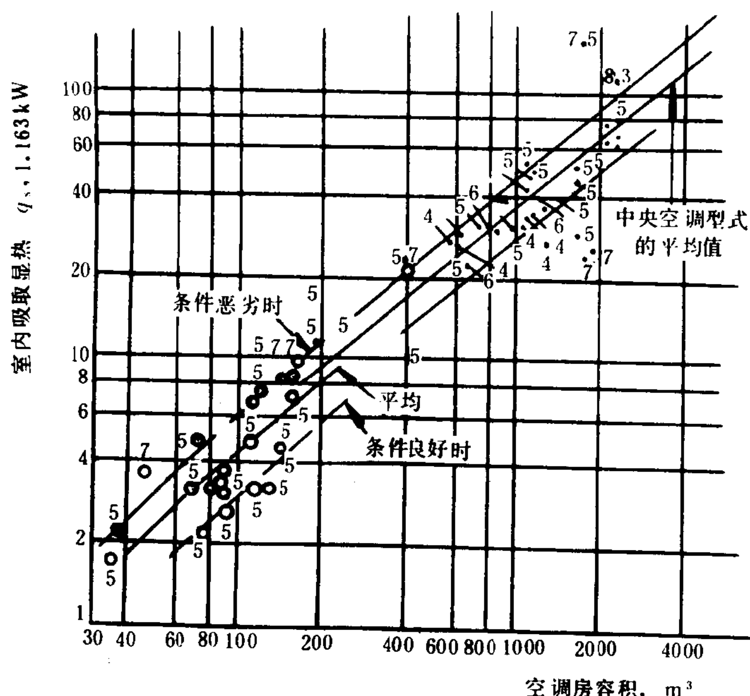


图 7.5.2—50 空调房容积与室内吸取的显热关系曲线

•——中央空调型式； °——个别空调型式；

5—室内与外界大气的温差，C

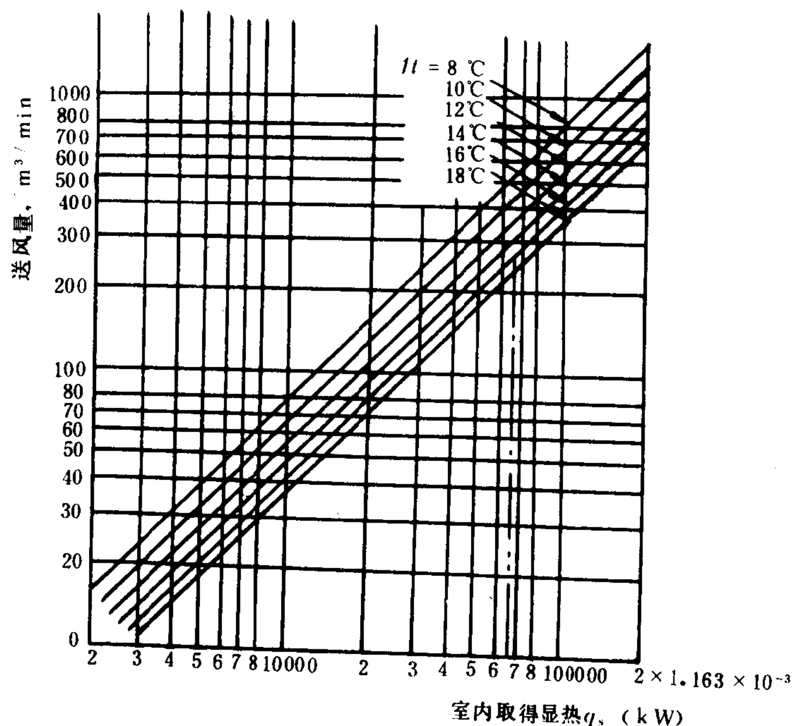
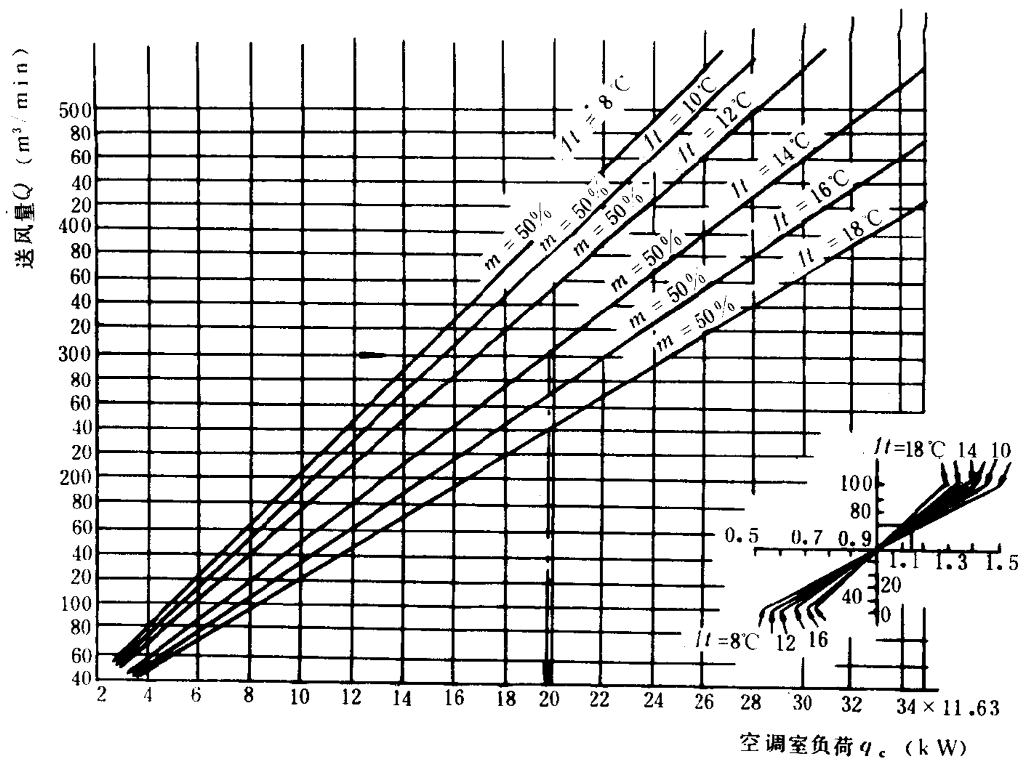
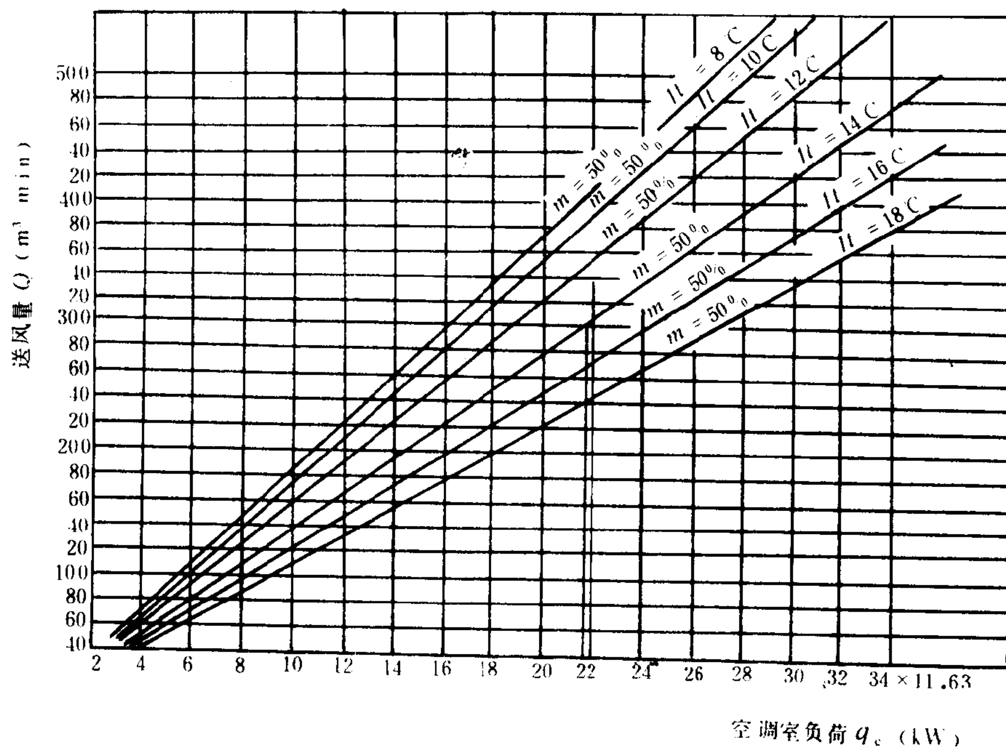


图 7.5.2—51 送风量与吸取显热的关系曲线



a）



b）

图7.5.2 52 空调室负荷计算曲线

a）外界气温32℃，相对湿度70%，室内温度27℃，相对湿度50%；

b）外界气温35℃，相对湿度70%，室内温度30℃，相对湿度50%（k的求取同a）图）

m—外界新风吸入量之比；Δt—送风温差；k—新风吸入量比m与图中标定值不同时的修正系数

应用例举如下：

①$Q=300m^3/min$，$m=50\%$，$\Delta t=14℃$，则 $q_c=21.7\times11.63$ kW

②如上例中 $m=70\%$，则 $k=1.145$，$q_c=1.145\times21.7\times11.63$ kW

③如①例中 $Q=30m^3/min$，则 $q_c=\frac{30}{300}\times21.7\times10^4=2.1\times11.63$ kW

6)制冷机负荷的确定

$$q_R=(1+k_R)q_c \tag{7.5.2—5}$$

式中：q_R——制冷机负荷，kW；

q_c——冷负荷，kW；

k_R——剩余率，直接膨胀式 $k_R=0.10$，间接冷却式 $k_R=0.15$。

7)根据换气次数N确定送风量Q：

$$Q=\frac{CV\times N}{60} \tag{7.5.2—6}$$

式中：Q——送风量，m^3/min；

V——空调室容积，m^3；

N——换气次数，次/h；

C——剩余系数，C=1.1～1.15。

换气次数N可根据用户要求或从本篇表7.5.1—1及有关标准选取。

8 法规要求和噪声控制

8.1 对船舶空调系统的法规要求

对空调系统的通风导管，与一般通风导管相同，中国船检局有规定性的要求。74安全公约也有些规定。主要内容如下。

1)通风系统穿过甲板时，应满足有关甲板耐火完整性要求外，还应采取预防措施以减少烟及炽热气体通过该系统进入另一甲板处所。垂直导管，必要时需相应的预以隔热。

2)一切通风系统的主要进风口和出风口应能在通风处所外部加以关闭。

3)除装货处所外，对通风导管的材料有下列规定：截面面积大于 $0.075m^2$ 的导管及用于超过一个甲板间处所的所有垂直导管，须用钢或其他等效材料制造；截面面积小于 $0.075m^2$ 的导管须用不燃材料制造，如穿过"A"或"B"级分隔的，应保证其分隔的耐火完整性；截面面积不超过 $0.02m^2$，长度又小于2m的短导管，只作通风系统的末端且不穿越"A"级或"B"级分隔处0.6m范围者，则可不采用不燃材料制造。

4)除机器和装货处所的通风系统以外，一切动力通风应设有两个尽可能远遥控风机停止的控制装置。

5)用于起居处所、服务处所或控制站的通风导管，一般不应通过A类机器处所和厨房；如导管用钢材制造，且其宽度或直径为300mm以下，所用钢材厚度大于3mm；宽度或直径在760mm及以上，所用钢板厚度在5mm以上者或装有挡火闸者除外。

6)净横截面积超过 $0.075m^2$ 的导管应设置挡火闸。挡火闸应能自动操纵，也能在舱壁或

甲板的两侧用人工关闭。挡火闸上应装有指示器，以指明打开或关闭位置。

8.2 船舶空调系统噪声控制

空调通风系统的噪声主要是空气动力噪声和机械噪声以及电磁噪声等三方面。一般以空气动力噪声为主，通风机、风管、布风器、诱导器以及调风门等管道附件是空调系统的噪声源。

空调系统特别是低速系统，噪声基本上由通风机产生。高速系统必需同时还应考虑分配系统产生的噪声。

气流通过分配系统的管道时，由于气流与管道壁面的摩擦和管道的振动，而产生噪声。风速越高，噪声越大。在诱导器中，噪声主要由喷嘴喷出的高速气流产生，所以近年来很多船舶都采用穿孔天棚板式的布风器来代替诱导器。

关于噪声和振动的产生及其消减方法请参阅本手册第6卷第3篇内容。

9 船舶空调系统的检验与管理

9.1 船舶空调系统的测试与调整

船舶空调系统在安装完毕、长期停用后起动前，以及在运行中发现问题时，需进行全面的检查、测量和调整，或进行部分参数的测定调整。

空调系统正式运转前应先试车，试车前应检查各单机状态，如所有阀件、接头应齐全，并关闭灵活；空调器内所有设备安装应正确，清洁；电源供给和电机绝缘性能良好等等。

9.1.1 风机和管道的检查

检查风机、电动机及其传动装置应安装稳固，轴承润滑良好，并盘车试转正常；检查所有风管连接紧密，各风门启闭位置适当。起动时检查风机转向、电流电压表读数，确认其电气部件工作良好，然后正式运转。对新装或修复的风机，应经过3、10、24n阶段试运转。试车时应随时注意轴承润滑和温升情况（不得超过环境温度40℃），并测定风管风速及风机风量。

所有管系及接头处不得漏风、漏水、漏蒸汽或漏制冷剂。所有阀门应开启灵活，且密封、调节性能正常；冷、热管系应隔热并设保护层，并加标志。

风机风量和管道内流速的测定常用毕托管测定风速，再按风管面积算出风量。

测量风道风速时应注意：

1）测量点应尽可能选在任何局部管件之前1.5～2倍管道直径或其后4～5倍管径（对矩形风管指长边）长的直风管上，以避免风速不均。

2）毕托管开口端部小孔应面对气流。

$$V=\sqrt{\frac{2}{\rho}}p_vF\approx 12.64F\sqrt{p_v} \qquad (7.5.2-7)$$

式中：p_v ——风管内空气的动压，Pa；

ρ ——空气质量密度为$1.2kg/m^3$；

F ——风道截面积，m^2。

风管内的风速是不均匀的，为此，可对矩形风管，划分成尽可能呈正方形的小面积（不大于$0.05m^2$），测出各小面积风速的平均值。对圆形风管，则划分成等面积的同心环，测取每环四侧的风速，最后求取其算术平均值。圆环数按表7.5.2—16确定。风道截面划分见图7.5.2—53。

表 7.5.2-16

圆管直径(mm)	小于200	200～400	400～700	大于700
圆环数	3	4	5	5～6

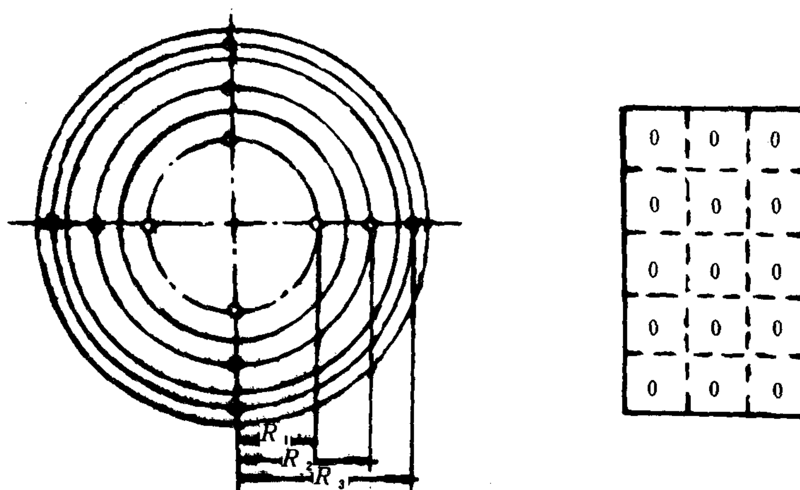


图 7.5.2-53　风管截面划分等面积的方法

一般在固定的装置系统中风机的风量不易进行大幅度的调整。在一定范围内可改变风机进、出口挡风板的开度以调整风量；但应注意挡风板调整位置不当时会造成较大的噪声。

各房间的风量分配，常用改变各分支管挡风闸的开度进行调整。调整时应从最远的舱室支管开始，逐步向离风机最近的分支调整。

9.1.2　空调空气参数的测定和调整

主要测定空气的温、湿度和室内风速和风压，并进行调整。

温、湿度的测定通常均采用干、湿球温度计。干、湿球温度计的使用方法及湿度的计算参阅本手册第1卷第1篇第4章。调整的方法见下节管理部份。

室内出风口及各点的风速可用叶轮式风速计、转杯式风速计、热电风速计和卡他温度计等进行测量。应调整风速范围在本篇第1章第2节所示的数值内。

对室内风速的调整主要改变空气支管的分配比，出风口挡风闸、回风栅开度和诱导器的进风调风门等的开度。

室内应保持20～30Pa(约2～3mmH_2O)正压，以保证送风与舱室空气得到均匀混合。测定时，门窗关闭，以微压计的"－"号接口用橡皮管引至室外，其"＋"号接口接橡皮管与室内空气相通。室内正压大小可通过回风口风栅开度调节。

对某些有特殊要求之空调舱室，常进行多点测定，并绘制舱室及舱室内各断面之温度场、速度场、气流、型图等，以对整个空调系统分析评价，需要时加以调整。

9.1.3　自动控制系统的检查和调整

需对全部自动控制系统和控制元器件进行检查，测定其性能。如调定值、幅差值、调节特性、执行机构全行程时间和启停连锁装置的功能等。检查测量方法参看本手册第7卷有关内容。

9.2　空调系统的管理

9.2.1　起动前的准备：

1)检查电机、风机、制冷机或供热系统、水泵、空调器等机械设备及自动控制系统，确认其技术状态良好。

2)检查各管系连接处情况，不允许有松动、泄漏现象。

3)对系统有关机械(如风机、压缩机、水泵等)，应检查各轴承润滑情况，及时加注滑油。

4)根据外界气候条件和舱室“舒适气候”要求，调整温、湿度等自动控制器的给定值与幅差值。

5)检查供电系统，保证正常供电。

6)检查各安全设备及安全工作给定值。

9.2.2 起动运行

1)夏季使用空调装置，首先起动风机，应注意在起动离心式通风机前，最好先关闭风道阀门，然后起动；待风机运行正常后，逐渐将阀门开到规定位置。空调制冷机的检查、起动及管理参见本手册第5卷第5篇。特别要注意制冷机的减缸运行工况和调整方法。

2)冬季时也应先起动风机，然后再开启蒸汽引入阀，接通空气加热器，最后开启加湿器。反之当停止时，应先关闭蒸汽加湿器，再关闭蒸汽加热器，最后停止风机。

3)整个空调装置起动后，应作定期巡视，观察电机、压缩机、风机、水泵的运转，观察供电系统的电压、电流的指示。若发现异常，应及时调整或停车，找出原因并对产生的故障及时排除。

4)定期巡视全系统各温度、压力等控制仪表的指示、读数及控制情况。若有失常，则应及时调整。此外，对这些仪表在使用期间还应作定期校验，以保证空调装置在全部工作过程中的可靠性。

风机累计运行500～1000h后，应清洗轴承，更换滑油，并对叶轮、主轴、轴承、基座外壳密封垫等技术状态加以检查。

9.2.3 管理

除前述内容外，还应注意下列各点：

1)降温工况的管理

(1)当外界气温高于25℃时，一般即可按降温工况运行。

(2)室温以保持低于外界气温6°～10℃为宜。

(3)空调舱室以及居住区内的所有门窗均应关闭。空调器的回风门不应开得过大。抽风系统也应连续工作。但在外界气候过分炎热时，可开大回风门，使室温更易降低。

(4)空调制冷剂的平均蒸发温度一般保持在5°～10℃，宜取较高值，运行较经济，如舱室不能正常降温，可调低制冷剂蒸发温度，但不得低于－2°～－3℃，以防结霜。运行正常时，空调泄水管应有凝水不断流出，压缩机吸入截止阀上结露水，手摸有凉感，但在热力膨胀阀上不结霜。当蒸发温度低至－2°～－3℃时，膨胀阀后至制冷剂分配器处可能稍有薄霜。

(5)压缩机排气温度由于吸气和冷凝温度较高也将升高，对R_{12}装置：一般在70℃左右，触摸有烫手感。

(6)应根据压缩机吸气管上的压力表和温度表检查吸气过冷度是否适宜，以防液击，不应任意开启热力膨胀阀的手动膨胀阀来增大制冷剂流量，以免空调热负荷降低时，产生压缩机液击。

(7)天气转凉时，空调装置长期停用，应将制冷剂收入贮液器，并关紧其进出口阀。

(8)当用冷媒水的间接式冷却器，应经常开启其顶部的放气阀放气，以免空气聚集。刚起动时应多开几次。

(9)应定期清扫集水盘,以免堵塞。

2)取暖工况的管理

(1)当外界气温低于+15℃时运用。

(2)蒸汽加热时,如阻汽器后的回水管很烫表明阻汽器失效;热水加热时,应定期泄放加热系统中的空气,以防形成气囊妨碍水的流动。

(3)仅在外界气温低于0℃时才需向空气加湿。可选一典型舱室进行调试,以找到加湿阀的适宜开度。一般φ值达30%即可。但随外界气温降低应增大加湿量。

(4)有湿度自控的装置中,应先调试。如感湿元件在舱室中,φ值调定在30%左右,如在供风分配室中,则因该处气温较高,φ值调在10%～15%左右。

(5)蒸汽加湿,须在空气加热后进行,否则难以加湿。停用时,必须在停风机前半分钟先停止加湿,并将湿空气吹出风管,以免凝成水滴,再启用时吹入舱 室。

9.3 空调装置常见故障的排除

风机常见故障及其排除可参见表7.5.2—17。舱室温湿度等偏离,要求的调整 可参见表7.5.2—18。

表7.5.2—17 **风机常见故障及其排除**

故　障	原　因	排　除
1.风机反转	电源接线错误	三相电源中任意二相交换
2.风机振动剧烈	风管连接松驰	加固
	进出风口关闭	开启
	基础螺钉松脱	紧固
	轴承滚珠破碎	更换滚珠或轴承
	滑动轴承白合金脱壳	更换轴瓦
	轴承间隙过大	调整或更换轴承
	风机—电机皮带轮不在同一平面	调整
	风机主轴变形	校直
3.风机噪声高	上述振动大所引起	采取减振等措施
	风机内进入异物	清除
	叶轮与机壳相碰	校正
4.风量不足	风机转速过低、电力不足	调整转速、检查电源
	风门调节不当	重新调节
	风管连接不紧	旋紧连接螺栓
	风机反转	电源换相
5.风压偏高	风道堵塞、阀门开度小,风道保温不良	按情况改正
6.轴承温升过高	轴承润滑不良	加油或更换
	轴承间隙过小	调整或更换
	轴承损坏	更换
7.电机温升过高	电机绝缘性差、绕组受潮	烘干
	电机负荷过大、超载	降速、减风量、关小风门

表 7.5.2—18　　**舱室温湿度等偏离要求及其调整**

不正常现象	原因分析	处理办法
1.所有舱室温度偏高或偏低	送风温度偏高或偏低	调节空气加热器或冷却器的热负荷： 改变新风、回风比； 高速系统调节舱室送风量
2.个别舱 室温度偏高或偏低	舱室送风量过大或过小	减少或增加送风量； 调节二次风换热器热负荷
3.个别舱室温度时高时低	有局部热源(或太阳辐射或其它发热设备)	蔽阳或隔热等； 参照 2
4.个别舱室湿度偏高而温度正常	舱室发湿量大	缩减湿源；增送风量
5.舱室温度偏低而湿度偏高	送风温度过低	增加加热器负荷，提高送风温度； 调节新风、回风比
6.舱室有水雾或水滴	送风温度低于室内露点； 挡水板通过水量太大	改变送风温度； 堵塞挡水板漏水处； 调整挡水板叶片布置
7.室内送风量过大	风机的风量偏大或系统的实际阻力较小； 其他舱室布风器关小	调整风机负荷 调节布风器开度
8.室内送风量过小	风机的风量偏小或系统的实际阻力较大； 送风系统不密、漏风或风机出现故障	调整风机负荷或减小系统阻力 堵漏、检修

第 3 章　船舶通风系统

1　船舶通风系统的意义与分类

1.1　船舶通风系统的意义

船舶通风是改善船员劳动条件及提供船员和旅客舒适、卫生的生活环境条件的一种措施，也是为了维护机器设备及保证运输货物质量的重要措施。

“通风”的含义是把舱外新鲜空气补充或补偿至舱内处所，或将舱内处所的混浊空气或危险性空气排至舱外。因之“通风”常与其他术语如“舱外空气”、“补充或补偿空气”、“新鲜空气”或“新风”等互替使用，其含义基本相同。

“通风”与“空调”、“取暖”的关系甚为密切，在某种意义上，“空调”与“取暖”是“通风”的特殊形式之一。有关船舶通风须达到的要求，可参见本篇第 1 章内容。

1.2　船舶通风系统分类

1.2.1　按用途分类

1)居住和生活舱室通风，包括居住舱室、餐厅、会议室、厨房及浴、厕所等处所。

2)机、炉舱通风，包括主机舱，辅机舱，锅炉舱与净油机间等处所。

3)货舱通风，包括散货舱、杂货舱、储藏舱等处所。有关油轮与散货船的货舱通风，请见本卷第 7 篇第 2 章与第 8 篇第 2 章。

4)燃料舱(柜)通风，包括燃煤舱、燃油舱及滑油柜等处所。

5)特殊舰船舱室通风。

1.2.2　按通风形式分类

1)自然通风

利用空气热压原理，自然地形成空气流动，加上自然风压促使空气流动的通风方式。

2)压力通风

利用动力驱动通风机，造成空气的交换与循环的通风方式。

3)封闭式空气净化通风

在特殊舰船通风中，如潜水艇等，为使舱室空气净化，在不补充外界新鲜空气情况下，将舱室内混浊空气经过氢氧化钠或氢氧化钾反应剂吸收二氧化碳，并有设备补充氧气，以保持舱室空气新鲜度。这种装置，构造复杂，造价很高，民船上不采用。

1.2.3　按风管内风速或风压分类

船舶通风的主管风速：在 10m/s 以下为低速通风；在 10～20m/s 为中速通风；在 20m/s 以上为高速通风。

船舶通风的主管风压：在 392Pa 以下为低压通风；在 392～980Pa 为中压通风；在 980Pa 以上为高压通风。

2　机、炉舱通风

船舶机、炉舱通风用以建立并维持机、炉舱内给定的环境条件，(温度、湿度、空气流速、清洁度及空气成份等)以保证柴油机，锅炉燃烧时所必须的空气量，同时也是保证机、炉舱内良好的工作环境，改善轮机人员劳动与卫生条件的重要措施。

2.1　机、炉舱通风装置的功能

1)维持机、炉舱内良好的值班工作环境，虽然在现代化船舶机、炉舱内设有集控室，但是维修机器、巡回检查仍须定时执行，所以通风是必不可少的。

2)提供柴油机或锅炉燃烧时所需足够的空气量。

3)由于热源机器如锅炉、柴油机缸盖等处的放热，使机、炉舱温度升高。良好的通风，可控制或减低机炉舱的环境温度上升，使处于高温环境中的机械及电器不致受温度过高的影响。

4)排除机、炉舱内滞留的蒸汽和潮气。

5)排除可燃气体，以防爆炸或火灾。

2.2　机、炉舱通风装置的组成

机、炉舱通风装置，可分为进气与排气通风装置。

2.2.1　进气通风装置

由进气菌形风帽、防火挡板，轴流风机、风管、出风口和调节风门等组成。见图7.5.3—1。

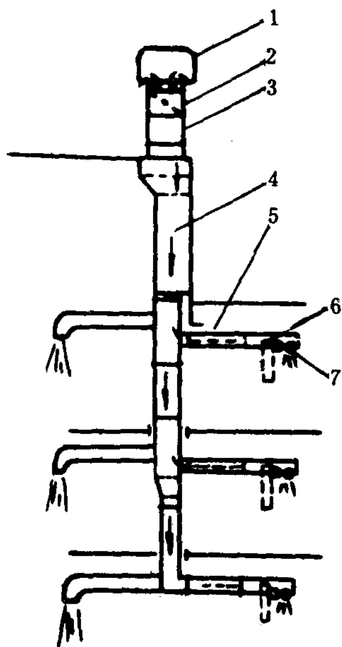


图7.5.3—1　机、炉舱进气通风装置

1—菌形风帽；2—防火挡板；3—风机；4—主风管；5—分支风管；6—调节风门；7—出风口

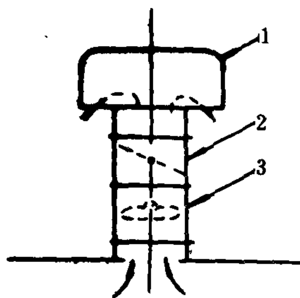


图7.5.3—2　机、炉舱排气通风装置

1—菌形风帽；2—防火挡板；3—排气风机

2.2.2　排气通风装置

由吸入口、排气风机、排气风帽如菌形风帽及防火挡板等组成。见图7.5.3—2。

2.2.3 机、炉舱通风管系布置形式：

有三种形式，见图 7.5.3—3。

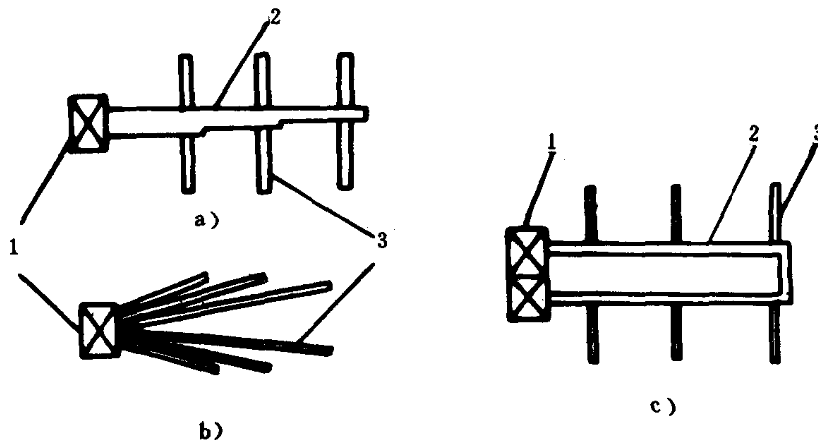


图 7.5.3—3 机、炉舱通风管系布置形式

1—风机总管；2—主管；3—支管

(1)以主管为主的通风管系见图 7.5.3—3a)，该形式优点是占空间位置较小，布置合理，投资较小，因此一般船舶大多采用这种形式；

(2)以支管为主的通风管系见图 7.5.3—3b)，各支管分别与总管连接。它有利于采用相同尺寸的支管而便于大量生产，但占空间位置较大，布置不尽合理，船舶采用不多；

(3)主、支管结合的环管通风管系见图 7.5.3—3c)，采用两根主管连接成环形，各支管都接在主管上。这种形式的缺点是在环管末端的风速和风量容易受到变化，而且占空间位置较大，船舶亦采用不多。

2.3 机、炉舱通风重点送风部位

2.3.1 船员经常操作部位

主机操纵台前，配电板前，发电机附近，锅炉炉门前，净油机附近，柴油机缸盖附近及集控室等。

2.3.2 高温处所

柴油机增压器附近，锅炉上部，烟道省煤器，空气预热器附近及周围的高温电器设备等附近。

2.3.3 采用风机种类和进、排风口位置(见表 7.5.3—1)

表 7.5.3—1 **机、炉舱重点送风要求采用风机与进排风口位置表**

机、炉舱重点送风要求	采用风机种类	进、排风口布置位置
需供新鲜空气	送风风机	集控室、工作间、发电机旁、锅炉炉门前，主机操纵台前、配电板前
在停泊时，主机不用，可作排风机用	可逆式风机	主机增压器等旁
排除可燃气体、潮气、热气的滞留	排气风机	净油机间、锅炉上部、机舱上层、高温周围的电气设备

2.4 机、炉舱通风量计算

可按各种不同条件计算，现分述如下：

2.4.1 按换气次数计算

可根据有无集控室在换气次数每小时 25～40 次范围选取。也可按本篇第 1 章表 7.5.1—

1 选取。

2.4.2 按设备散热量计算

1)机舱通风量 Q 计算：

$$Q=\frac{mqN}{1.2\Delta t}m^3/h \qquad (7.5.3-1)$$

式中：m ——工作场所余热因素，无因次；

q ——主机每单位功率散热量，kJ/(h·kW)；

N ——主机功率，kW；

Δt ——工作场所与舱外空气的温度差，取 5～8℃。

对于往复式蒸汽机 q=393kJ/(h.kW)；m=0.3

对于低速柴油机 q=230～285kJ/(h·kW)；m=0.5

对于汽轮机 q=170～230kJ/(h.kW)；m=0.65

对于高速柴油机 q=114～170kJ/(h.kW)；m=1.0

2)炉舱通风量 Q 计算：

$$Q=\frac{mqF}{1.2\Delta t}m^3/h \qquad (7.5.3-2)$$

式中：m ——工作场所余热因素，无因次；

q ——锅炉受热面散热量，kJ/(h.m²)；

F ——锅炉受热面积，m²；

Δt ——工作场所与舱外空气的温度差，取 8～10℃。

对于火管锅炉 q=1090kJ/(h.m²)；

对于水管锅炉 q=840kJ/(h.m²)；

锅炉与工作地区有隔屏时 m=0.5；

无隔屏时 m=1。

2.4.3 按燃烧所需空气量计算

1)柴油机燃烧所必须的空气量 Q：

$$Q=G_f vmN m^3/h \qquad (7.5.3-3)$$

式中：G_f ——主机连续最大功率时，燃料消耗率，kg/(kW.h)；

v ——每公斤燃料完成燃烧时所需空气量(约 12m³/kg)；

m ——空气过量系数。

对于大型二冲程柴油机 m=3～3.6；

对于四冲程柴油机 m=1.5～2；

N ——主机连续最大功率，kW。

2)锅炉燃烧所必须的空气量：

$$Q=G_F v \quad m\alpha \quad m^3/h \qquad (7.5.3-4)$$

式中：G_F ——燃料消耗量，kg/h；

v ——每公斤燃料燃烧时所需理论空气量(约 12.1m³/kg，38℃时)；

m ——空气过量系数，m=1.3；

α ——余量系数，α=1.15。

3)概算锅炉燃烧所须的空气量 Q：

$Q=18G_{F1}$，m^3/h；

或 $Q=16G_{F2}kg/h$

式中：G_{F1}——燃料消耗量，m^3/h；

G_{F2}——燃料消耗量，kg/h。

4)抽风量 Q 计算：

对于主机、锅炉布置在同一机舱内的场所：

$$Q_2=1.2Q_1-Q_3 \quad m^3/h \tag{7.5.3—5}$$

式中：Q_1——机舱进风量，m^3/h；

Q_2——机舱抽风量，m^3/h；

Q_3——主锅炉的吸气量(鼓风机排量)；

$Q_3=16.1$kg 空气/kg 燃料＋15％过量系数＋15％～20％的漏泄量。

对于主机、锅炉分别布置在各舱内的场所

炉舱不考虑抽风机；

机舱抽风机排量 $Q_2=1.2Q_1$。

5)按锅炉燃油量计算通风量 Q：

$$Q=\frac{G_FHm}{1.2\Delta t} \quad m^3/h \tag{7.5.3—6}$$

式中：Q——通风量，m^3/h；

G_F——锅炉耗油量，kg/h；

H——燃油热值，$H\approx4311.85\times10^4kJ/kg$；

m——锅炉幅射热损失比值，无因次；$m=0.005\sim0.0125$，一般取 $m=0.01$；

Δt——锅炉舱内外温差，取 8～10℃。

6)按主机功率概算通风量：

对于具有组合机、炉舱的船舶，机炉舱通风量每千瓦功率约为 7.4～8.0m^3/h。

2.5 机、炉舱通风的气流分布

机、炉舱内布置了主、辅机、锅炉及泵等多种机械设备，而一般机、炉舱内体积较小，显得拥挤，加上这些机械设备均散发大量的热量，使舱内温度升高，为达到通风降温的目的，对通风系统进行合理的气流分布，使气流换气按正确的流向流至排气通道，以收到理想的效果。

2.5.1 利用天窗排气

机舱合理的气流分布，可用机械通风将舱外新鲜空气送到机舱底层船员工作场所或集控室，气流方向应先吹向工作人员，逐渐扩散后再接触到机器，吸热加湿后自然上升，从天窗口排出。如图 7.5.3—4。应注意送风口不能直接吹到机器热源部位，这样会使机器热量扩散，致使工作地区气温上升。

2.5.2 利用外烟囱排气

蒸汽机或汽轮机船舶的炉舱、柴油机船舶的机舱内，机械与锅炉所散发的大量热量，可利用外烟囱排气，排出舱外。

由于外烟囱底部的空气和舱外空气温差很大，以及当空气流经外烟囱(即内、外烟囱的隔层)时，被加热(依靠内烟囱或排气管的放热)形成热压，此热压就是空气与向上流动的动能，其气流分布图如图 7.5.3—5 所示。

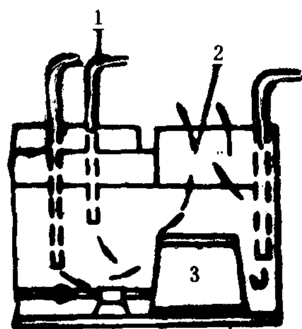


图 7.5.3—4 利用天窗排气图

1—进风风帽；2—机舱棚天窗；3—主机

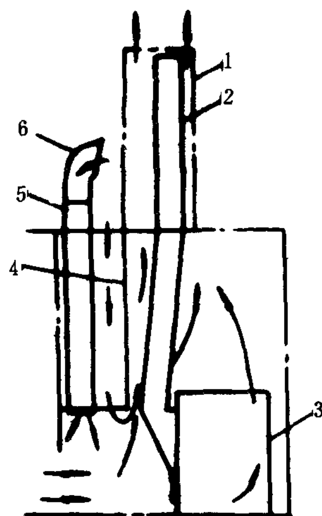


图 7.5.3—5 外烟囱排气图

1—外烟囱；2—内烟囱；3—锅炉；4—隔屏；5—轴流通风机；6—进风风帽

根据热压原理，热压随外烟囱高度和锅炉舱上部空间的隔屏高度的增加，以及随排出空气的温升增加而增大。

锅炉前的隔屏布置很重要。合理的隔屏布置可正确引导气流从舱内经由外烟囱排出，形成固定的换气作用。如无隔屏，则外烟囱的排气效率将大大降低。

2.5.3 利用轴隧与应急通道通风

大型船舶机舱在船中部时，可利用轴隧与应急通道组成良好的通风系统。(不包括艉机型船舶)。

在应急通道的上端有风帽(如烟斗式风帽)，利用自然进风或轴流通风机，使舱外空气由应急通道经过轴隧，然后送入机舱。如图 7.5.3—6 所示。

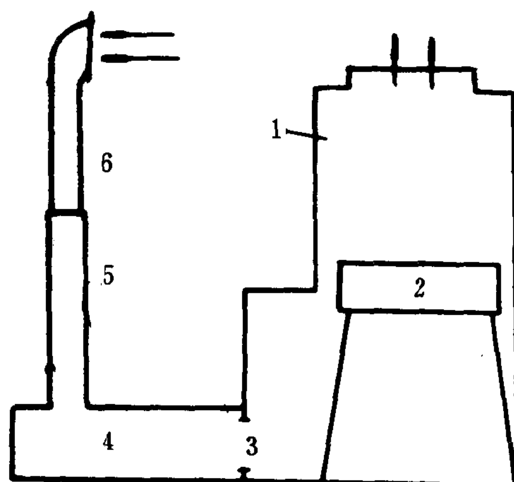


图 7.5.3—6 利用轴隧与应急通道通风图

1—机舱棚；2—主机；3—水密门；4—轴隧；5—应急通道；6—进风风帽

在设计轴隧通风时，应注意机舱通向轴隧的水密门应与主机操纵地点在同一舷，这样通风效果更好。

经轴隧进来的空气量，由经机舱天窗排出空气温度与舱外进入应急通道空气之间的温差所造成的热压而定。应急通道口烟斗式风帽，在迎风时可增加风压。

2.5.4 利用通风机的气流分布

单纯的自然通风，虽然有一定的效果，但由于风压较小，风量又受自然影响而不稳定，很难实现气流合理分布。如利用天窗可以排出大量热气，但工作不稳定，遇到暴风雨时，天窗不能开。因此，在现代船舶上大多采用压力通风系统，利用通风机进气、排气，或采用压力与自然通风相结合的通风系统，以形成合理的气流分布。

利用通风机分布气流，可不受任何自然条件的限制，一般可设计按装二台压力进风机与二台压力抽风机(或自然排风筒)。进风机装在机舱的前部，抽风机装在机舱的后部，气流由前往后分布。

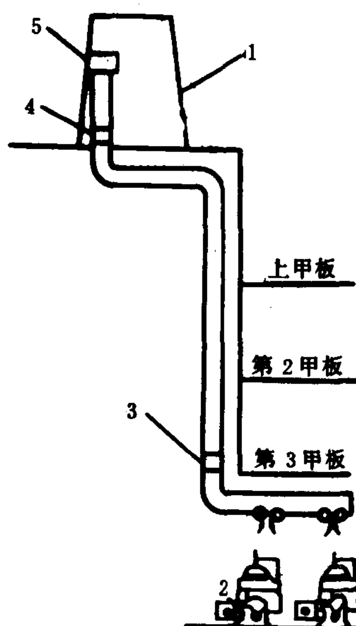


图7.5.3—7 净油机间通风图
1—烟囱；2—净油机；3—排气风机；4—防火挡板；5—排气口

由于航行和停泊时机舱内的气流情况差异较大，因而进、抽风机很难同时满足航行与停泊工况。另外，如机舱某处需检修机器，为改善气流分布，希望部分进风机能转变成抽风机，组成新的气流分布。为能达到这目的，可采用可逆式风机。通常在机舱进风机中，设1～2台可逆式通风机。

对装运煤炭、散粮、矿砂及其他含粉尘的散货船，在装卸时周围空气严重污染，此时，机炉舱天窗不宜开启，进风机必须带有空气过滤器，除尘后送入机、炉舱。

2.6 净油机间通风

机舱内一般设有专用的净油机间，或将净油机布置在机舱的一角，在这空间往往聚集有可燃气体。其通风以抽风机为主，把可燃气体直接由烟囱或排气风筒排出舱外。在排气风筒内还应装置防火挡板。防火挡板一般须装在上甲板，人容易开关的地方，如图7.5.3—7所示。

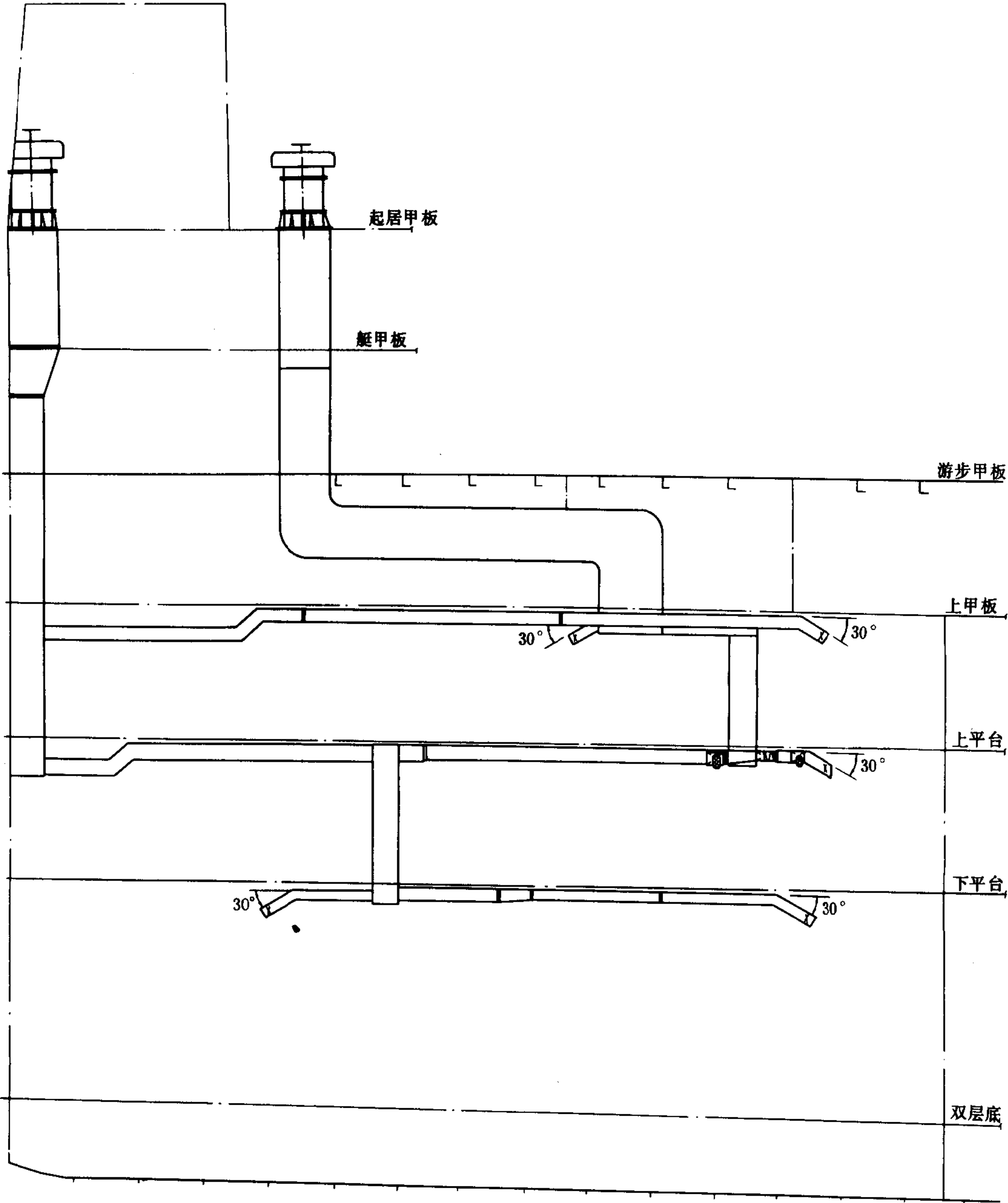
2.7 机、炉舱通风实例

1)1.5万吨级远洋多用途货船机舱通风管系，见图7.5.3—8。

1.5万吨级远洋多用途货船的机舱通风以机械进风为主，设有三台电动轴流通风机。1#风机为：11kW；1800r/min；叶轮直径850mm，按装在机舱前部起居甲板上，风管向下通过艇甲板、游步甲板、上甲板，专供主机上层的左侧与前部的通风。另有2#，3#二台电动风机，分装在机舱后部起居甲板的左右二侧。左侧2#风机为：15kW；1800r/min；叶轮直径900mm。其风管通过艇甲板、游步甲板，在上平台左侧对物料间、机修间、工具间及油头校验室供风，在下平台对机舱集控室、柴油发电机组供风，最后穿过下平台甲板对机舱底层的左侧供风。右侧3#风机规格与2#同。其风管在上平台对主机增压器和备件间、电工间供风，在下平台对主机右侧与燃油净油机附近供风，最后穿过下平台甲板对机舱底层的右侧供风。这三台电动轴流风机使机舱形成压力舱室，气流通过机舱天窗、烟囱向舱外排气。

还有二台离心式抽风机：一台为：0.75kW，1800r/min，1800m^3/h，6665Pa，用来排除上平台左侧油头校验室的含油可燃气体。另一台为：2.2kW，1800r/min，4800m^3/h，5332Pa，用来排除下平台右侧燃油净油机附近的含油可燃气体。抽风机排气管向上至上甲板通过鹅颈式风帽

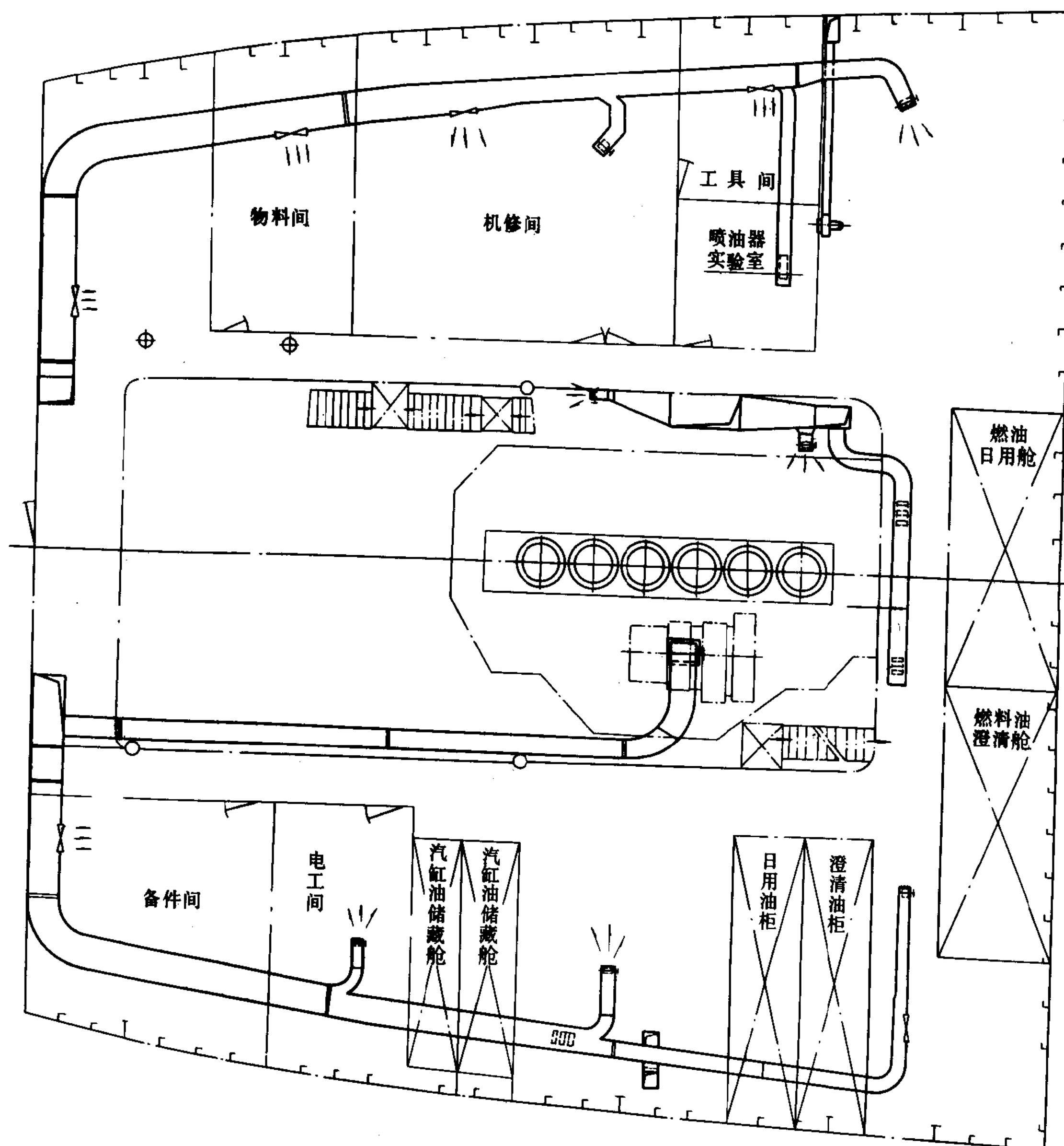
排出舱外。



a）

图 7.5.3—8

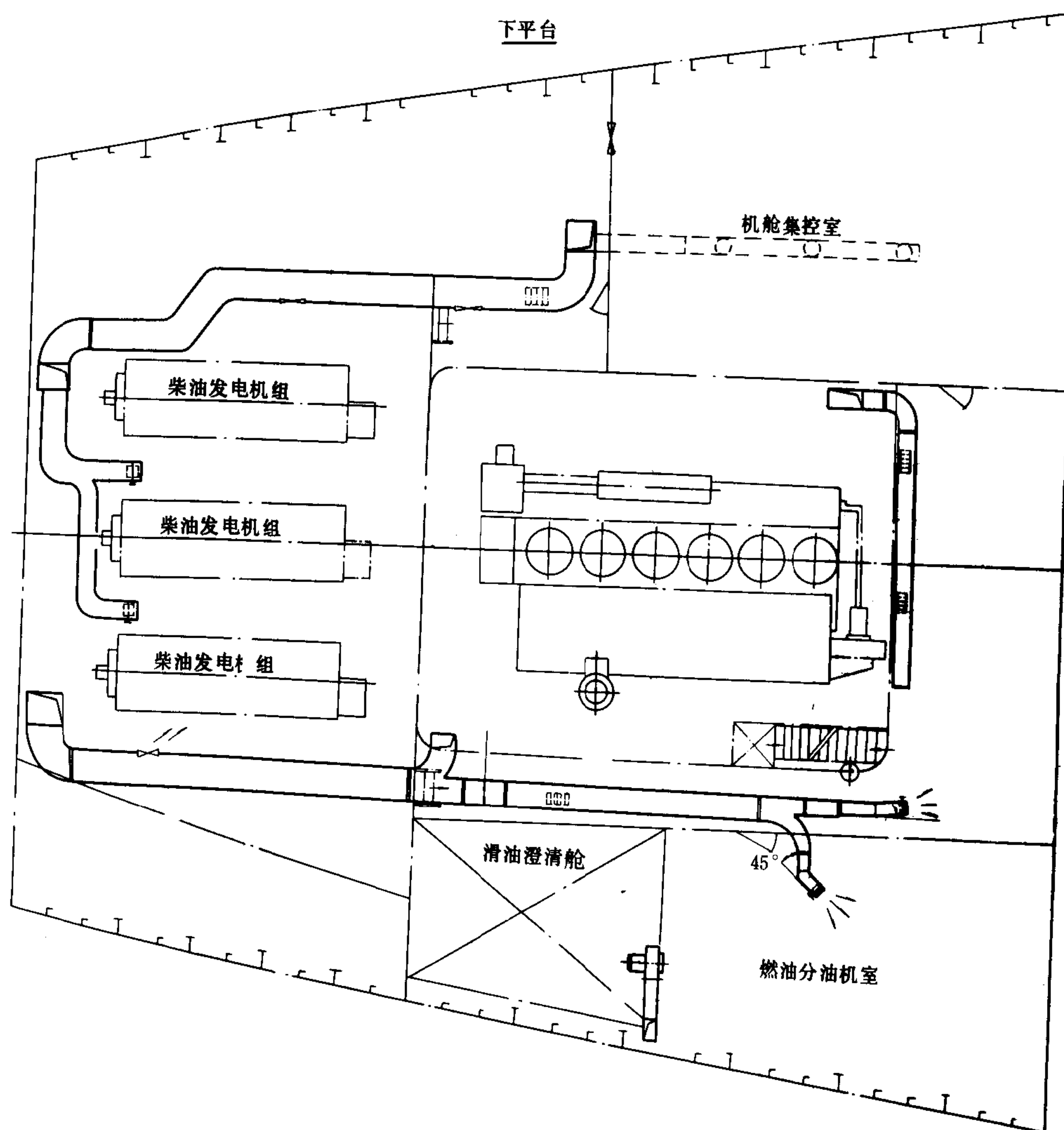
上平台



工 具 间
物料间
机修间
喷油器
实验室
燃油
日用舱
燃料油
澄清舱
备件间
电工间
汽缸油储藏舱
汽缸油储藏舱
日用油柜
澄清油柜

b）

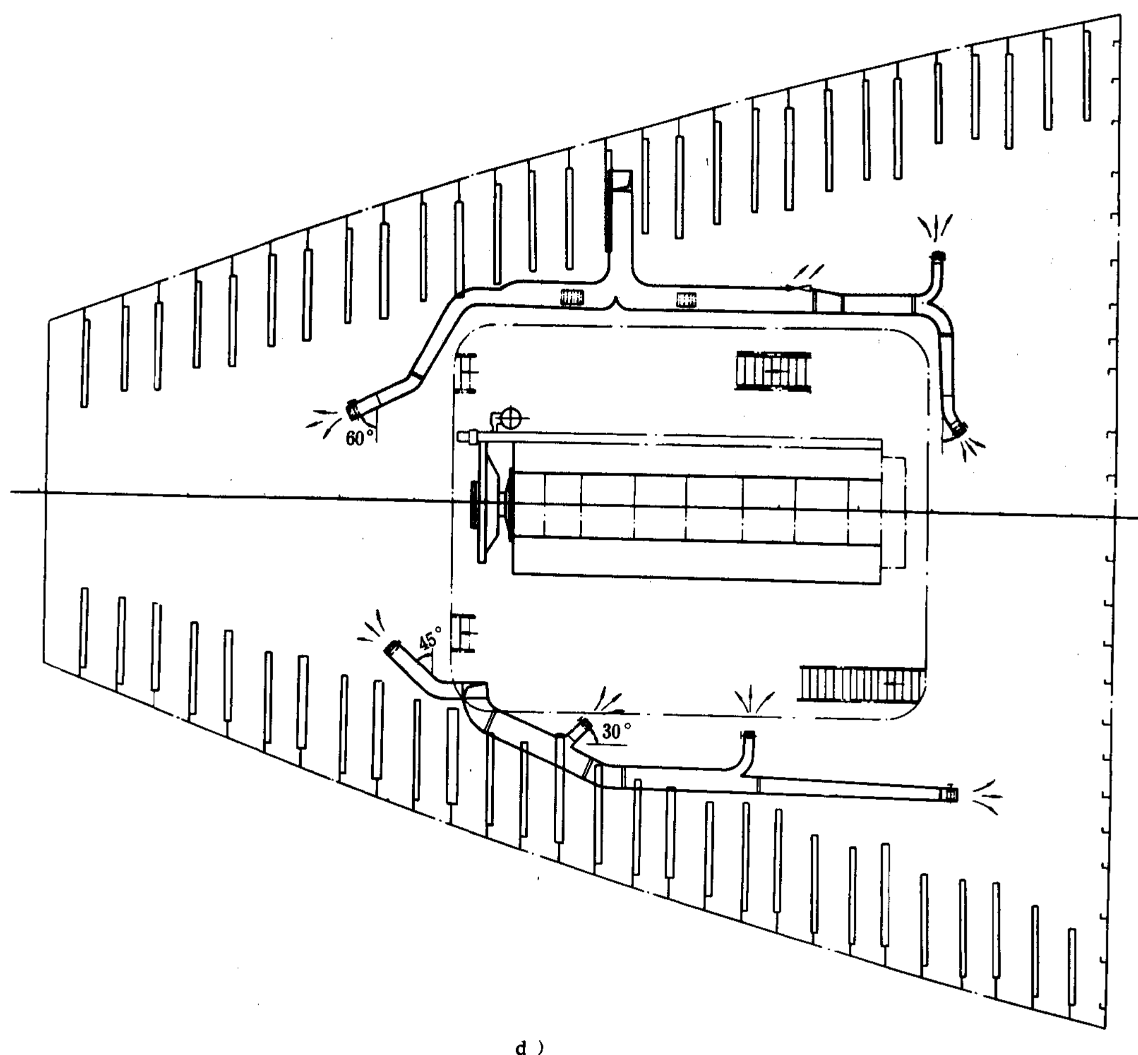
图 7.5.3--8



c）

图 7.5.3—8

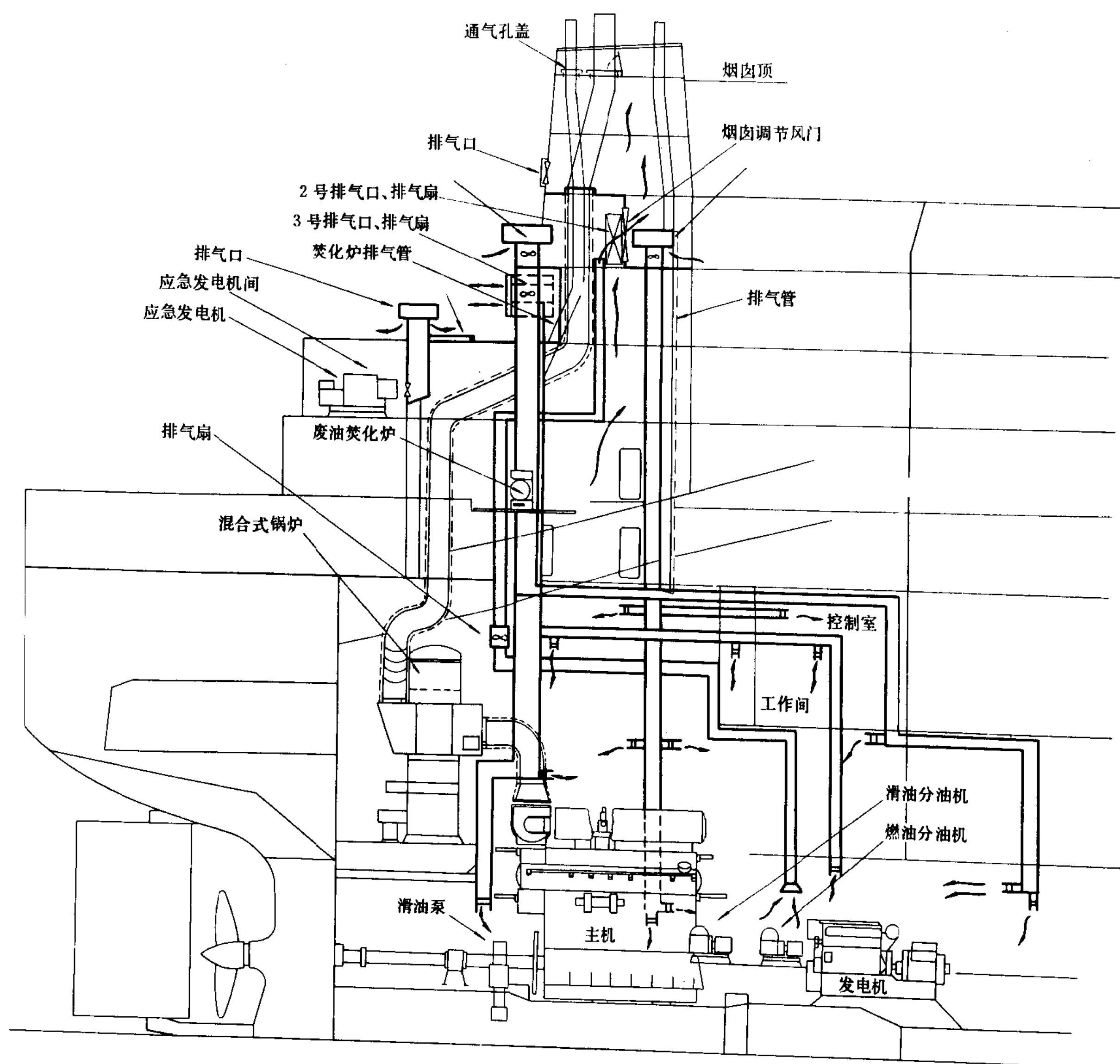
机舱底层



d）

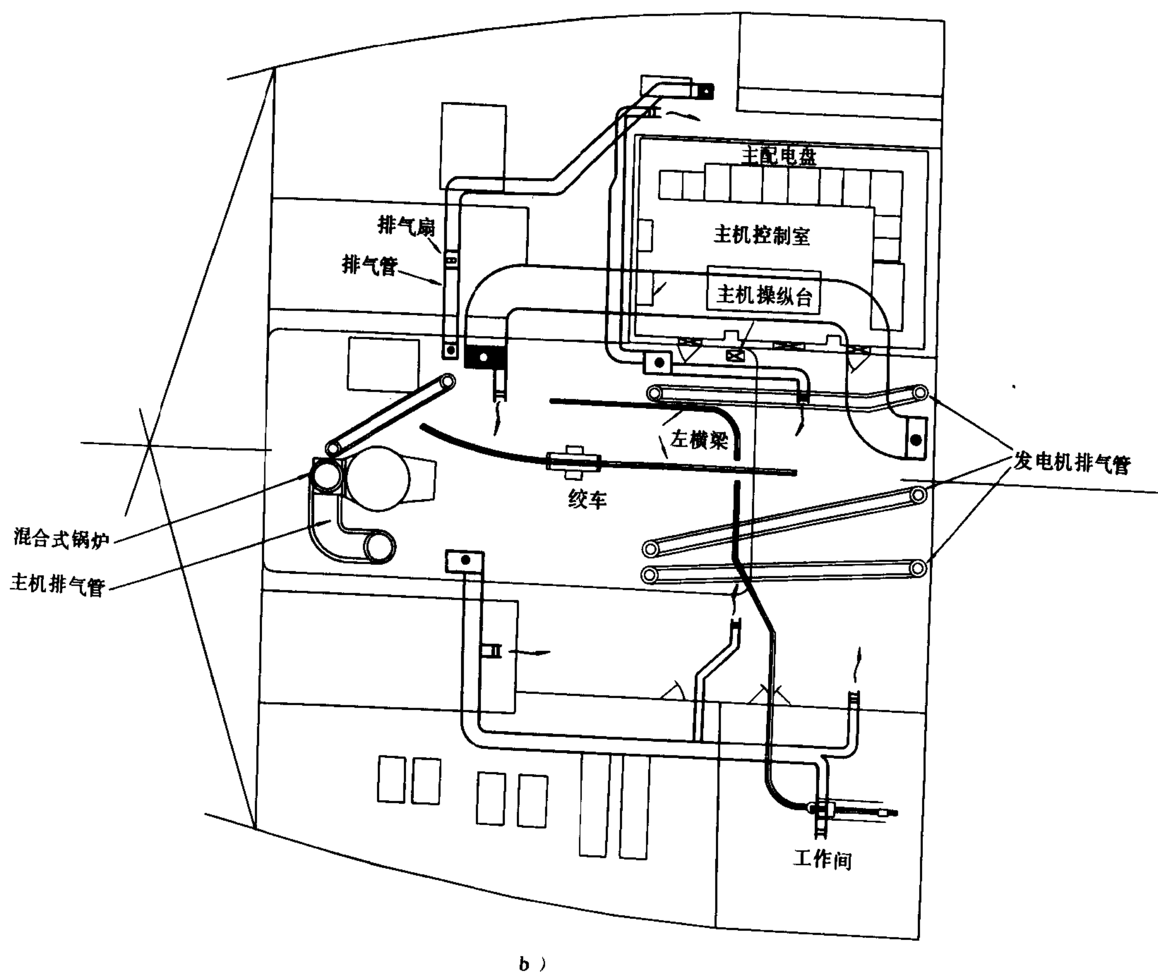
图 7.5.3-8　1.5 万吨级远洋多用途货轮机舱通风管系图
a)侧视图;b)上平台通风;c)下平台通风;d)机舱底层通风

2)2.7 万吨级自卸船机舱通风管系,见图 7.5.3—9



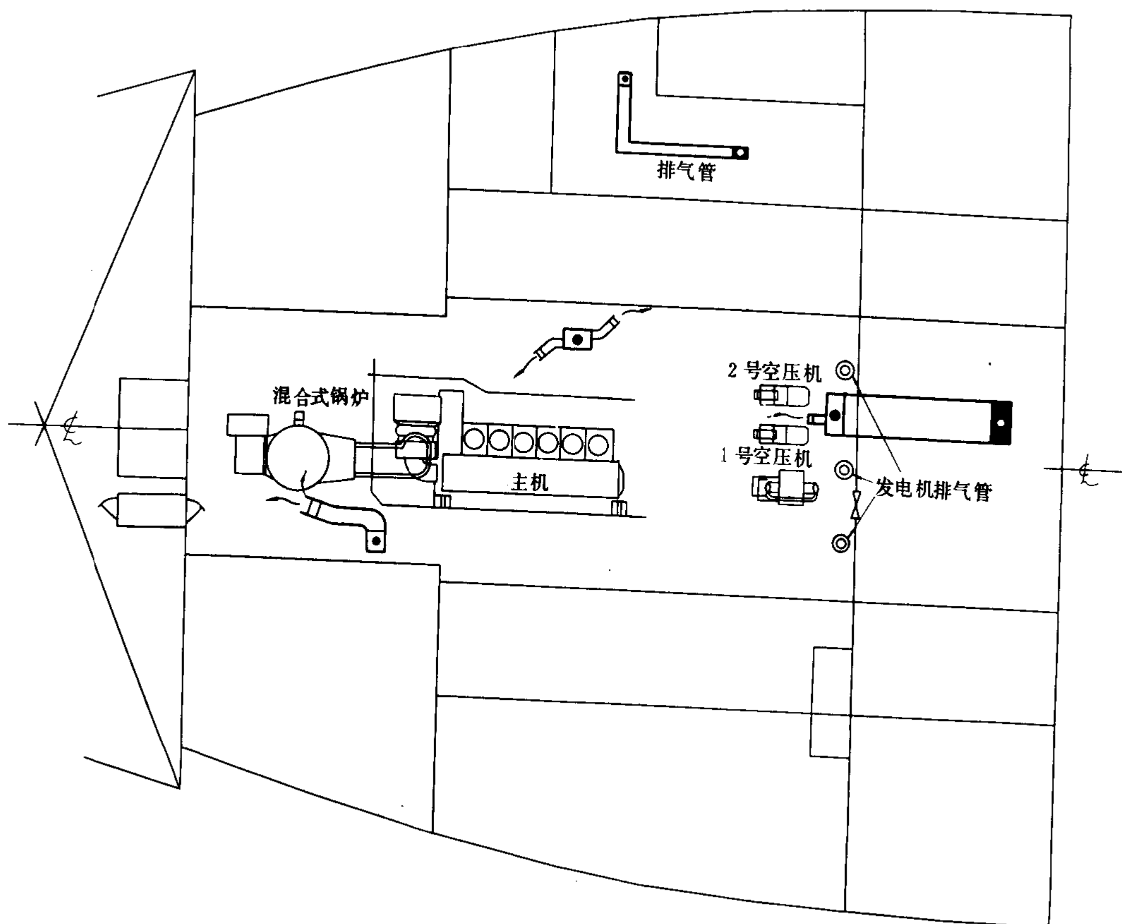
a)

图 7.5.3—9



b)

图 7.5.3—9



c）

图 7.5.3—9

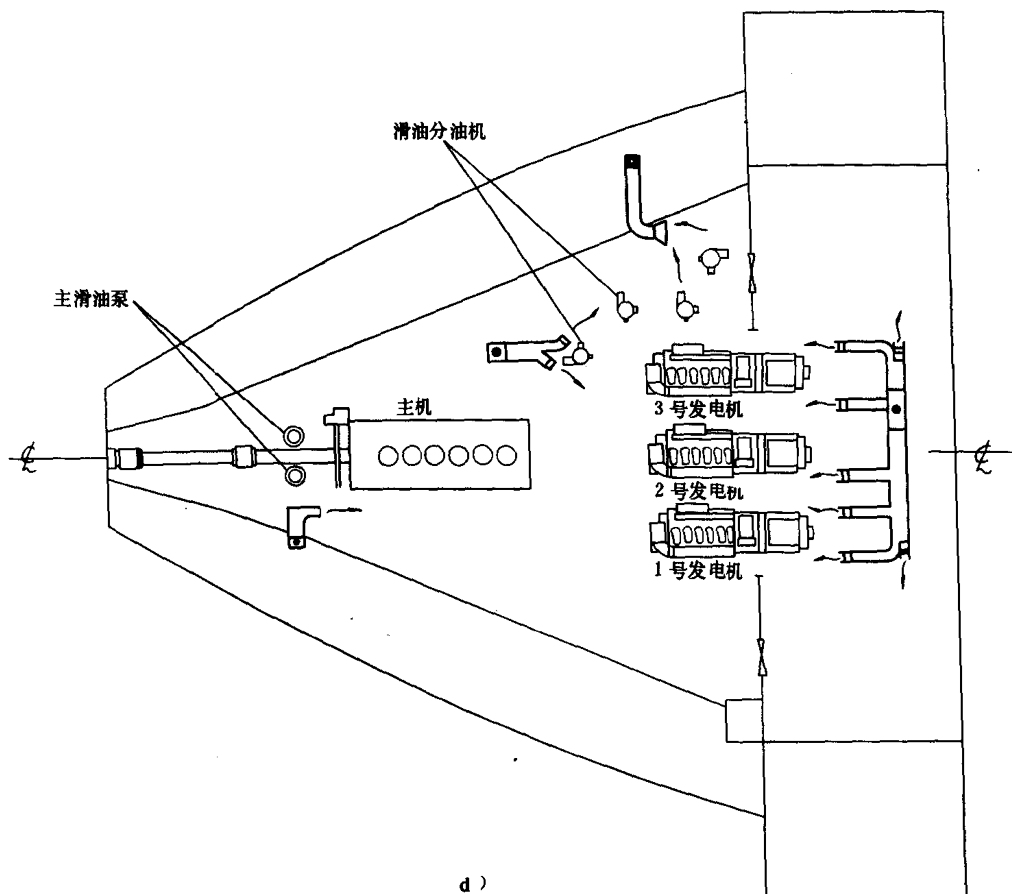


图 7.5.3—9　2.7 万吨级自卸船机舱通风管系图

a)侧视布置图;b)二层甲板通风管系;c)三层甲板通风管系;d)机舱底层通风管系

2.7万t自卸船的机舱通风以机械进风为主，设有三台抽流式电动进风机，其中一台为可逆式，另有一台离心式防爆抽风机，其规格如下：

1号轴流式通风机7.5kW；1445r/min；28200m³/h；4000Pa。

2号可逆、轴流通风机7.5kW；1445r/min；28200m³/h；4000Pa

3号附带干式过滤器的轴流通风机

11kW；1450r/min；28200m³/h；5332Pa。

净油机间专用离心式防爆式抽风机

1.5kW；1420r/min；6000m³/h；3333Pa

2.7万t自卸船机舱通风气流分布如下：

1号风机主要供给机舱左侧的通风，即日用油柜、滑油柜周围，主机左侧及辅机后部。

2号风机主要供给机舱右侧的通风，分二路，一路自后向前对备件间、工作间进风，另一路对燃油锅炉与主机增压器周围供风。

3号附带干式过滤器风机，主要对三层甲板的三台空压机与机舱底层的三台辅机由前向后供风。

以上三台风机，气流自前往后，自左右二侧向中部流动，空气受热后上升，经烟囱排出，这样，可维持机舱温度不超过35℃。2号风机在停泊时可逆转为抽风机，3号风机可在装卸含粉尘货物时用，空气经过滤后进入机舱，可减少空气污染。

净油机间抽风机，专供排除净油机附近的可燃气体，经外烟囱排出舱外。

3 货舱通风

本节仅说明一般散货货舱和干货货舱的通风，不包括冷藏货舱与液态货舱的通风。

3.1 货舱通风的作用

货舱通风的作用，主要为防止货损，将货舱的空气状态调节到保存货物的最佳状态。同时还可驱除滞留在舱内的可燃气体，以防止货舱爆炸。另外，当船员进入货舱工作时还可预防因缺氧而危及生命。

由于货舱空气状态的变化，包括船舶航线经历的气象状况等，以及货物特性，如吸湿性，含水量、水份产生量，有害气体产生量、氧气吸收量、发热量、污损量等因素，都与货舱货物的货损有关，货舱通风的设置与使用必须根据上述因素，采用适当的货舱通风方式，才能取得货舱空气最佳状态。

1)货舱温度与湿度的变化：

船舶在航行中，如果航程较长，往往经历了不同温度的地区，或遇到不同气象条件的影响，在货舱内可能出现船体结露或货物结露。

(1)船体结露当货舱内空气露点温度高于甲板和船壳板的温度时，船体结构表面会出现凝水，这些凝水的集结容易发生货损。这情况，大都在海船从热带地区向寒冷地区航行时由于温度变化而发生，如图7.5.3—10a)所示。

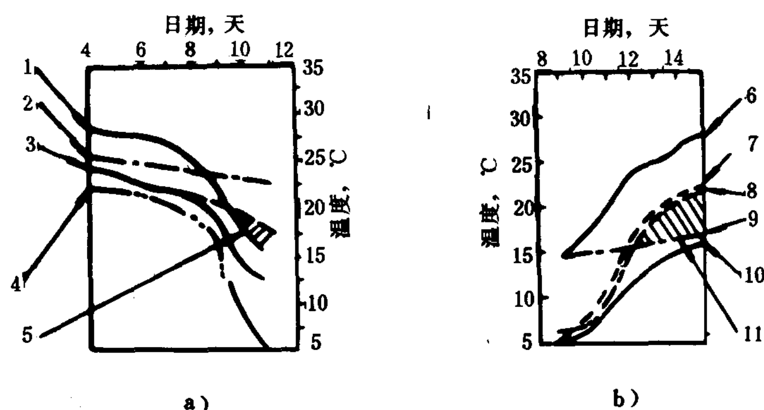


图 7.5.3—10　海船在航区温度变化时的情况

a)海船从热带地区向寒冷地区航行时温度变化情况；b)海船从寒冷地区向热带地区航行时温度变化情况
1、6—舱外大气温度；2、9—货物温度；3—货舱内露点(虚线所示为不通风，实线为通风)；4、8—舱外大气露点；5—船体结构发生凝水；7—货舱内露点(通风、无干燥装置)；10—货舱内露点(有干燥装置)；11—货物表面发生凝水

(2)货物结露　当海轮从寒冷地区向热带地区航行时，货舱内货物温度低于舱内空气露点温度，货物表面会有凝水出现。如图 7.5.3—10b)所示。结露凝水严重时，直接造成货物受湿货损，即使少量结露也使舱内湿度增加而使货物受损

2)为了保证货舱货物的质量，除了采用合理的货舱通风，使货舱具备保存货物的最佳状态外，还必须了解货物的特性，以此确定通风形式与通风量。“货物种类及发汗状况表”，见表 7.5.3—2。“航区温度变化时货物种类及通风方法的关系表”，见表 7.5.3—3。

表 7.5.3—2　**货物种类及发汗状况表**

货种符号	货物名称	吸湿性	含水量	发汗时货物损害	
				损害程度	损害形态
A	谷物、种子、鲜果、蔬菜、(会呼吸货物)豆渣、生胶等	大	大	大	腐烂、发霉
B	棉花、羊毛、木材、粗麻布、大麻、软木等	大	大	中	发霉、腐烂
C	烟草、茶叶、糖、麦粉、纸张、干燥果实、干燥皮类等	大	小	大	发霉、腐烂
D	罐头、镀锌板，精密机械、金属器具等	无	无	大	锈
E	钢材、玻璃	无	无	小	—
	矿石、煤		小→大		

表 7.5.3—3　**航区温度变化对货物种类与发汗状况通风关系表**

货种符号	装货地　卸货地	发汗程度		通风方法
		船体	货物	
A	寒冷→温暖 温暖→寒冷	中 大	中 无	N或M* D
B	寒冷→温暖 温暖→寒冷	中 大	中 无	N或M N或M

续上表

货种符号	装货地　卸货地	发汗程度		通风方法
		船体	货物	
C	寒冷→温暖 温暖→寒冷	小 中(被害大)	中(损害大) 无	D D
D	寒冷→温暖 温暖→寒冷	小 小	大(被害大) 无	D N或S
E	寒冷→温暖 温暖→寒冷	小 小	大(损害小) 无	N N或S

* N—自然通风;M—机械通风;D—除湿通风;S—关闭通风口。

3.2 货舱通风的通风量

1)一般干、散货船的货舱通风量为货舱容积(指空舱容积)乘以换气率来计算。换气率可取3～10次/h,一般采用5次/h。详见本篇第1章。

2)从经济性考虑,货舱通风量和换气次数可根据货舱空积率的0.6～0.8决定。

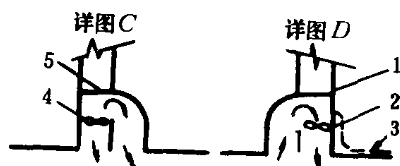
3.3 货舱通风装置

1)货舱通风装置的种类,有三种:1)自然通风;2)机械通风;3)除湿通风。

2)货舱通风方式,有四种方式:

(1)干燥空气循环通风(简称"RD"通风方式):

为保持货舱内新鲜的干燥空气,又要从除湿装置的经济性出发,不致在海上气象急剧大幅度变化而消耗过大的功率,远洋货轮大多采用此方式。"RD"通过除湿装置除湿,将舱内空气循环,并补充少量新风,(约10%总风量)可保持货舱内湿度60%以下,见图7.5.3—11。



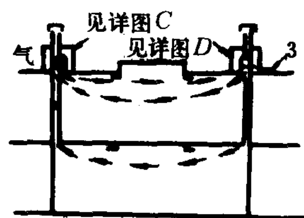
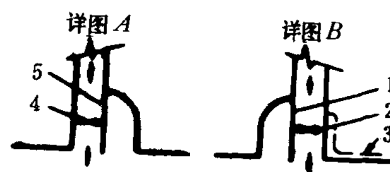


图7.5.3—11 "RD"通风方式
1—闸门;2—进风机;3—干燥空气;4—抽风机;
5—闸门



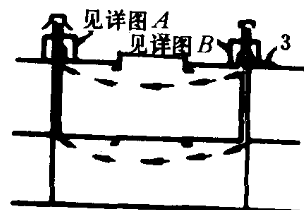


图7.5.3—12 "VD"通风方式
1—闸门;2—进风机;3—干燥空气;4—抽风机;
5—闸门

(2)干燥空气通风(简称"VD"通风方式):

当雨中装卸后或冲水洗舱后,货物及船体可能受潮,或装载含水量较高的货物而外界空气湿度不高时,可采用此方式,尽量将舱内空气水分排出舱外,如图7.5.3—12所示。

(3)一般通风("V"通风方式):

在多数中、小型货轮的货舱通风,采用自然进风、自然排风方式或自然进风、机械抽风等通风方式。主要以保持货舱空气新鲜度为目的,见图 7.5.3—13。

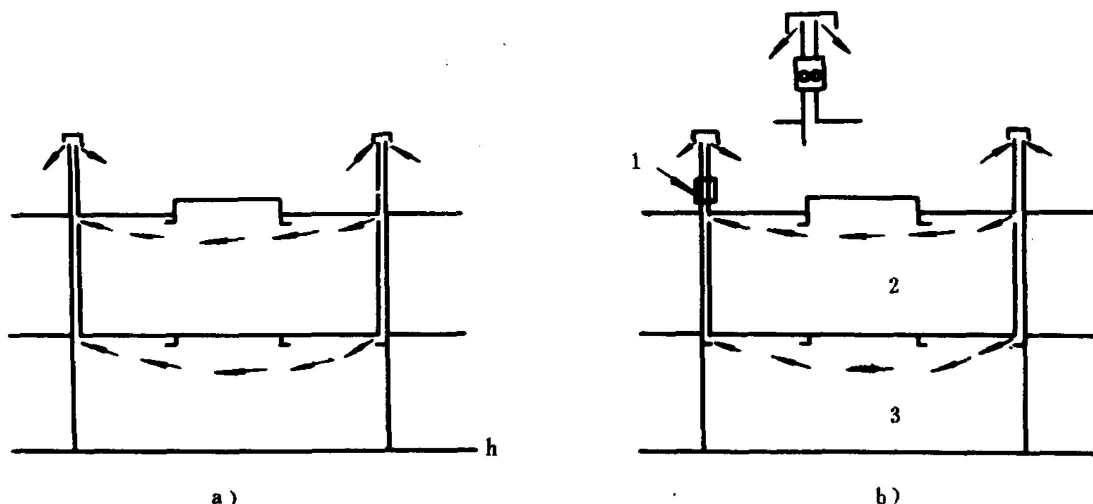


图 7.5.3—13 "V"通风方式

a)自然进、排风方式;b)自然进风、机械排风方式

1—轴流抽风机;2—上层货舱;3—下层货舱

(4)循环通风("R"通风方式):

当进行"RD"通风时,由于干燥空气不能进入货舱的甲板里层等处,该处积聚了很多高温、高湿空气,可能引起结露,因此可进行"R"通风,防止结露现象发生,如图 7.5.3—14 所示。

以上四种通风方式的情况比较归纳在表 7.5.3—4 中,如选择得当,可控制货舱的露点。

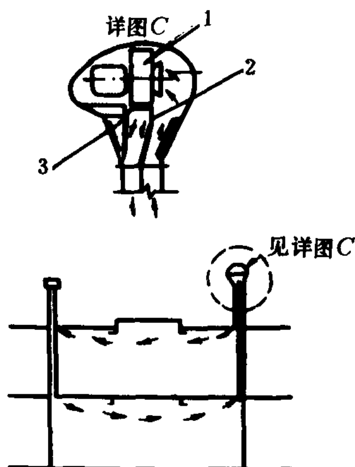


图 7.5.3—14 "R"通风方式

1—离心式通风机;2—闸门;3—闸门

表 7.5.3—4 **控制露点的通风方式选择**

	周围条件	结露	自然通风或机械通风	除湿通风方式
1	$T_A{}^* < T_H < t$	不	积极换气	V
2	$T_A < t < T_H$	结露	积极换气	VD 或 V
3	$T_H < T_A < t$	不	亦可以换气	V 或 VD
4	$T_H < t < T_A$	不	进行换气	VD 或 R
5	$t < T_H < T_A$	结露	进行换气	RD
6	$t < T_A < T_H$	结露	进行换气	RD

* T_A——大气温度;T_H——舱内空气露点温度;t——船体或货物温度。

3)货舱通风装置的组成：

它主要有三个部分：

(1)除湿机、有冷却式，固体吸着式，液体吸收式等三种，它将外部空气吸入除湿成干燥空气后再进入货舱的通风装置，详见本篇第4章。

(2)通风装置：各货舱都设有循环送风机，可控制的调节风门，分配管道等。该装置可用人工操作各舱调节风门或在驾驶台进行气动遥控。

(3)温度、湿度遥测和自动记录装置：

该装置能将测得的大气及干燥空气的温度、湿度、露点、各舱内空气露点的数值自动记录在驾驶台的自动记录装置中。然后，可以根据此记录再进行人工或遥控通风。

3.4 货舱通风系统维护、使用注意事项

海上的空气比岸上潮湿，盐份较多；船舶在航行时，温度与湿度的变化大，变化速度快，因此除了要求能保持货舱内货物最佳贮运条件外，货舱通风系统在维护使用方面，尚须注意下列几点：

1)干、散货舱内空气相对湿度最高不大于60%。

2)舱外空气温度等于或低于货舱内空气露点时，则采用通风循环。

3)舱外空气温度高于货舱内空气露点时，则停止货舱通风，或作封闭循环。若有干燥通风装置，可加干燥空气。

4)装有干燥装置的通风系统，应按时记录货舱内、外空气的干球温度和露点温度，及时操作干燥装置，以避免货舱内凝水现象。

5)须定期检查进、排气管道情况，防止管道因腐蚀烂穿而短路。

6)当遇大风浪、浓雾、火灾时，必须完全停止通风，并关闭所有通风口。为此，货舱通风系统的风管、风帽、转动装置、须经常加油，风闸、风门上的轴承，亦须定期加油。

7)即使在风浪飞溅中或小雨中航行时，通风系统的通风筒，应仍能保证通风。若不能通风，则应考虑更换通风帽的形式或提高通风筒的高度。

8)轴流式或离心式通风机应按规定周期检查轴承并加油。电动机的绝缘，应定期测量并清洁。风机的振动与噪音有明显增加时，应检查风叶的完好与平衡状况。

3.5 货舱通风系统实例

27000t级自卸船货舱通风实例见图7.5.3—15。27000t级自卸船货舱通风，分为二个系统，一个为货舱底部的皮带输送舱通风，采用机械进风，机械抽风方式。进风机1台为1100m^3/min×18.5kW×1000r/min，排风机2台，各为550m^3/min×11kW×1500r/min。自船尾部进风，船首部出风。另一个系统为各个货舱的舱盖前、后部，均设有具有水密门盖的自然通风的风栅，并在各个货舱前部甲板上，装设有菌形风帽的自然通风风管，其高度不超过0.9m。

4　其他舱室通风

4.1　居住生活舱室通风

4.1.1　船员和旅客舱室通风

现代船舶居住舱室的通风，属于全面通风。全面通风的概念为在同一通风系统中既可输送冷风或热风，作为空气调节，又可在春秋季节进行单纯通风。

船员、旅客舱室和餐厅、会议室，吸烟室等公共场所，均应有良好的通风，通风量可按每人每小时需要 50m³ 风量计算，或按本篇第 1 章表 7.5.1—1 选取。

1)没有空调的船舶，上层居住舱室，应尽量利用自然通风。舱外新鲜空气，由进风帽送入走道，通过开在门上或壁上的风栅进入舱室内，再通过舷壁或甲板上的排风帽排出舱外。

2)设在主甲板以下的舱室，宜用机械通风机将新鲜空气直接送入舱室内，通过门上或舱壁上的风栅排入走道，然后由厕所或浴室等抽风系统排出舱外。必要时也可另装机械抽风。

4.1.2　厕所和浴室通风

主要采用机械抽风，自然进风。上层甲板的厕所，可采用壁式或顶式自然排风。一个区域内的厕所、浴室可共用一个抽风系统。为求抽风效果，应在支管中装有风闸，以便调节。如图 7.5.3—16所示。

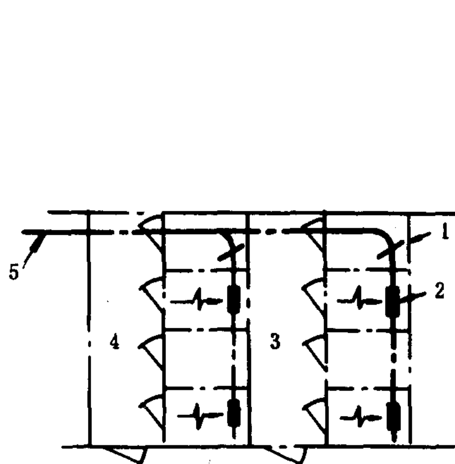


图 7.5.3—16　厕所浴室抽风系统图

1—风闸；2—风栅；3—浴室；4—厕所；5—抽风管

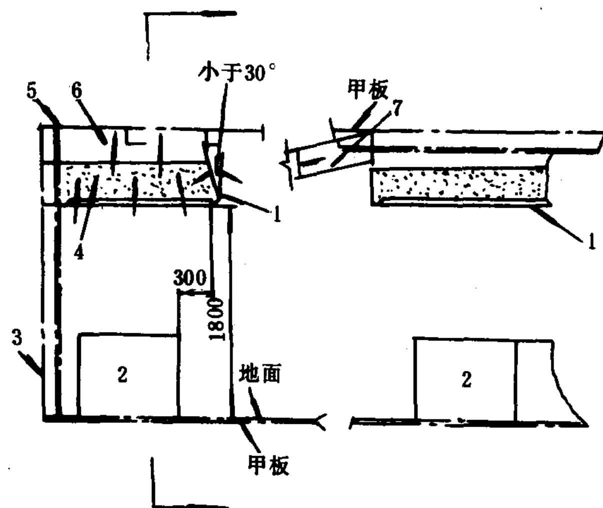


图 7.5.3—17　厨房脱排油气罩简图

1—吸气罩；2—炉灶；3—隔舱壁；4—空气过滤层；5—甲板；6—空气箱；7—抽风管

4.2　厨 房 通 风

1)应独立于其它通风系统。

2)小型船舶或拖船的厨房通风，采用单纯自然通风，即在炉灶顶上开排气天窗，人员操作处装自然进风帽。

3)一般客货船厨房通风，采用机械排风，自然进风方式，即在炉灶、烤炉等大热源上方，装设机械排风的脱油排气罩，人员操作处装自然进风帽。

炉灶顶部装置的脱油排气罩，见图 7.5.3—17。

4.3 CO_2室通风

4.3.1 CO_2室通风的作用

因为CO_2室一般均设在艇甲板靠近机舱的周围，受热量较大，而CO_2气体受高温时易使压力升高，钢瓶有爆炸的危险，为保证安全，CO_2室通风主要不使室温升高。各国船级社对CO_2室温度均有所要求，见表 7.5.3—5。

表 7.5.3—5　**各国规范对CO_2室温度的要求**

船　级　社	对CO_2室温度要求
中国船级社(ZC)	45℃
英国海外贸易部(DOT)	71℃
美国海岸警卫队(USCG)	54.4℃
挪威船级社(NV)	40℃
日本标准(JG)	最高 55℃

CO_2室通风的另一作用是保证安全，有时CO_2钢瓶可能泄漏，须将漏气抽出。

4.3.2 CO_2室通风量

1)可按 5～10 次/h 换气次数计算，或参见本篇第 1 章的表 7.5.1—1。

2)根据舱室热负荷，包括日照热量与邻近机舱传入的热量计算。

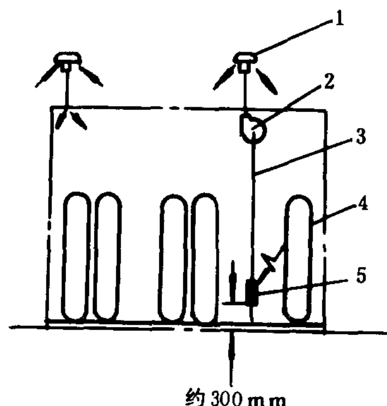


图 7.5.3—18　CO_2室通风装置图
1—风帽；2—抽风机；3—风管；4—CO_2钢瓶；5—吸风口

$$Q=\frac{\Sigma q}{1.2\Delta t}\text{m}^3/\text{h} \qquad (7.5.3—7)$$

式中：Q ——抽风量，m^3/h；

Σq——CO_2室热负荷(包括日照热量与邻近机舱传入热量等)，kJ/h；

Δt——室内外温差，℃，要求室温不超过 45℃。

4.3.3 CO_2室通风装置的布置

(由于CO_2气体密度较大，故抽风口应布置在较低位置，一般离地面 300mm 左右。小的CO_2室采用自然进风与自然抽风。大的CO_2室则采用自然进风，机械抽风，如图 7.5.3—18 所示。

4.4 蓄电池室通风

4.4.1 蓄电池室通风

使室温尽可能保持常温，这是蓄电池的特性所需要的。因为蓄电池在高温中寿命容易缩短，在低温中容量会降低。如在 25℃时，蓄电池容量为 100%，则当—5℃时，容量则降为 75%。

蓄电池室通风另一重要作用是：为防止爆炸事故，排除充电时产生的氢气。

4.4.2 蓄电池室通风量

1)可按15～30次/h换气次数计算,或参见本篇第1章表7.5.1—1。

2)根据蓄电池室的热负荷计算:

(1)蓄电池充电时散发的热量q计算:

$$q=\frac{2}{3}3600N(1-\eta)\quad kJ/h$$

$$q=2400N(1-\eta)\quad kJ/h \tag{7.5.3—8}$$

式中:N ——充电功率,kW;

η ——蓄电池效率,一般取0.75;

2/3——充电时功率损耗变为热能,有2/3散发在舱内,其1/3散发在蓄电池溶液中。

(2)充电时产生的氢气量V_E:根据《海船电力设备规范》

$$V_E=0.126\ In\quad m^3/h \tag{7.5.3—9}$$

式中:I——最大充电电流,A;

n——串联蓄电池元件个数。

(3)蓄电池室通风的送风量,可由室外传入的热量与充电时散发的热量等的总和,按式(7.5.3—7)计算。抽风量应大于式(7.5.3—7)和式(7.5.3—9)计算的结果。

4.4.3 蓄电池室通风装置的布置

碱性蓄电池室可采用自然进、排风。而酸性蓄电池室则宜采用自然进风,机械抽风装置。由于充电时产生的氢气聚集在蓄电池室顶部,抽风口应布置在舱顶。充电时蓄电池散发热量,为使室内降温,进风口应布置在蓄电池架子下部。如图7.5.3—19所示。

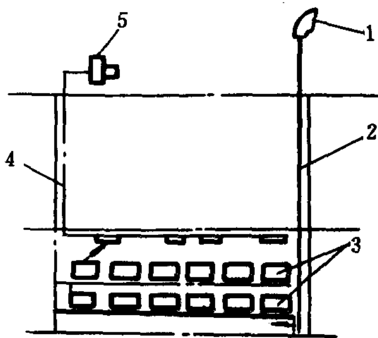


图7.5.3—19 蓄电池室通风装置图

1—进风风帽;2—进风风管;3—蓄电池;

4—抽风风管;5—防爆离心风机

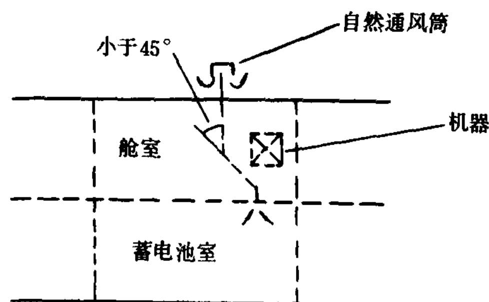


图7.5.3—20 LR、NV船级社对蓄电池室通风布置图

蓄电池室通风装置的风机,因通风中含有氢气,应采用防爆式离心通风机,风机不能装在蓄电池室内,风机的进出口处应装设钢丝网。

一些船级社,对蓄电池室通风亦有相应要求:如英国劳氏船级社(LR)、挪威船级社(NV)中规定,当蓄电池室处在其他舱室下一层甲板时,其抽风管可设成从蓄电池室顶部沿小于45°的斜角垂直通向开敞甲板,如图7.5.3—20所示。

美国船舶局(ABS)和日本IS—SOT标准中亦规定:蓄电池室通风的自然进风管应通向底部,抽风管应在相对的顶部直接通向开敞甲板,以形成自下而上的自然通风。

4.5 油船的泵舱通风

本节主要说明油船的货泵舱和在货油舱区域内的压载泵舱的通风系统。

1)泵舱通风的作用：

主要是排除含有可燃气体的油气，以防止发生窒息、爆炸等事故。

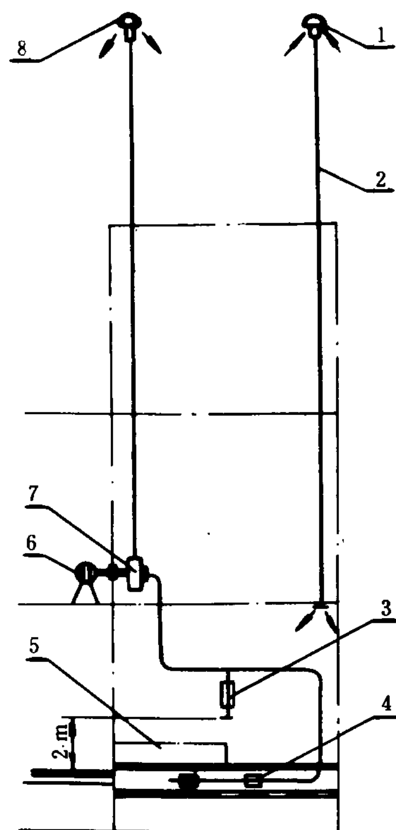


图 7.5.3—21 油船泵舱通风系统图

1—进风帽；2—风管；3—应急吸风口的调节风门；4—吸风栅；5—油泵；6—电机；7—离心通风机；8—排风帽

2)泵舱通风系统，采用自然进风和机械排风，该系统不应与其它处所的通风相连接。其通风量可按 20 次/h 换气次数计算，或参见本篇第 1 章。换气数量可按泵舱的总容积确定。

3)泵舱通风装置的布置。

抽风系统的吸风口位置，应尽量贴近舱底，并须高出肋板或船底纵骨；在泵舱花铁板上方 2m 高处的通风管上，设有应急吸风口和一个能从露天甲板和花铁板上进行开闭的调节风门。如上、下吸气口截面积的选取能保证通过下部吸风口的换气量不少于 20 次/h，则可免设上述调节风门；当由于舱底浸水使下部吸风口被封闭时，上部吸风口的换气量至少应达到 15 次/h。抽风系统排风管的风帽至少高出甲板 3m 时，如距离上层建筑不到 3m 时，则须升高风管高出上层建筑 2.5m。

进风系统用自然通风，从上部引入新鲜空气。进风与抽风风帽的布置，应使排出的可燃气体发生再循环的可能性减至最小。抽风风帽与舱室和封闭工作处所的空气进口或开口，以及与可能的着火源的最近距离至少为 3m。

油船泵舱通风系统，可见图 7.5.3—21。

4)泵舱的通风机：应为防爆型，为此，叶轮与外壳的材料和叶轮与外壳的间隙均须符合下列规定：

(1)叶轮与外壳间隙不得小于叶轮轴轴径的 0.1 倍，且至少应为 2mm。一般不超过 13mm。

(2)叶轮与外壳为非金属材料。该材料的电阻应不超过 $10^{8}\Omega$，否则应采取特殊措施，以防止材料表面积聚危险电荷。

(3)叶轮与外壳均为黑色金属，则其间隙应不小于 13mm。

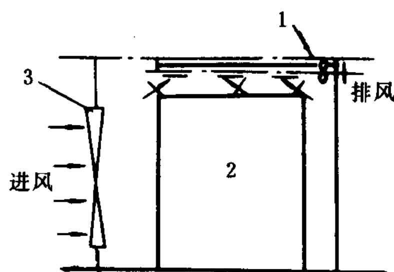


图 7.5.3—22 甲板机械控制器室通风图

1—轴流抽风机；2—控制电阻器；3—铁丝网门

(4)不准使用叶轮为黑色金属，外壳为铝合金，不管其间隙如何。

(5)通风机的原动机应按货油泵原动机的要求布置，并应能在泵舱外面进行操纵。

(6)通风管的进出口应装有网孔小于 13mm 的防护网，以防止物体落入风机外壳。

(7)风机组在船上的安装应与船体有可靠的电气接地。

4.6 甲板机械控制器室的通风

甲板机械包括起货机、舵机、锚机、绞缆机等，尤其是起货机控制器室在停泊装卸时及舵机室在航行时长时间使用，其控制

器电阻器热负荷使室内温度增加。

甲板机械控制器室通风方式，采用低压轴流抽风，自然进风。应使自然风冷却控制电阻器，然后由抽风机从上面排出室外，见图 7.5.3—22。

控制器室通风机风量可按本篇第 1 章表 7.5.1—1 所列换气率计算外，还可按排除热负荷计算，使室内、外温差不超过 14℃，并保持室温在 45℃以下。

4.7 制冷机舱通风

4.7.1 氟里昂制冷机舱通风

通风方式采用低压轴流抽风，自然进风方式。由于氟利昂气体比空气重，故当氟里昂泄漏时，将沉于舱内底部，使舱内空气不足，易使工作人员被窒息。为此，应将抽风口设置在较低位置，约离舱底 300mm 左右。

其通风量可按换气次数 30 次/h 计算。如有空气冷却的冷凝器，则通风量应满足冷凝器热负荷的要求。

4.7.2 氨制冷机舱通风

按中国船级社规范要求，应设置应急抽风设备，其换气次数不少于 40 次/h。小型氨制冷机舱通风方式，采用自然进风，机械抽风。而大型氨制冷机舱，则可采用机械进风，机械抽风。抽风量应大于进风量，以便当氨泄漏时，可迅速排出氨气。抽风机除在舱内有控制开关外，还须在舱外入口处装设一套开关。由于氨比空气轻，故抽风口应设在较高位置。

4.8 应急发电机室通风

应急发电机室一般布置在艇甲板附近，平时采用自然通风方式，当发电原动机工作时，由原动机带动冷却用的风扇进行强制排风；而其进风口有效截面积应根据风扇的风量参数来决定。

应急发电机室进排气布置，可参见机、炉舱通风系统实例图 7.5.3—9。

4.9 弹药舱通风

弹药舱通风方式，采用机械进风与机械抽风。如通风尚不能维持舱内所需温度时，还须采用冷却装置。

单独水密或气密隔舱内的弹药舱，其通风系统亦应独立，不得互通。在弹药舱内的进、抽风管，应布置在舱室的上、下部，形成棋盘状，必须保证将舱内的热空气抽出。

弹药舱还须装置由消防系统接入的海水喷淋管，当舱内温度超过规定的要求时，可喷淋海水以降温。

通风机不得安装在弹药舱内，以防爆炸。

弹药舱的温度和相对温度根据需要而定。弹药舱的舱外渗入热量，可按一般空调渗入热负荷计算方法进行计算。炮弹的热负荷，可另行计算。

4.10 其他舱室通风注意事项

1）电罗经室通风：为保持罗经的精度，从保养要求，最高环境温度允许为 50℃。

2）泡沫柜舱通风：由于泡沫原液是以动物性蛋白质为主要成分，在高温中易使原液变质、恶化。所以泡沫柜舱要求保持在－5～30℃，最高 40℃，这样原液性能有效期为三年；并要注

意，原液在－12℃时冻结而不能使用。

3)应急消防水泵舱通风：应急消防水泵起动要求的最低温度，用电池起动时为－5℃以上，用压缩空气起动时为0℃。

4)粮库等通风：采用定点通风，以保持室温在30℃左右，这样可使粮食质量保持数月不变。

5)其他一般电气设备舱室：有回转机械的舱室最高温度可取为50℃。其它电器设备的室温为45℃以下。

5 船舶通风系统要求

5.1 船舶通风系统布置要求

1)一个完整的通风系统，在设计上应考虑全面，即精心安排气流分布，既要进风和顺，又要排风畅通。机械进风系统要考虑排风的流向出路，机械排风系统也要考虑进风的来路，自然通风也要有进有出，并尽量多利用自然通风。

2)船舶通风系统为适应船舶破舱不沉性和分舱的要求，尽量分得多些，这样每个系统的风量可少些，风管直径也可小些，便于安装，风压也不需很大。居住舱室通风，每个系统的风量建议不超过9000m^3/h。

3)风管应避免穿过防火主竖区的分隔或水密隔堵，必须穿过时，要加装防火风闸或水密风闸，并取得船检部门的同意。

4)有空气污染或散发易爆有毒气体的舱室，如净油机间、蓄电池室及病室等，抽风量应大于进风量。

5)甲板上风帽的形式与位置，应与甲板布置相协调；舱室内风管和出风口形式与位置，应与舱室布置相协调。

6)通风机的位置，应便于检修并不易传播噪音。

7)新鲜空气进风口，应尽量远离高温或污浊空气的排出口。

当船舶通风系统的效果不明显时，则可按上述注意事项进行检查并设法修正，可改善效果。

5.2 通风管道布置要求

在保证风量的条件下，通风管道布置结构应尽量简单，阻力尽量小。除选用适当管径或当量直径外，还须正确选用各种管件形式，使局部阻力系数小，结构又不过于复杂。

管件形式可分扩缩管、弯头、三通和分叉管。

5.2.1 扩缩管

气流在突然扩大或收缩时，容易产生涡流，局部阻力增大，所以必须采用渐扩管或渐缩管。扩缩管的斜角度愈小，阻力也愈小，但必须考虑船上的位置。一般渐扩管的斜度最好不大于1：7，渐缩管的斜度最好1：7，最大1：4，见图7.5.3—23a)。

风管中装有热交换器(如加热盘管)时，风速应降低，即风管截面应放大。在截面放大的前后，接管的斜度也不可太大，见图7.5.3—23b)。

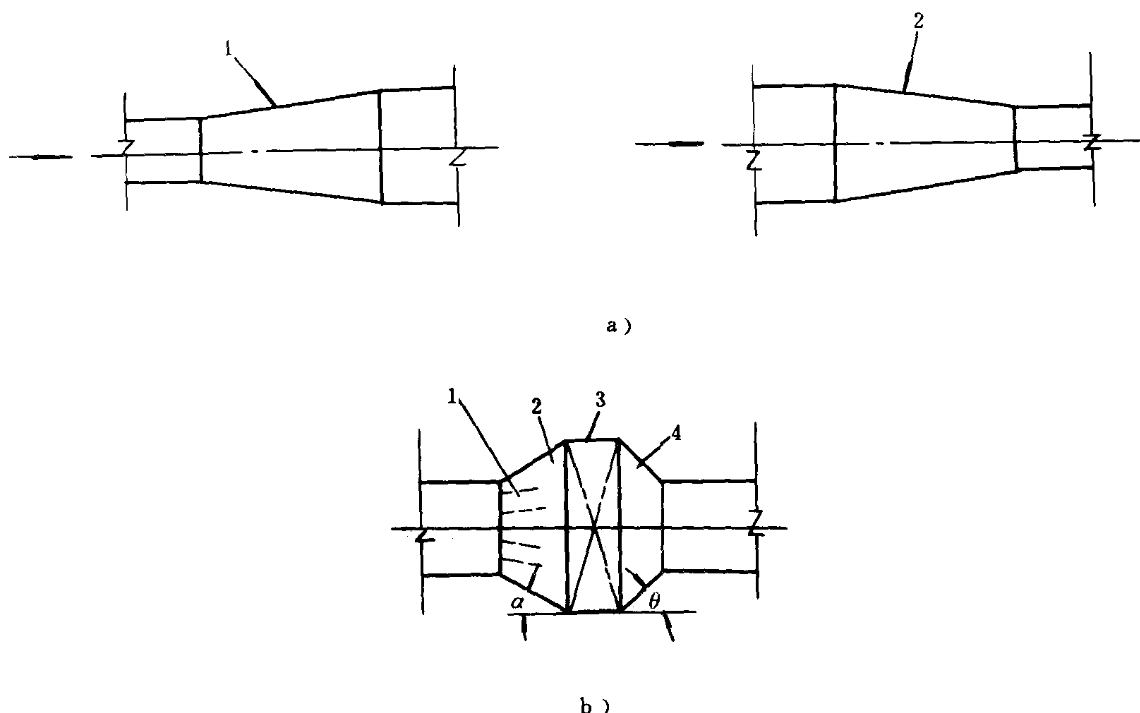


图 7.5.3—23 渐扩管、渐缩管的接管图

a)渐扩管、渐缩管的接管 1—渐扩管；2—渐缩管

b)风管中热交换器的接管 1—导风叶片；2—渐扩部分；3—热交换器；4—渐缩部分

5.2.2 弯头

由于船上地位紧凑，风管弯头可根据需要选用适当的几何形状，若风管宽度为 a，则弯头内半径最小为 0.75a，弯头外半径为 1.75a，如图 7.5.3—24 所示。

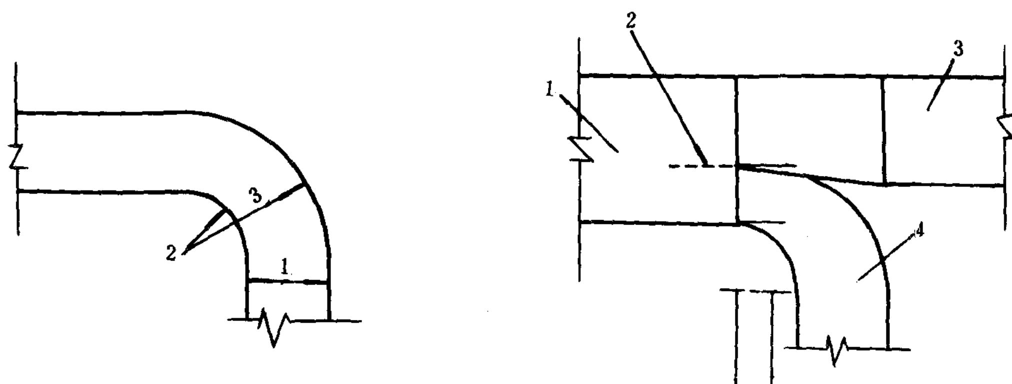


图 7.5.3—24 风管弯头图

1—管径为 a；2—弯头内半径；3—弯头外半径

图 7.5.3—25 带分风板的三通管

1—总风管；2—分风板；3、4—支管

紧靠弯头后面，气流尚未稳定，不宜接出风口或热交换器。必须紧接时，要装导风片，使气流比较均匀。

5.2.3 三通管

主要由于变速而形成局部阻力。如果三通管节点上的风速和风向保持不变，而把变速和转向的作用都放在直管和支管的局部阻力上，这结构（包括变形节和变形弯头）的阻力是最小。最常用的方法，是装设分风板。设三通分管宽度为 a，则总管可按风量比例分为二个支管 a_1、a_2，其间装设的分风板长度 L，可见表 7.5.3—6。

带分风板的三通管，见图 7.5.3—25。

表 7.5.3 6　　**分风板长度表**

a_2 mm	<200	200～600	>600
L mm	300	$1.5a_2$	$1.25a_2$

5.2.4 分叉管

为减少空气涡流，分管的分叉管宜选用图 7.5.3—26 的形式。

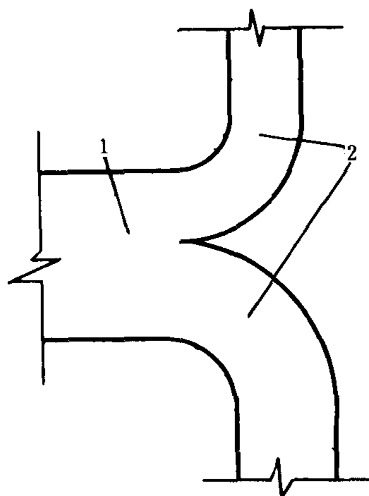


图 7.5.3 26 风管的分叉管

1—总风管；2—支管

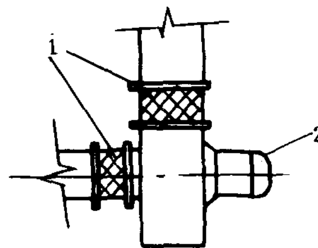


图 7.5.3—27 风机软接管

1—帆布或橡胶软管；2—离心式通风机

5.3 风机进出接头的选择

5.3.1 防振

为避免风机的振动，影响通风管道和船体结构，除了在风机上尽可能加装减振器等措施外，一般通过一段长度约 100～150mm 的软管（帆布或橡胶）与金属通风管相接，见图 7.5.3—27。

软管最好装在风机的进出口处，不要拉紧；如不可能时，也可装在最近的风管上。

5.3.2 出风方向

离心式风机出风后要转向时，最好与风机中的空气流向一致，亦即风机出口方向和安装位置应与风管走向相适应。见图 7.5.3—28。从平面图(a)看，(a_1)、(a_2)方法最差；(a_3)、(a_4)方法最好；(a_5)方法也可采用。从侧面图(b)看，(b_1)方法不合理；(b_2)方法很好，可采用。

5.3.3 进风接头

正规的离心风机进风接头，在风管转向处要设导风叶片，并将矩形风管渐改成圆形风管与离心风机进口连接。如图 7.5.3—29a)。

受地位限制时的风机进口连接方法见图 7.5.3—29b)，有三种：(1)将矩形进风管的下端封口，保持矩形平底；(2)将矩形进风管的下端封口改为半圆形；(3)将矩形进风管的下角截去一块，如图中虚线所示。

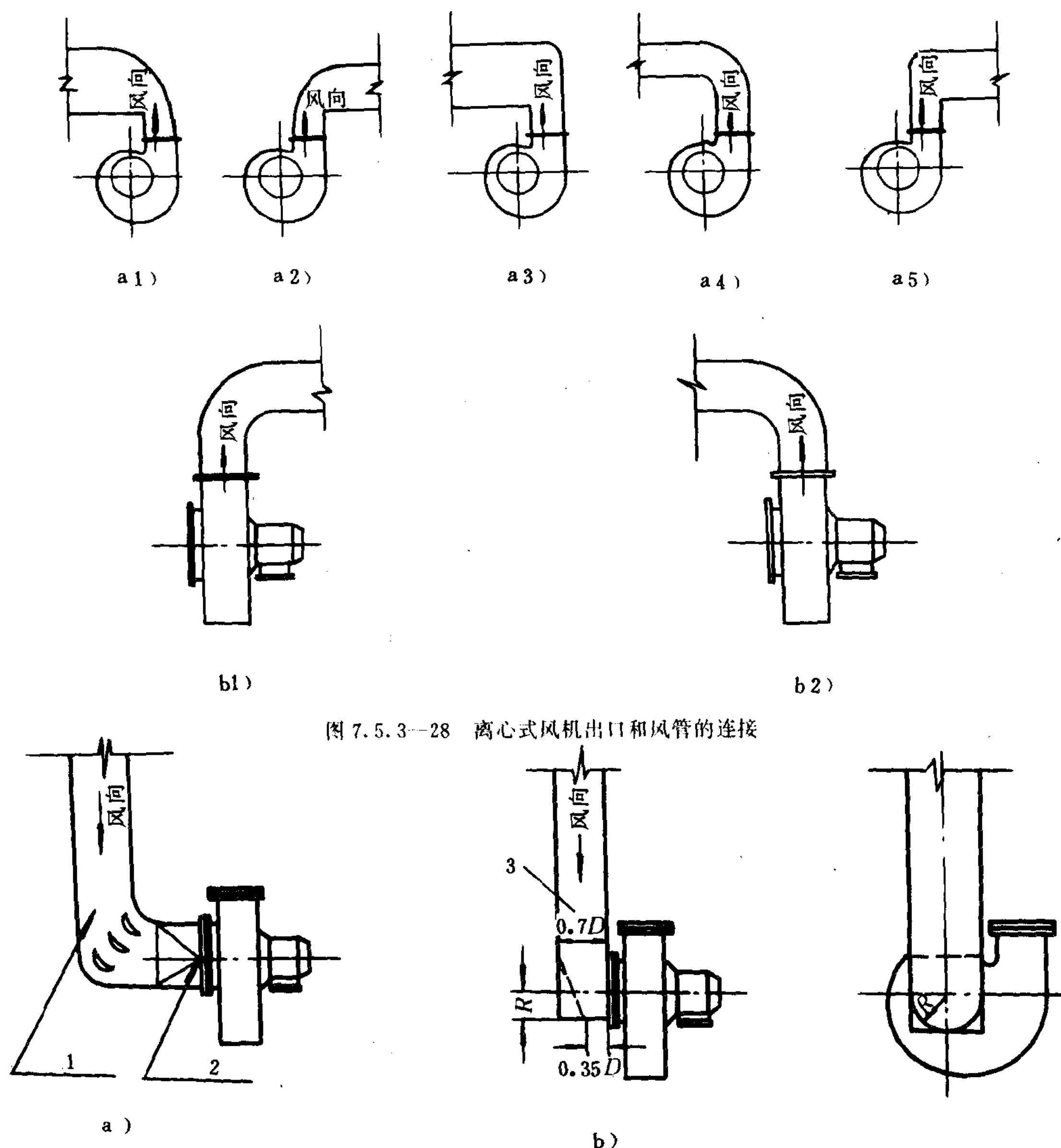


图 7.5.3—28 离心式风机出口和风管的连接

图 7.5.3—29 离心式风机进口风管连接

a)正规的进口连接;b)受地位限制的风机进口连接

1—矩形风管;2—矩—圆变形进口;3—矩形风管

5.4 自然通风的布置

1)自然通风进、排风管的位置,须考虑空气的流向分布,尽量减少死角,不发生短路现象。

2)自然通风管的进风帽装设位置,应远离机、炉舱和厨房的天窗,及蓄电池室、厕所、餐厅等排气风筒。

3)机、炉舱用的自然通风帽需装设回转机构。通风管内须按船检要求安装防火闸门。

4)排除臭气或有害气体的通风筒,不应布置在窗、通道的门及进气风帽附近。

5)排气通风的吸口应尽量布置在热源附近。

6)通风筒不得直接布置在电气设备的上方,不能布置在妨碍操作和通行,影响门和窗口盖开闭的位置,以及妨碍窗外的视界等处。

7)通风筒应避开纵横,扶强材等加强结构的位置。

8）自然通风系统中，不应装有弯头，否则将影响通风效果，甚至无效。在机械和自然通风相结合的系统中，自然风筒中也可设有少量弯头，但局部阻力要尽量减小。

9）所有可拆卸式风帽的围板，必须备有防暴风雨盖，其他风帽尚需各备一防水帆布套，以应暴风雨航行中之用。

6 船舶通风设备

6.1 船用通风机

船用通风机可输送含有盐雾的海洋空气和含有油雾等腐蚀性空气，供机、炉舱和其他舱室通风换气和锅炉通风等使用。若输送易燃、易爆气体时，则应采用防爆型风机与电机。

通风机的风量及风压已在上面有关章节中介绍。

在标准状态空气条件下（标准大气压为 1.01325×10^5Pa 温度 20℃；相对湿度 50%），通风机配置功率 N 为：

$$N=K\cdot\frac{QH\cdot 9.8}{3600\cdot 102\cdot\eta\cdot\eta_m}=2.66\times10^{-5}\frac{KQH}{\eta\cdot\eta_m}\cdot kW \qquad (7.5.3\text{—}10)$$

式中：K——电动机容量安全系数；

Q——风量，m^3/h；

H——风机全压，Pa；

η_m——传动机械效率；

η——全压效率。

根据风量、风压和功率即可选用通风机型号。

6.2 风管及其附件

6.2.1 风管

风管的形状有圆形和矩形二种。在露天甲板或易受冲击部位的风管，应采用 2mm 以上钢板焊制；其他部位一般用镀锌薄钢板或铝板制造，其厚度按部标 CB/Z109－68 推荐，如表 7.5.3—7所示。

表 7.5.3—7　**风管材料推荐厚度表**(mm)

风管类型	风管直径或最大一边的宽度	薄钢板厚度
暴露的立管		1.2～1.6
甲板下的横管和不暴露的立管	<250	0.6～0.8
	260～450	0.8～1.0
	460～600	1.0～1.2
	>610	1.2～1.6

6.2.2 风帽或通风头

装在露天甲板上或围壁外的进风或排风装置，称为风帽或通风头。机械、自然通风均可采用，见表 7.5.3—8。

表 7.5.3—8 **船用通风风帽**

风帽名称	风帽特点	使用场所	使用形式		标准号	图号	备注
			进气	排气			
1)烟斗式{烟斗式风帽；三杆式烟斗风帽}	相对风速很高，局部阻力系数较小，结构简单	机、炉舱	✓	✓	CB294—64 CB448—65	图 7.5.3—30 图 7.5.3—31	
2)三面式风帽	相对风速较高，风向变化时，风速变动不大，主要用于进风帽	厨房，舵机舱等	✓			图 7.5.3—32	
3)塔形风帽	相对风速较大，装在桅顶上，不受风向影响，并具防滴性能，缺点是外形较大、构造复杂	货舱	✓	✓		图 7.5.3—33	
4)圆形风帽	相对风速较高，局部阻力系数较小，构造简单，装在桅顶上或甲板上	货舱		✓		图 7.5.3—34	
5)菌形{菌形风帽；带导流罩菌形风帽{外开式(A 型)；内开式(B 型)}}	相对风速较低，局部阻力系数较大，水密性好，并可调整风量	厨房，厕所等	✓	✓	CB295—64 (CB 445—65	图 7.5.3—35 图 7.5.3—36a) 图 7.5.3—36b)	
6)鹅颈式风帽{A 型；B 型}	相对风速很低，但能水密	储藏间，灯间、油漆间，CO_2室		✓	GB 4448—84	图 7.5.3—37a) 图 7.5.3—37b)	
7)抽逐式风帽{固定式(A 型)；回转式 B 型)}	相对风速较高，A 型装在围壁外面 B 型可装在甲板上	厨房，厕所，浴室，货舱，机舱间		✓	CB297—64	图 7.5.3—38a) 图 7.5.3—38b)	
8)虹吸式风帽{H 型焊接固定；L 型螺栓固定}	装在围壁外面	居住舱室，浴厕所		✓	CB298—64	图 7.5.3—39	

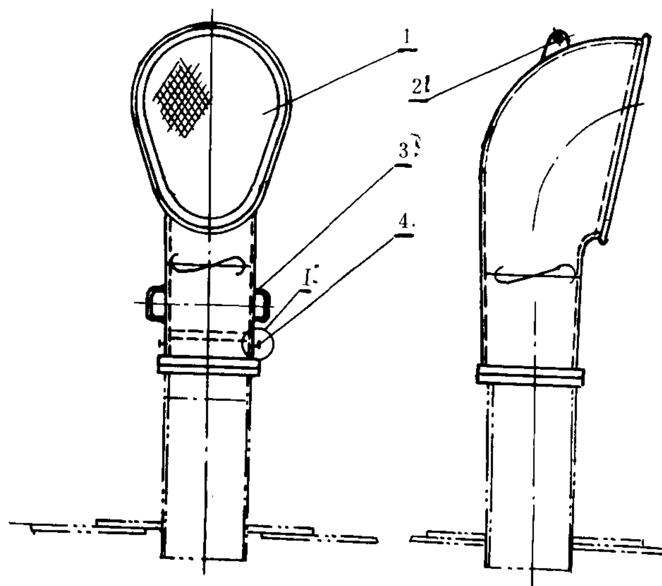


图 7.5.3 30 烟斗式风帽

1一通风头;2一吊环;3一拉手;4一制动器

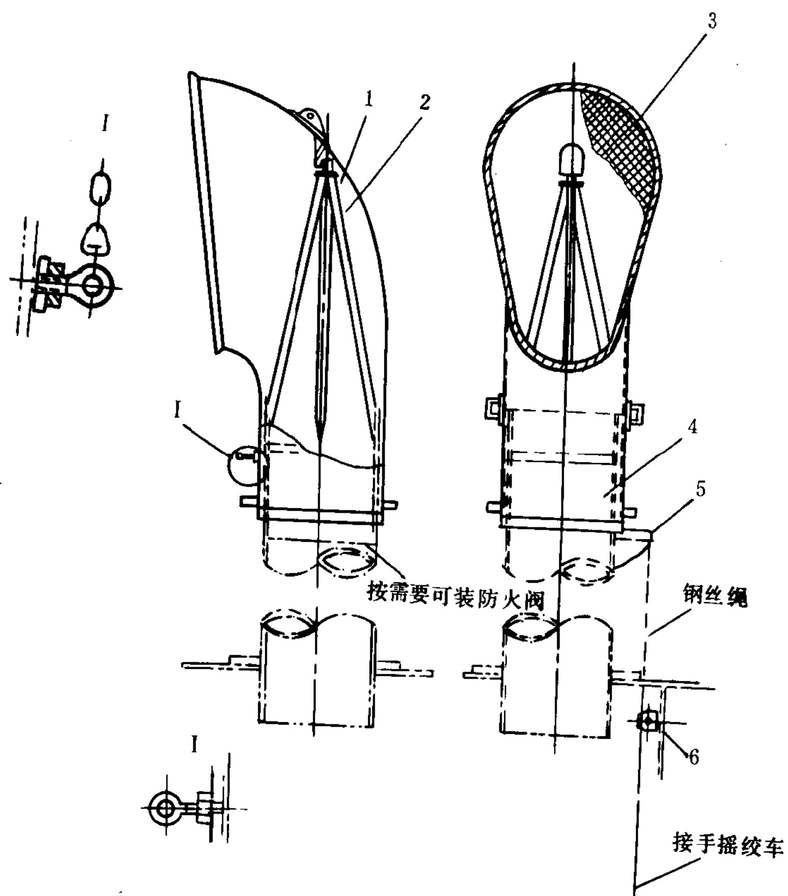
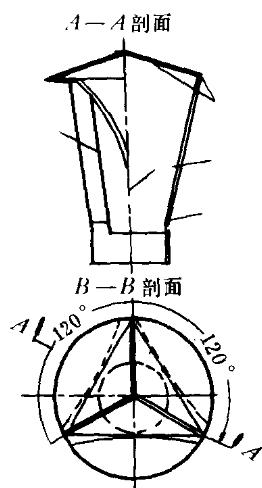


图 7.5.3—31 三杆烟斗式风帽

1一通风头;2一支架;3一钢丝网;4一通风导筒;5一导向滑轮;6一导索滑轮



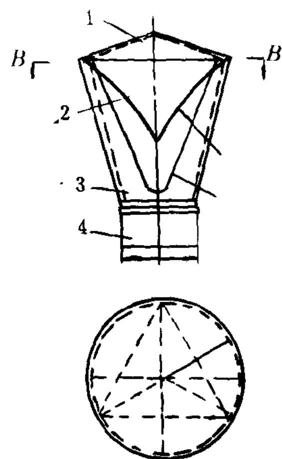


图 7.5.3—32　三面式风帽

1—风帽盖；2—导风体；3—三沟锥板；4—风帽底座

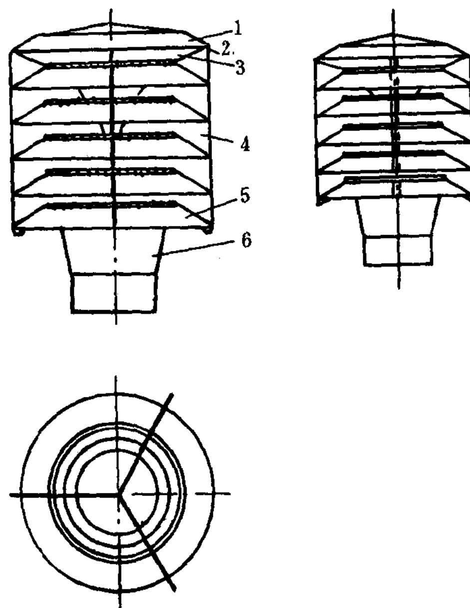


图 7.5.3—33　塔形风帽

1—风帽盖；2—支板；3—转向板；4—导向片；5—扩散管；6—风帽底座

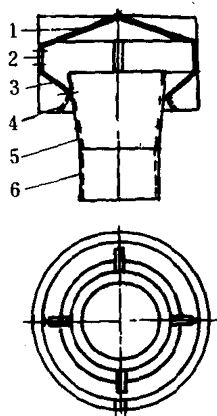


图 7.5.3—34　圆形风帽

1—风帽盖；2—外板；3—导向板；4—加强肋板；5—扩散管；6—风帽底座

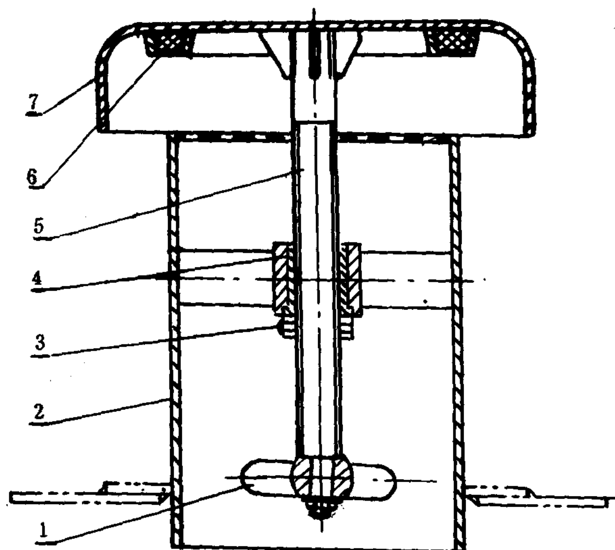


图 7.5.3—35　菌形风帽

1—手柄；2—风管；3—定位螺母；4—衬套；5—螺杆；6—垫料；7—风帽

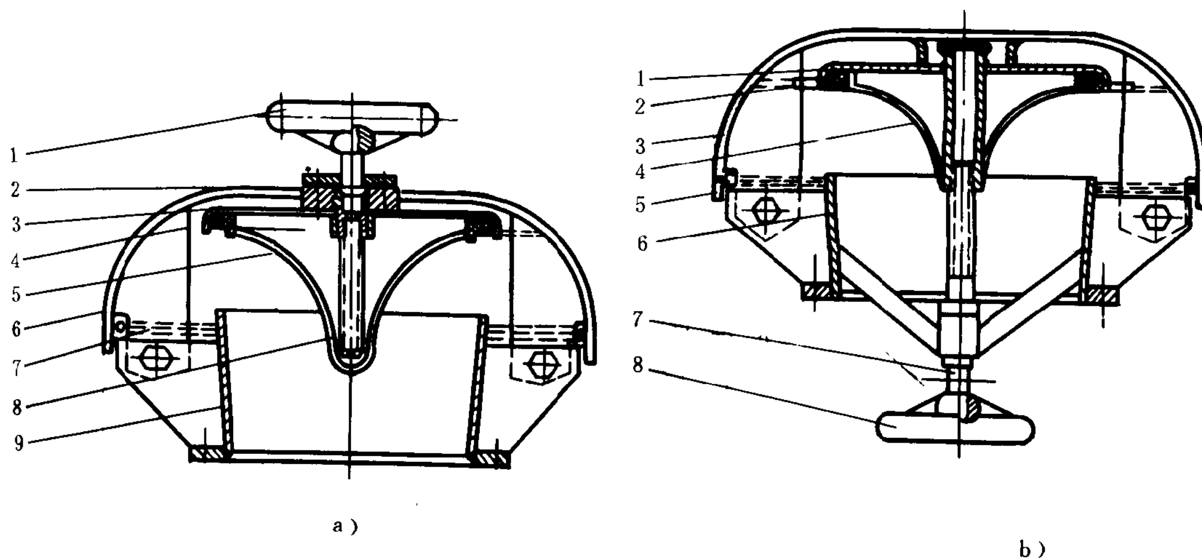


图 7.5.3—36 带导流罩菌形风帽

a)外开式(A 型) 1—手轮;2—套筒;3—水密盖;4—橡胶垫;5—导流板;6—罩板;7—钢丝网;8—轴;9—通风头

b)内开式(B 型) 1—水密盖;2—橡胶垫;3—罩板;4—导流板;5—钢丝网;6—通风头;7—轴;8—手轮

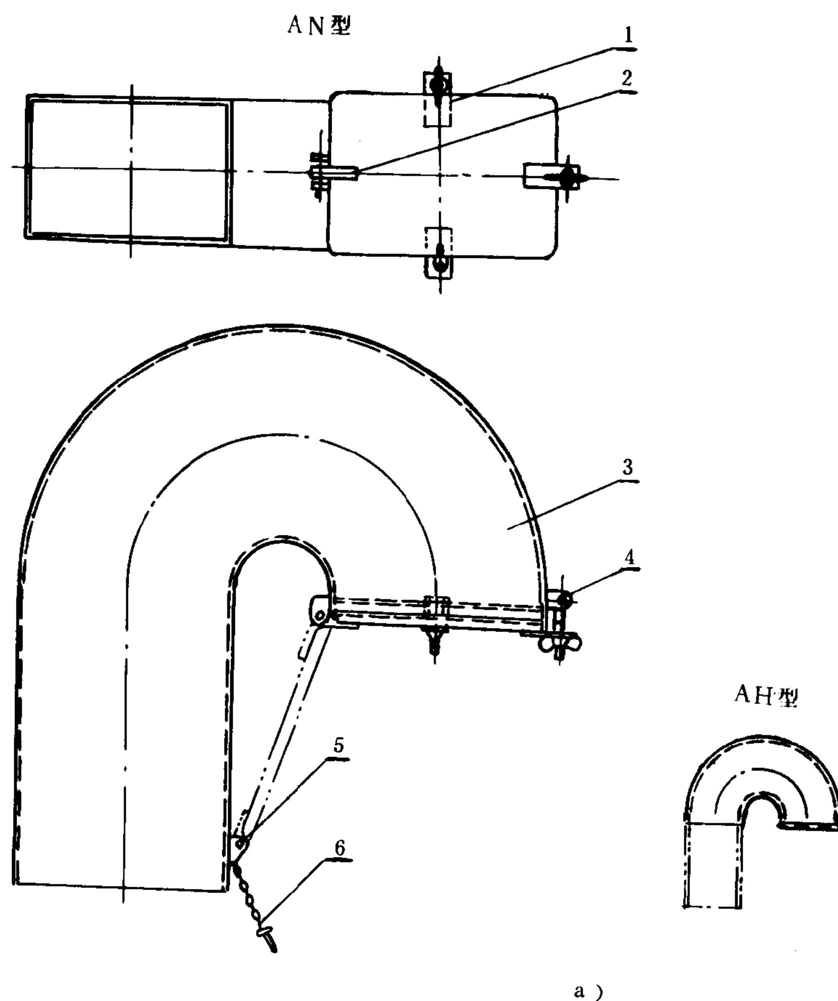


图 7.5.3—37 鹅颈式风帽

a)A 型 1—水密盖;2—铰链;3—筒体;4—螺旋夹扣;5—眼板;6—带舌插销

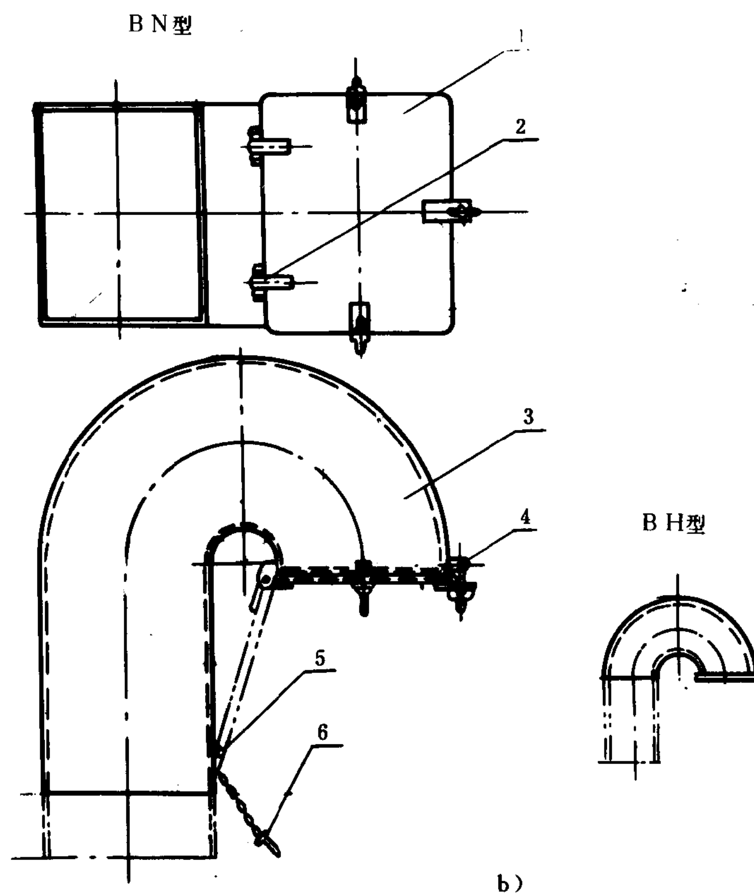


图7.5.3--37　鹅颈式风帽

b)B型　1—水密盖；2—铰链；3—筒体；4—螺旋夹扣；5—眼板；6—带舌插销

6.2.3　送风头(见表7.5.3—9)

表7.5.3—9　**船用通风送风头**

名　　称	使用场所	标准号	图　　号
1)转动喇叭式送风头	机炉舱	CB459－66	图7.5.3—40
2)导向转动式布风器	机炉舱	CB446－65	图7.5.3—41
3)旋转式布风器	居住舱室	CB460－66	图7.5.3—42
4)球形空气分配器	居住舱室	CB447－65	图7.5.3—43
5)固定式带网锥形出风口加开 {圆形 {矩形{带法来的 不带法来的	机炉舱，居住舱室	圆形CB715－68 矩形CB458－66	图7.5.3—44(a) 图7.5.3—44(b) 图7.5.3—45

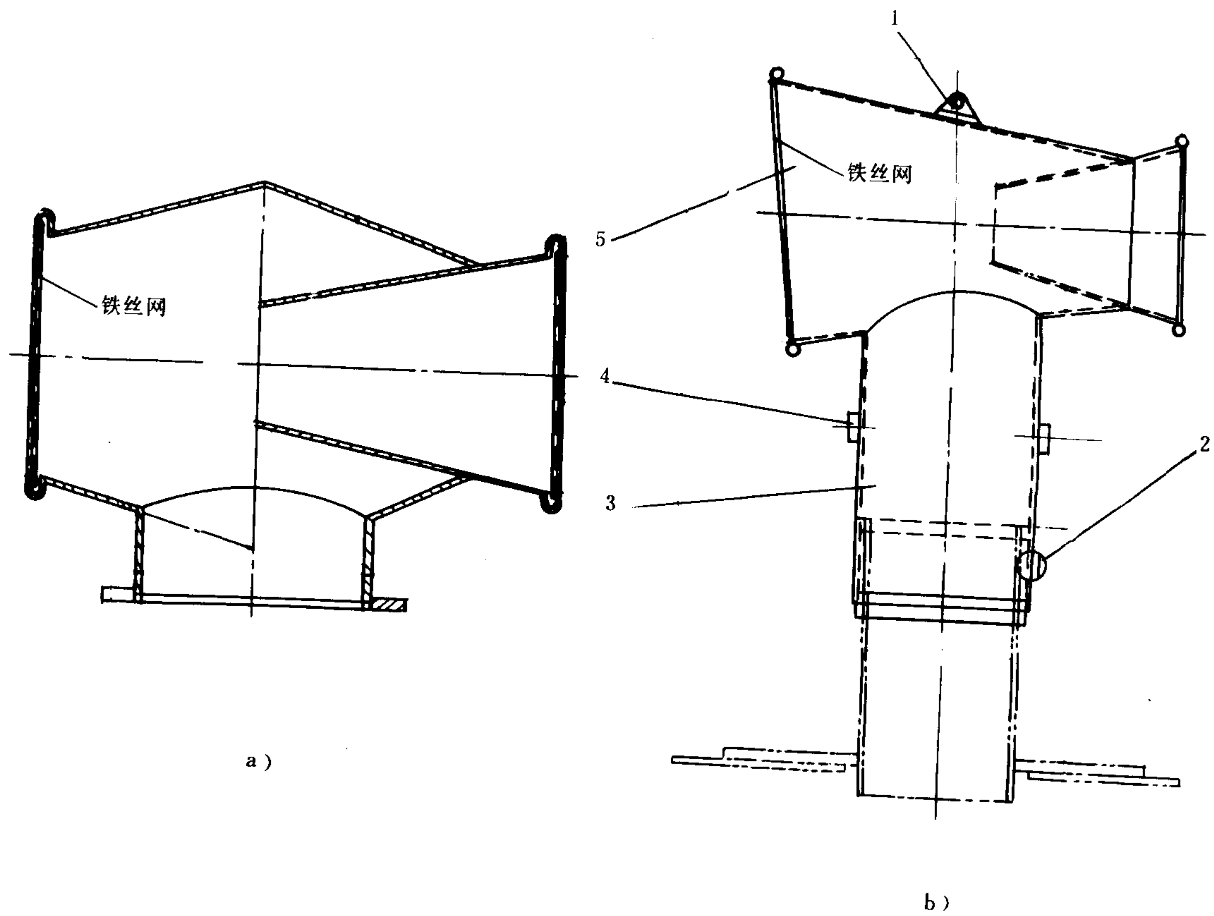


图 7.5.3—38 抽逐式风帽

a)固定式 A 型

b)回转式 B 型 1—吊环;2—制动器;3—风管;4—拉手;5—风帽

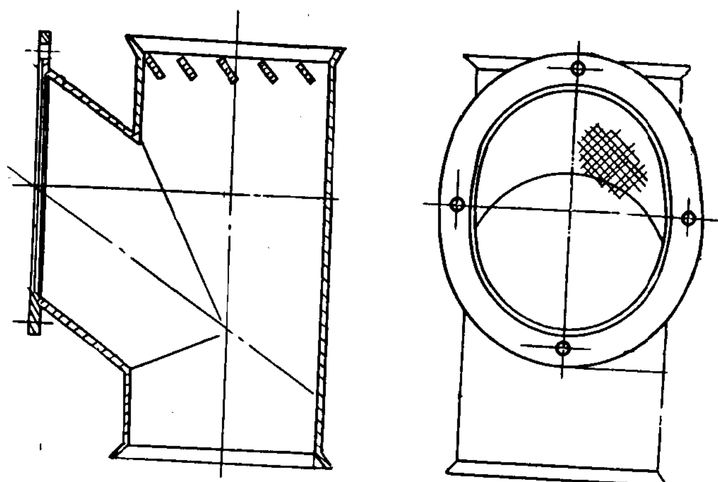


图 7.5.3—39 虹吸式风帽

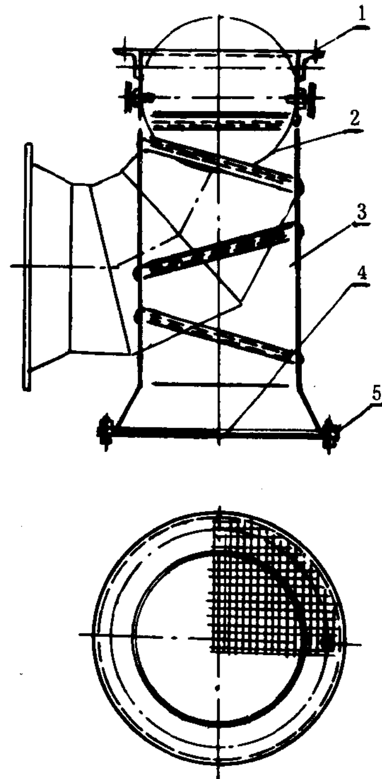


图 7.5.3　40　转动喇叭式送风头

1—连接角铁；2—调风板；3—本体；

4—钢丝网；5—螺钉螺母

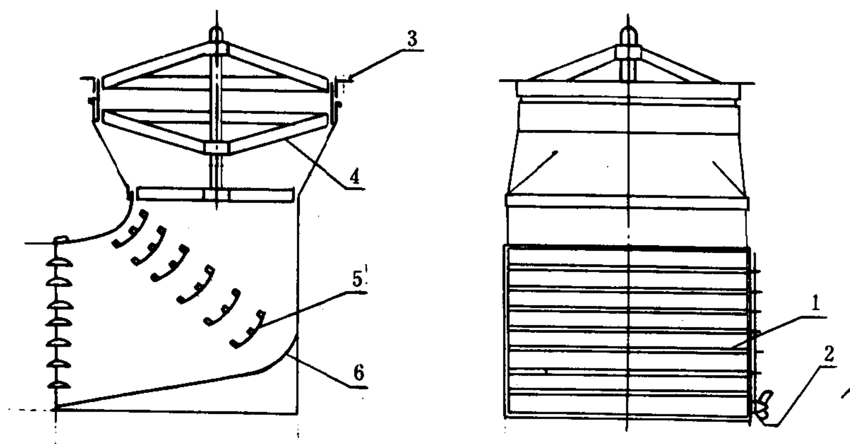


图 7.5.3—41　导向转动式布风器

1—活动叶片；2—开闭把手；3—法兰；

4—支架；5—固定叶片；6—布风口

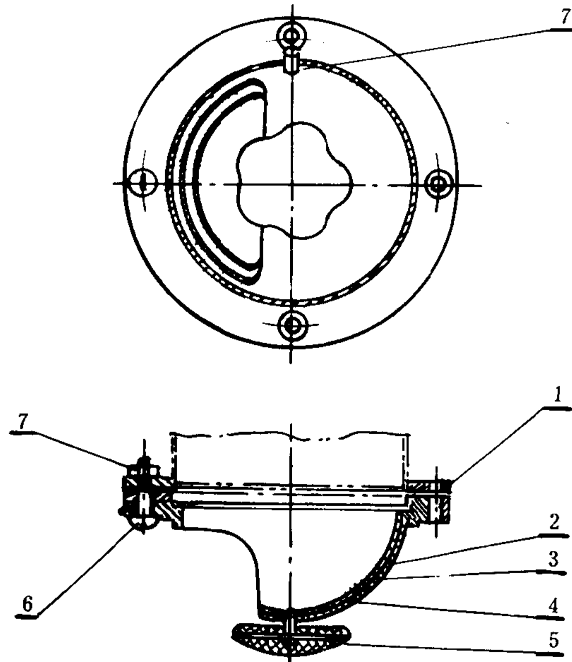


图 7.5.3—42 旋转式布风器

1—法兰；2—内半球体；3—衬垫；4—外半球体；5—手轮；6—螺栓；7—螺母

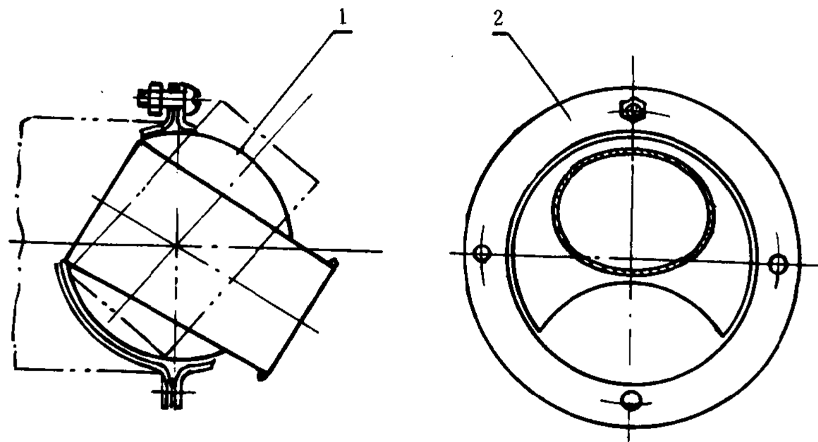
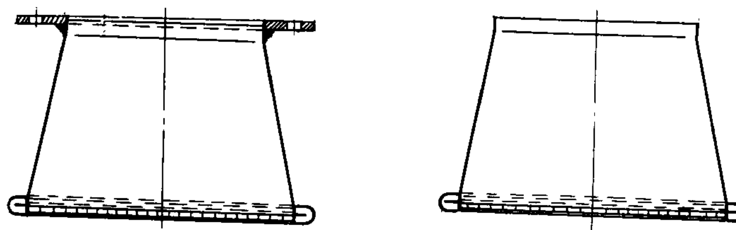


图 7.5.3—43 球形空气分配器

1—内半球体；2—外半球体



a）

b）

图 7.5.3—44 圆形固定式带网锥形出风口

a)圆形带法兰的(A 型)；b)圆形不带法兰的(B 型)

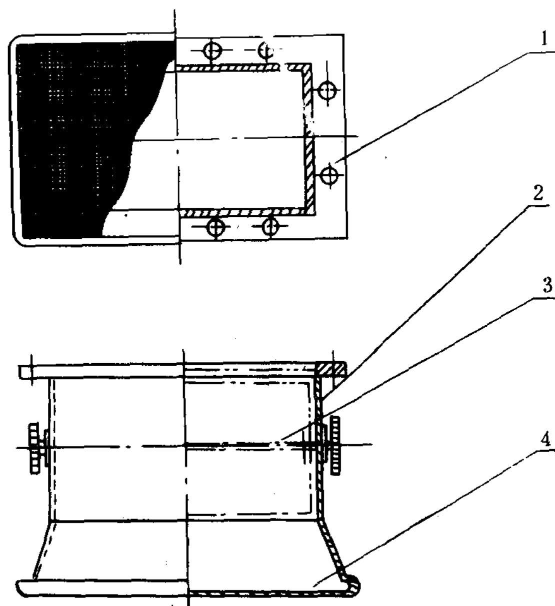


图 7.5.3 45 矩形固定式出风口

1—矩形法兰;2—本体;3—调风板;4—钢丝网

6.2.4 风栅(见表 7.5.3—10)

表 7.5.3—10 **船用通风栅**

名　　称	使用场所	标 准 号	图　号
1)槽式风栅	居住舱室	CB462—66	
A 型直槽式通风栅			图 7.5.3—46
B 型圆形通风栅			图 7.5.3—47
C 型横槽式通风栅			图 7.5.3—48
D 型带导风片直槽式通风栅			图 7.5.3—49
2)矩形线网式风栅	居住舱室	CB710—68	
A 型固定线网式			图 7.5.3—50
B 型调节线网式			图 7.5.3—51

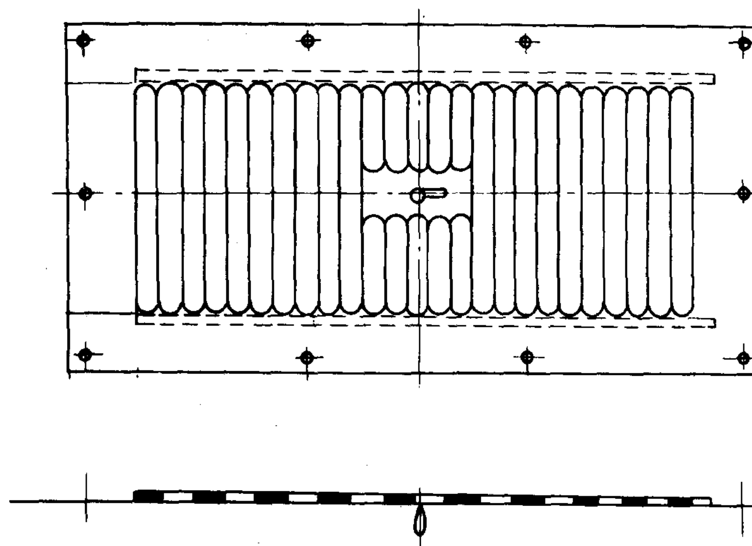


图 7.5.3 46 A 型直槽式通风栅

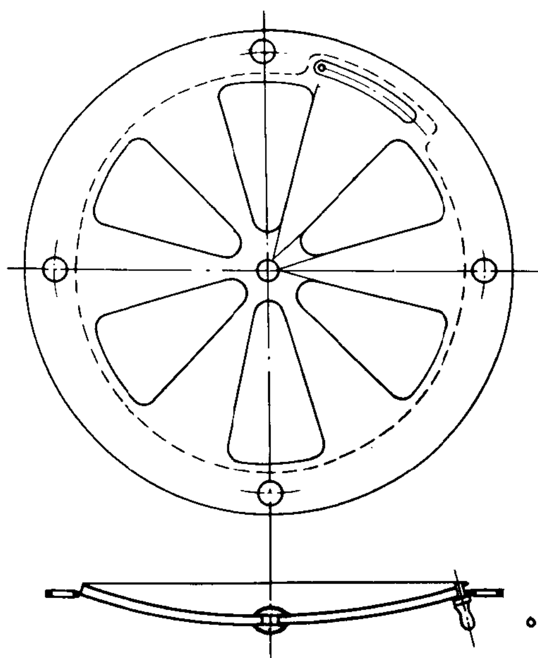


图 7.5.3--47　B型圆形通风栅



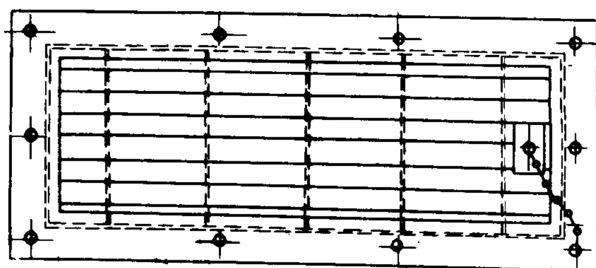
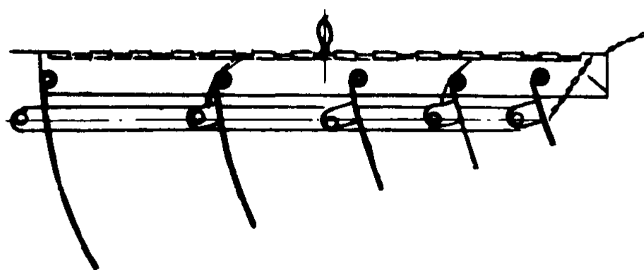


图 7.5.3--48　C型槽式通风栅



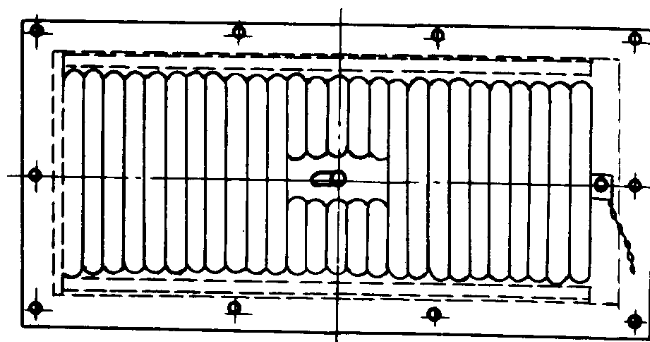


图 7.5.3--49　D型带导风片直槽式通风栅

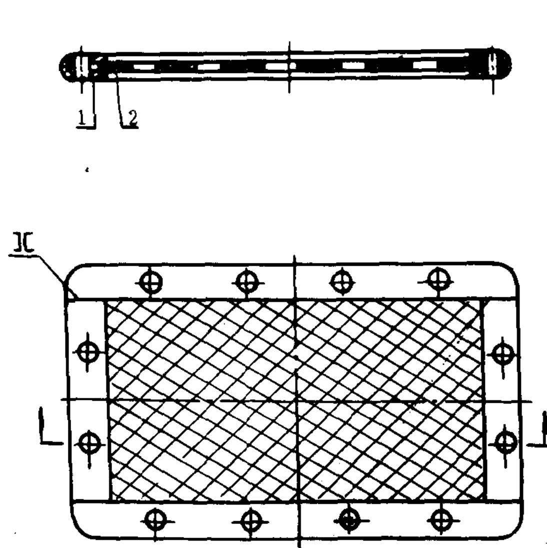


图 7.5.3—50　A 型固定线网风栅

1—边框；2—铅丝网

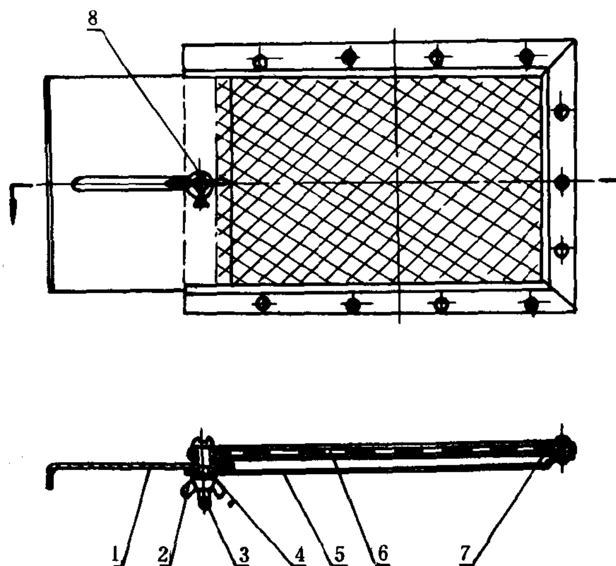


图 7.5.3—51　B 型调节线网风栅

1—调节板；2—翼形螺母；3—螺栓；4—垫圈；5—边框；6—铅丝网；7—U 形夹；8—开口销

6.2.5　风闸(包括调风门与通风闸阀，见表 7.5.3—11)

表 7.5.3—11　**船用调风门与风闸**

名　　称	使用场所	标 准 号	图　号
1)A 型圆形调风门	圆形风管调节风量	CB463—66	图 7.5.3—52
2)矩形调风门			
(1)A 型手柄式调风门	矩形风管中间部位及出口端	CB458—85	图 7.5.3—53
(2)B 型拉环式调风门	矩形风管中间部位及出口端	CB458—85	图 7.5.3—54
(3)C 型铰链式调风门	矩形风管出口端	CB458—85	图 7.5.3—55
3)密封调风门	圆形风管	CB524—67	图 7.5.3—56
4)通风闸阀	圆形风管	CB628—67	图 7.5.3—57
5)通风直角截止阀	风管转角处	CB579—67	图 7.5.3—58

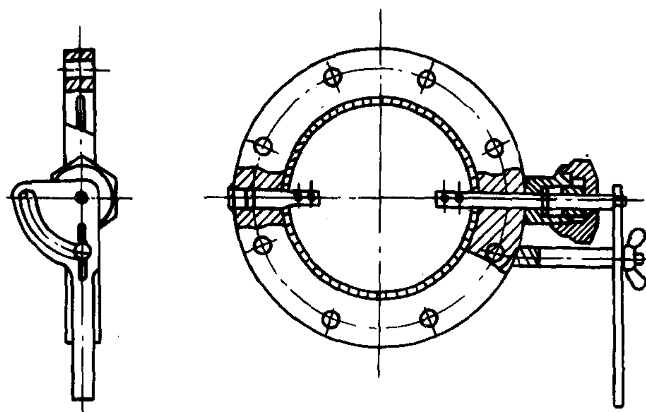


图 7.5.3—52　A 型圆形调风门

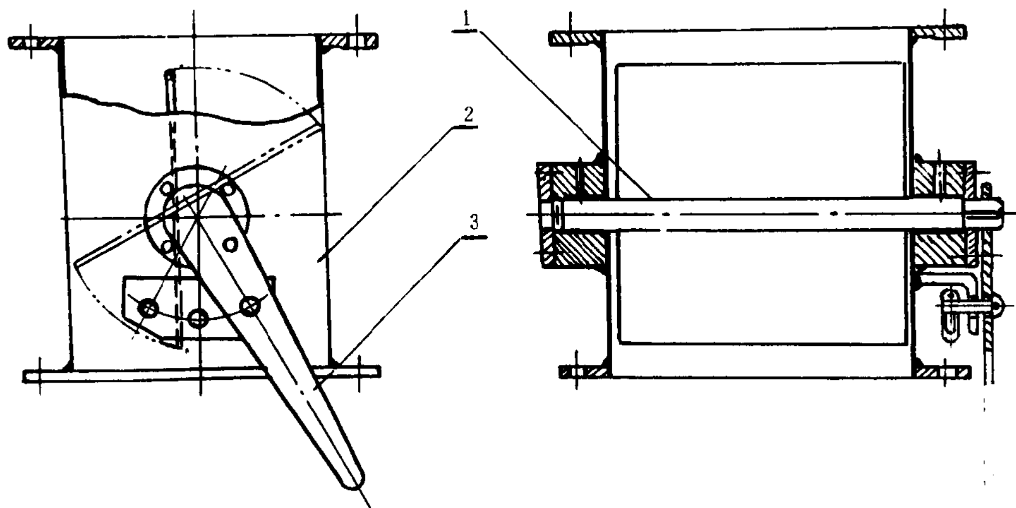


图 7.5.3—53　矩形 A 型手柄式调风门

1—轴与风板；2—本体；3—手炳

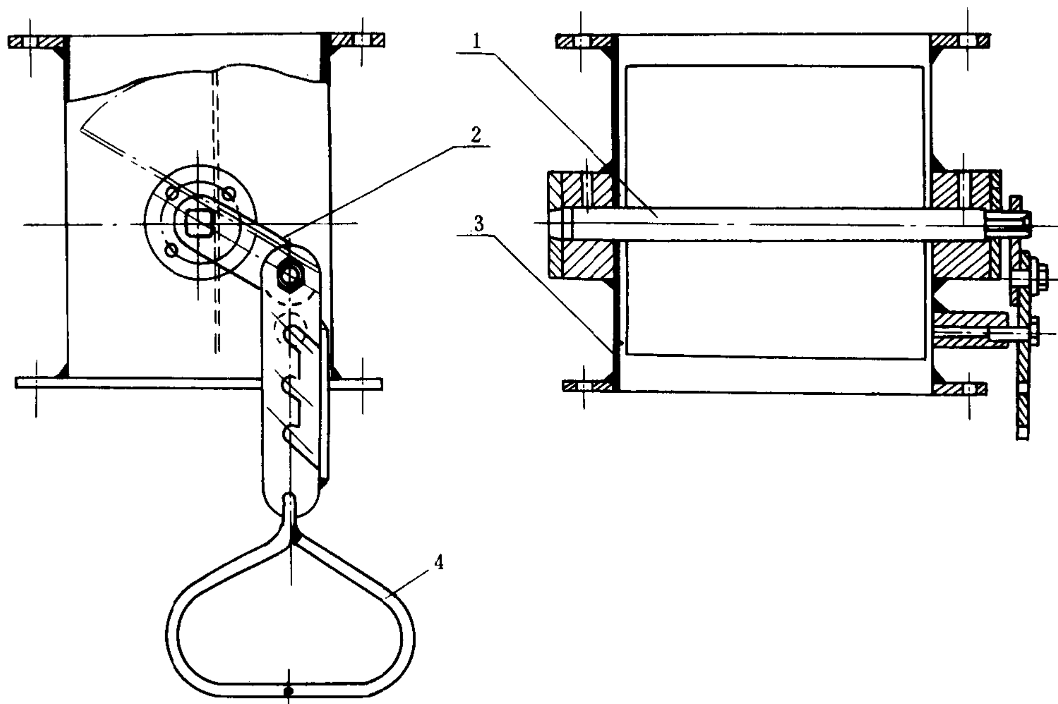


图 7.5.3—54　矩形 B 型拉环式调风门

1—轴与风板；2—连板；3—本体；4—拉环

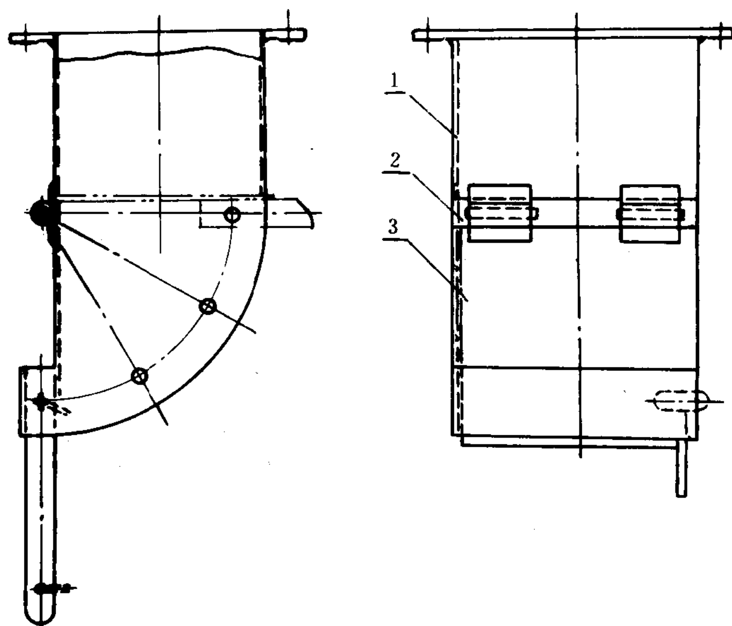


图 7.5.3—55 矩形C型铰链式调风门

1—本体；2—铰链；3—风板

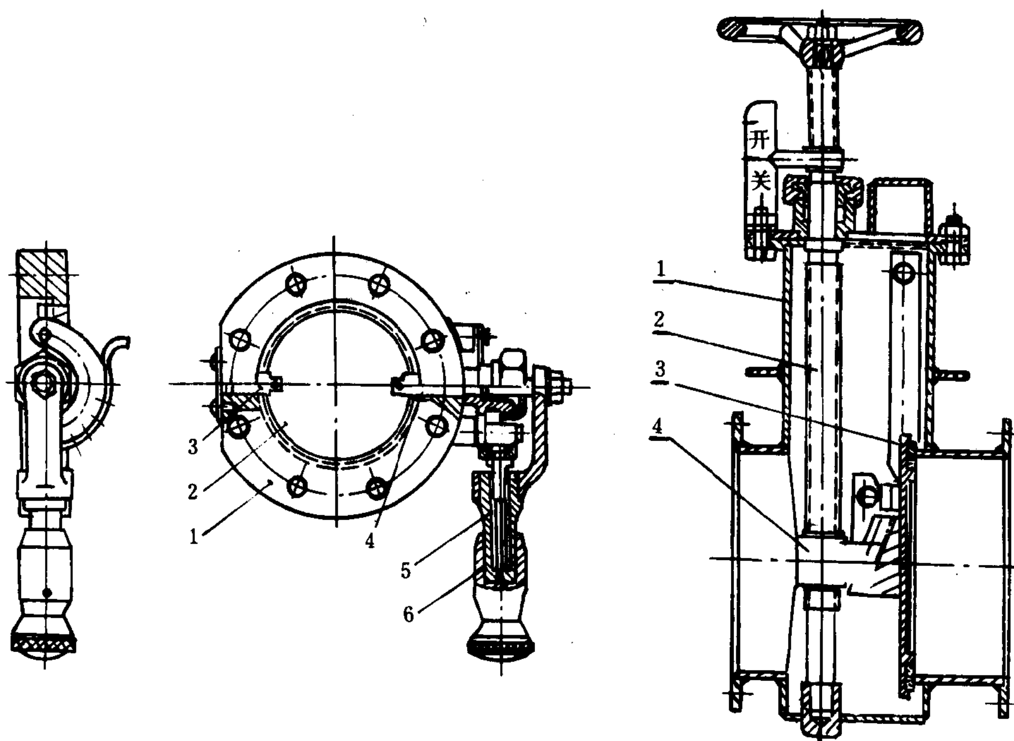


图 7.5.3—56 圆形密封调风门

1—本体；2—调风门；3—轴；4—手柄轴；

5—杯形套筒；6—制动手柄

图 7.5.3—57 圆形通风闸阀

1—阀体；2—阀杆；3—阀盘；4—螺纹楔

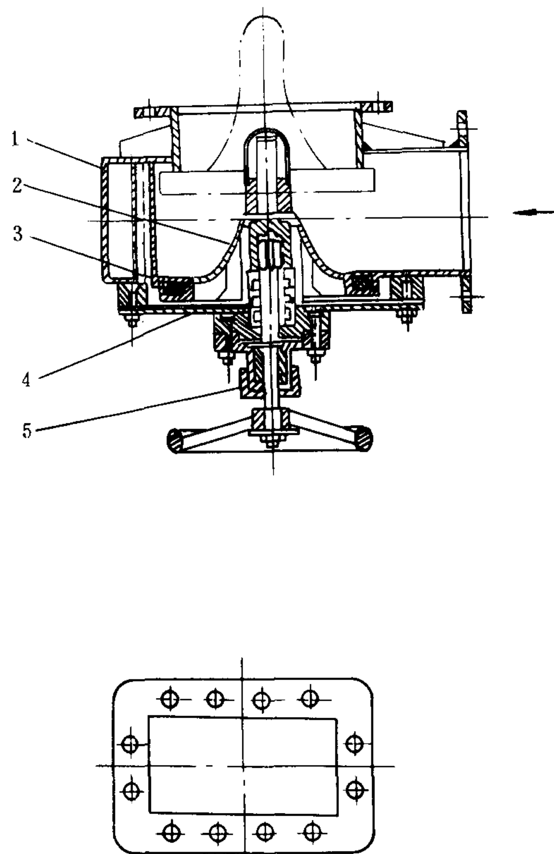


图 7.5.3 58 通风直角截止阀

1—阀体；2—阀盖；3—密封橡皮；4—导杆；5—阀杆

6.2.6 风管及其附件的试验与维修保养

1)装有密封装置的通风附件，装配后须进行水压试验，其水压试验要求可见表 7.5.3—12，试验持续时间为 5min

表 7.5.3 -12 **通风附件密封试验**

组别	附 件 组	附件名称	试验压力(MPa)		
			强度试验 Pa	密封性试验 P_m	
			本体	截止部分	密封处
1	水密和气密附件	直角截止阀	0.15	0.1	0.1
		闸阀	0.15	0.1	0.1
		水密、气密盖	—	冲水试验	—
		菌形风帽	—	冲水试验	—
		鹅颈式风帽	—	冲水试验	—
2	装有密封装置的非气密附件	有填料函的通风门	—	—	0.005

2)装有密封装置的通风附件进行冲水试验的要求为：冲水喷嘴直径不小于 16mm，向上喷水的高度，不低于 10m，冲水距离不大于 3m，冲水后检查，无水珠或水渍为合格。

3)通风风管附件的开关，升降或旋转部分的动作，应保持灵活。磨擦部分如轴承等，应每隔半年注入油脂。螺纹部位、应涂润滑脂，以防生锈。

4)风管附件每年在修船前，应全面检查，如发现缺陷，应及时修补消除。附件经修补后，须

重新作试验，其试验压力应比第一次加大20%。在第二次试验中，若再发现缺陷，则该本体应报废。

5)风管附件强度试验，应在涂上防护层或装饰层(镀锌、氧化等)前进行。

6)风管附件应每年涂防锈漆与色漆，涂漆前应除锈。

7 船舶通风系统的测试

新造船舶或对船舶通风设备与附件更换过后，应在交船前进行通风系统的测试，其目的为确保舱室通风的可靠性，并检查系统工作和安装质量是否符合施工质量和有关技术要求。

船舶通风系统测试系，一般在系泊试验时进行。至于通风效果，如湿度场与速度场的测定，则应在船舶航行时进行，以符合实际情况。

通风系统性能试验：

1)试验项目：

(1)电动通风机在运转时的电压、电流，转速及启动电流等；

(2)通风机进、出口的风压和风量；

(3)每个出风口的通风量；

(4)机、炉舱主要工作地点的温度；

(5)各舱室的温度和相对湿度；

(6)舱外空气温度和相对湿度；

(7)舱室内空气的压力与流速。

2)通风系统的风量允许有10%以内的误差。各参数的测试方法参阅本篇第2章。

第 4 章　船舶加热系统和干燥装置

1　船舶加热系统

船舶加热系统，不仅用于液货船的货舱加热，如油轮、化学品船的液货舱加热；也用于机舱动力装置系统的各种加热容器、舱柜和加热器等，如燃油系统的燃油舱与燃油加热器等；而且还用于生活取暖系统，在寒冷季节时以保持舱室的一定温度，改善船员与旅客的居住条件。

船舶加热系统的工质，传统的是采用蒸汽或热水，因为水是取之不尽的便宜工质，在蒸汽动力装置的船舶上，蒸汽更容易就地取得。但近年来有一种以油液作为工质的热油加热系统，由于该系统的优越性与成熟经验，已逐步在船舶得到广泛使用。

船舶加热系统按用途的不同可分为生活取暖系统、液货舱加热系统和动力装置的加热系统。按工质的不同可分为蒸汽加热系统与热油加热系统。

1.1　船舶蒸汽加热系统

蒸汽加热系统通常采用饱和蒸汽，但有时将船舶主锅炉产生的有较高热焓的过热蒸汽通过一次或二次减压到 0.3～0.5MPa 来使用。

有关液货舱加温系统，可参阅本卷第 7 篇第 6 章内容。现介绍生活取暖系统如下：

1.1.1　蒸汽生活取暖系统

按蒸汽管与排气管的布置，可分为双管和单管系统两种。

1）双管式蒸汽取暖系统，是一种传统的布置方法，蒸汽管与排气管分为二根干管，见图 7.5.4—1

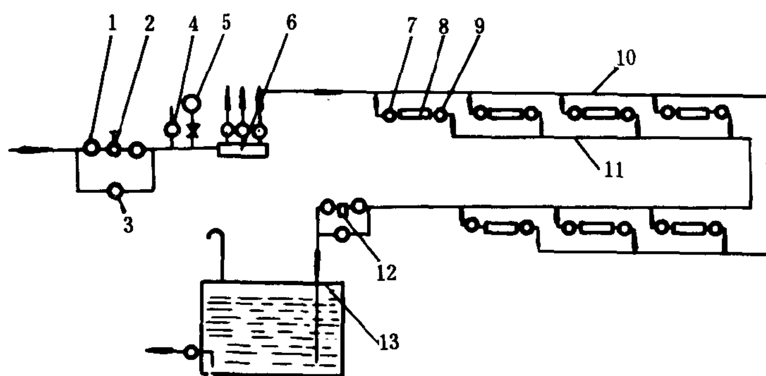


图 7.5.4—1　双管式蒸汽取暖系统

1—截止阀；2—减压阀；3—旁通阀；4—安全阀；5—压力表；6—分配箱；7—针形阀；8—散热器；9—阻汽器；10—蒸汽总管；11—排气总管；12—总阻汽器；13—热水井

蒸汽生活取暖系统采用饱和蒸汽，其压力一般不应超过 0.2～0.3MPa。由于锅炉蒸汽压力较高，故在蒸汽总管上设有减压阀，为防止减压阀失灵，在减压阀后面还设有安全阀，保证安全。

为便于检修减压阀，在减压阀两侧装截止阀和并联旁通阀。当检修时，调节旁通阀也可控

制汽压暂时维持使用。

双管式管路布置时，应考虑冷热胀缩因素在直管路中设置膨胀接头；蒸汽与排气管路，均应包扎绝热材料，以减少管路热损失及防止烫伤。管路应避免通过报房、广播室、油漆间、灯具间、煤舱及易燃物品贮藏室等。管路中在隔一定距离的最低处，须设放水阀。排气管路的终端装有阻汽器，以提高热的利用。

2)单管式蒸汽取暖系统，单管式的工作原理主要是在管路中设有抽逐接头，见图 7.5.4—2。

图 7.5.4—2　蒸汽抽逐接头

1—蒸汽进口；2—进散热器；3—散热器出口；4—蒸汽出口

散热器的进汽管装在抽逐接头前端，散热器的排气管接在抽逐接头的喷嘴处，当蒸汽经过喷嘴时，流速增加，压力下降，在喷嘴周围形成低压区，散热器内的蒸汽就被抽出。

单管系统的优点是管路简单、重量轻、投资少，缺点是效率不高。特别是管路后端的散热器，其蒸汽已杂有部分凝水，影响散热效果，所以每组管路所设置的散热器数量相应比双管式少。单管式的终端有时可不装阻汽器，仅装截止阀，调节截止阀可控制凝水量，以达到后部分的散热器也能发挥热效果。其管路布置可见图 7.5.4—3。

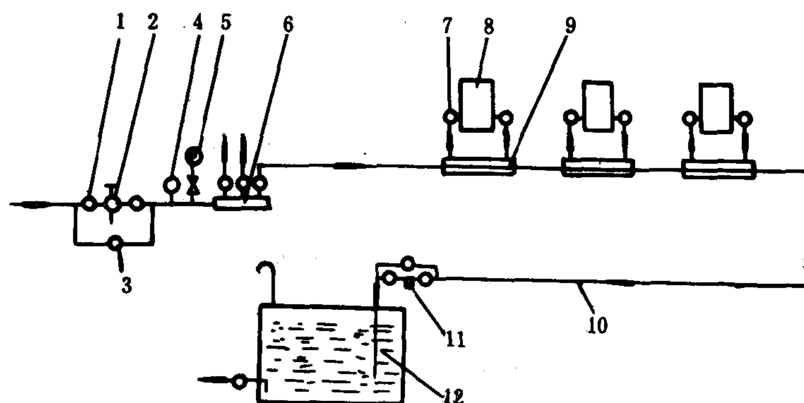


图 7.5.4　3　单管式蒸汽取暖系统

1—截止阀；2—减压阀；3—旁通阀；4—安全阀；5—压力表；6—分配箱；
7—针形阀；8—散热器；9—抽逐接头；10—蒸汽管；11—阻汽器；12—热水井

1.1.2　蒸汽生活取暖设备

1)散热器：散热器在相同散热面积下，应力求减小其外形尺寸和重量，常用的散热器有两种：柱式和肋片式散热器。

(1)柱式散热器：通常用铸铁或铝合金制成，见图 7.5.4—4。

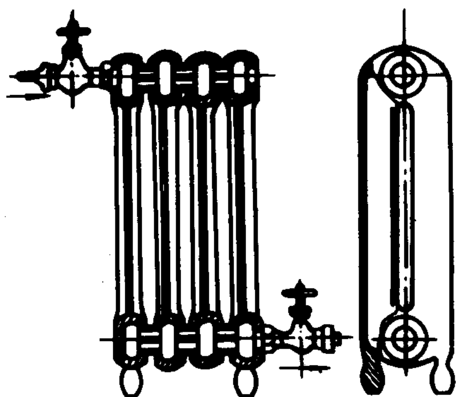


图 7.5.4—4　柱式散热器

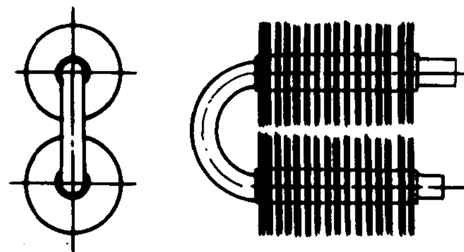


图 7.5.4—5　肋片式散热器

散热器的每一根柱做成可拆卸式，因之可根据需要配置成不同柱数的散热器。它大都用在餐厅或休息室等公共场所。

(2)肋片式散热器：是在钢管上套装圆形或方形肋片的散热器，见图 7.5.4—5。

肋片亦有作成螺旋形，肋片的间距约为 10～15mm，钢管可做成 U 形，亦可根据需要配置成连续 U 形的散热器。它大都用在居住舱室。

2)阻汽器：为充分利用汽化潜热，使蒸汽在散热器内全部冷凝成水后再排出，因而在系统的排气管出口处装有阻汽器，仅使凝水排出而阻止蒸汽排出。有关阻汽器形式、规格等见本卷第 1 篇第 2 章。

1.1.3　蒸汽生活取暖系统的维修保养

1)启用前的维护工作：生活取暖系统都在冬季使用，每年启用前应进行维护，以保证系统的正常使用。

(1)应仔细检查蒸汽减压阀动作是否正常，减压阀后压力应保持 0.2～0.3MPa，减压阀后的安全阀应进行压力试跳一次。

(2)检查各截止阀开关及阀的填料漏水、漏汽情况，并进行检修。

(3)拆检各阻汽器并清除内部脏物。

(4)检查进、排汽管系各接头处有否漏水、漏汽，特别注意穿过甲板的管子，有否因腐蚀而漏水、汽。管系绝热损坏时，应重新包扎。

(5)开启使用时，应先将排气阀全部打开，然后稍稍开启蒸汽阀，对系统进行缓慢加热(避免开汽过急，形成水击)。并检查各分路管子温度，倘温度不上升，须进行疏水或修理阻气器。

2)使用时维护工作：

(1)应随时注意减压阀后工作压力不应超过 0.3MPa。

(2)各舱室取暖温度的调节，应通过散热器进汽阀调节，切勿关闭排气阀。

(3)如在管系中某一段部位经常漏水、漏汽，则应考虑其局部膨胀，须加装伸缩接头或 Ω 管。

(4)阻汽器的动作灵活与否，影响节能与使用效果，应多加注意。

1.2　船舶热油加热系统

热油加热系统以油液作为工质，在热油锅炉(Heat Transfer Oil Boiler)或热油加热器(Thermal Oil Heater)中加热到一定温度，然后通过热油泵强制循环，送到各加热用户，将热量

传给被加热工质后，又回到热油锅炉，这样循环形成加热系统，如图 7.5.4—6 所示。

1.2.1 热油加热系统的优缺点

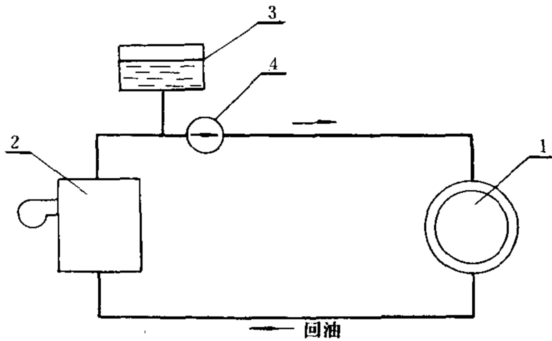


图 7.5.4—6 热油强制循环系统示意图

1—用户加热器；2—热油锅炉；3—膨胀柜；4—热油循环泵

1)热油加热系统的优点：

(1)热油锅炉压力低，结构简单，安全附件少，造价较低，投资少，能适应多种燃料。

(2)热油系统的压力甚低，仅为克服管系阀件的阻力，故若温度超过 300℃时也不必加压，这是工质油液的特性决定的。由于系统压力低，故不必遵守压力容器安全规范，由此，系统的设备费用低，重量轻。

(3)系统的维护保养工作简单，不需要如一般蒸汽锅炉那样进行炉水化验、除氧、水质软化等水处理，管系内壁无腐蚀，能全自动无故障地工作，起停迅速而无冻结危险，在寒冬时选用合适的热油仍能安全起动。

(4)系统的加热、冷却过程使用同一工质。由于热油温度高，与被加热工质的温差大，换热面积相应减小，可以较容易地通过热交换来产生蒸汽或热水，或传递热量。

(5)加热系统对低于热油温度的任何加热温度及其控制精度均可满足，无汽液相的转变，控制精度高，如采用二次回路控制或 PI 温度调节，其精度可达±1℃，控制质量甚高。

2)热油系统的缺点：

(1)工质——热油的初投资成本高，进出口温差大，热传导系数较低。

(2)热油温度超过 380℃左右时，其热稳定性差，易氧化分解，并开始汽化，这种情况可用氮气来隔绝氧气。

(3)热油万一泄漏不但会烫伤人员，更有火灾的危险性，为此虽然系统压力不高，但仍必须有严格的工艺要求，系统的安装，尽可能减少万一漏泄的危险。

1.2.2 热油工质的要求与特性：

1)对热油工质的要求：

(1)大气压力下有高的沸点和低的固化温度。

(2)要求热油有高的热力稳定性和好的热传导特性。

(3)在温度全程范围内低的粘度，包括起动状态时也有低的粘度。

(4)杂质化的敏感性低，安定性好，如不易氧化。

(5)对系统设备的材料的腐蚀性低。

(6)无毒、无味、火灾危险性少，漏泄时对周围的危害性少。

(7)要求售价低，使用寿命长。

(8)废液容易处理而不污染。

2)热油工质的主要特性：

热油工质有二种：

1)矿物油基热油：这是一种真空蒸馏并精炼的高质量矿物油，无氮气加压时其最高允许液体温度为 300℃，由蒸发分馏的油液不能用作工质。

2)合成有机基热油：这是由不同油工质的合成混合物，其使用温度可比矿物基热油为高，液体温度范围广，可在 0～400℃中使用。

各石油公司均有自己的热油牌号。有的石油公司既供应矿物油基热油，也供应合成有机基热油。不同牌号的热油，其特性往往有很大差别，不同温度时，其特性相差甚大，如密度、粘度、比热、导热系数等，因此，在系统设计前有必要了解热油的有关特性。

通常矿物油在380℃左右时即强烈分解，并开始汽化，因此最高允许油液温度一般为：页岩基油200～330℃，石蜡基油340～360℃。

最高允许油液工作温度在无保护气体的工况下比最高允许油液温度低10～30℃。

一些船级社对热油的油液温度有所要求，如GL规范规定最高油液温度与裂解温度之安全差值约为50℃。并要求按德国标准DIN4754进行最高油液温度的计算并提交审查。同时规定热油的使用寿命至少为1年。

许多国家的造船规范对船用热油工质加热温度规定不应超过220℃，这就对船用热油温度作了规定。进出油温差一般取40℃左右。

表7.5.4—1列出德国的石油公司的部分热油产品的主要特性参数。

BP Thermol热油的温度与粘度、密度、比热、传热系数的曲线，可见图7.5.4—7，图7.5.4—8，图7.5.4—9，图7.5.4—10。

表7.5.4—1　**德国石油公司的部分热油产品主要特性参数**

特性参数名称		油品牌号 / 单位	THERM ELFETA 32	ARAL WTS	BPTrans Cal65	SheLL Tharmia OiL11	TEXA COEterna CTI	GiLO therm OMD
油种				页岩基	石蜡基	页岩基	石蜡基	合成油
使用下限	最低起动温度 300mm²/S	℃		2	−3	−35	5	21
	最低工作温度 5mm²/S	℃		93	103	38	110	75
使用上限	最高允许油液温度	℃	300	300	320	250		400
	最高允许液膜温度	℃	320	330	340	280	320	430
密度　20℃		kg/m³	855～865	911	862	889	874	1071
200℃		kg/m³		796	754	776	757	930
粘度　40℃		mm²/s	30～34	30	29	48	40	19.4
200℃		mm²/s		1.0	1.4	0.65	1.4	0.7
流动点		℃	≤−15	−38	−15	−54	−12	20
常压下沸点		℃		333	370	265	360	274
闪点		℃	≥230开式	165	220	125	210	130
着火点		℃	≥240					500
酸值		KOHmg/g	0.01	0.01	0.01	0	0.05	
残渣		%	0.1	0.04	0.02	<0.01	0.01	

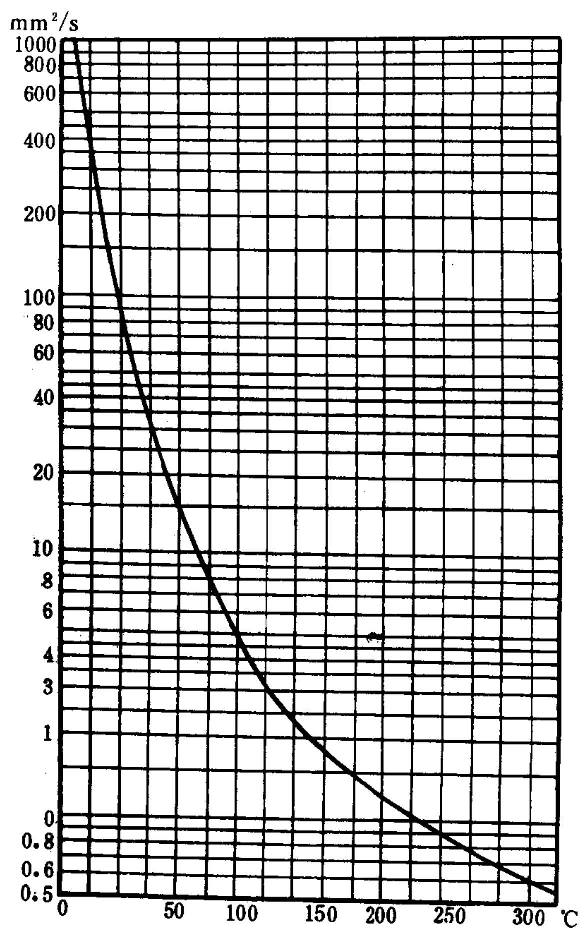


图 7.5.4—7　BP—THERMOL 热油的粘度—温度曲线

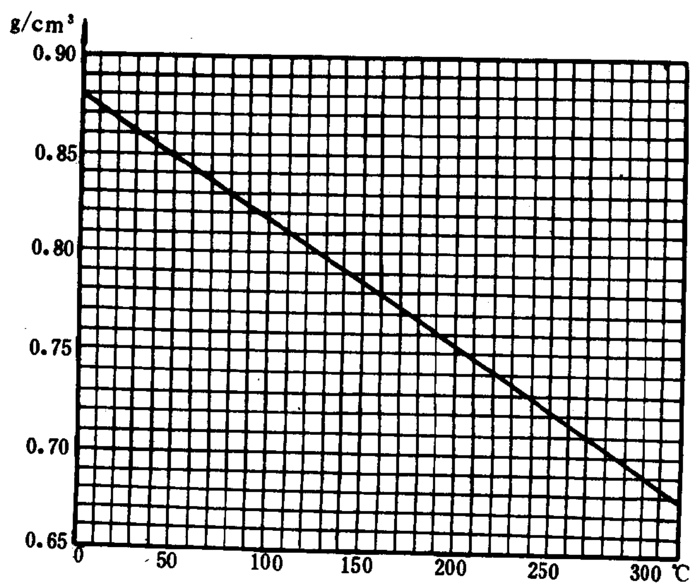


图 7.5.4—8　BP—THERMOL 热油的密度—温度曲线

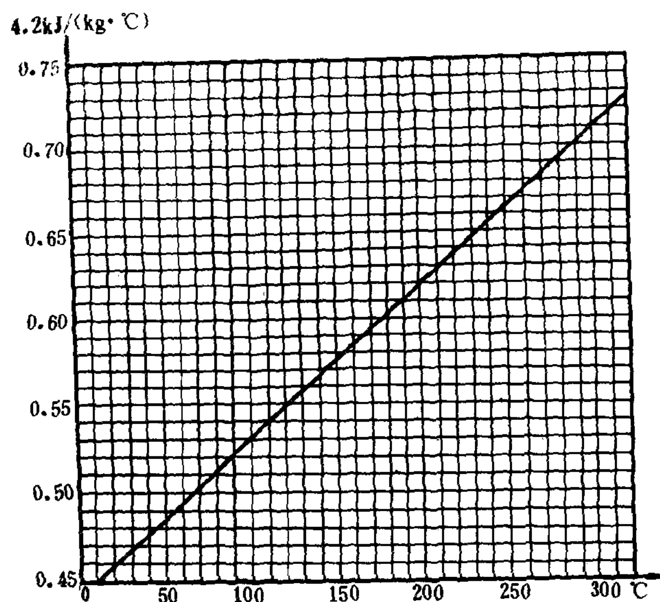


图 7.5.4—9 BP—THERMOL 热油的比热—温度曲线

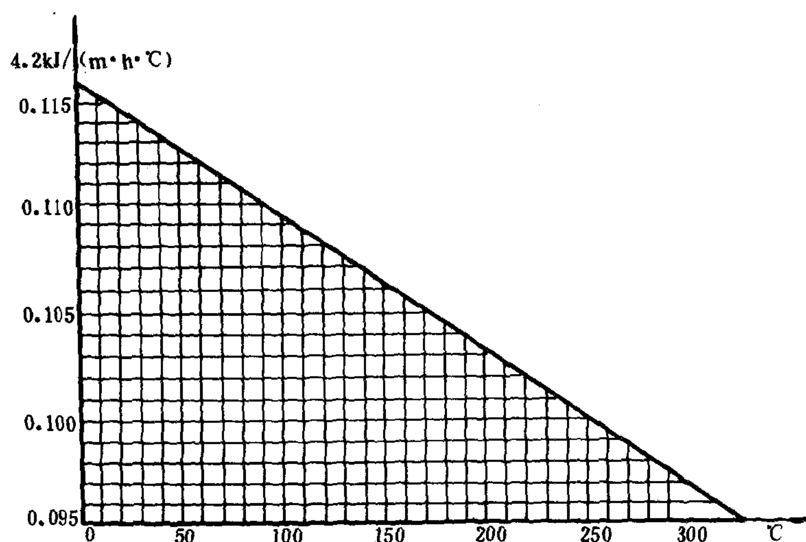


图 7.5.4—10 BP—THERMOL 热油的传热系数—温度曲线

1.2.3 热油加热系统的型式

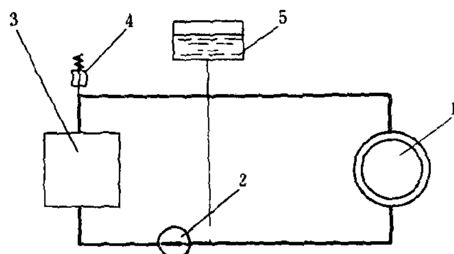


图 7.5.4—11 热油泵在回油管路上的强循环系统

1—用户；2—热油循环泵；3—热油锅炉；4—安全阀；5—膨胀柜

船用热油加热系统大多为强制循环型式。热油循环泵将热油锅炉加热后的热油送到用户热交换器传递热量后，再回到热油锅炉加热。系统中还设置膨胀油柜，集油柜，除气器和附件、仪表、电气控制等。热油加热系统可按其不同要求，设计成不同系统。

热油加热系统可分成单循环与双循环二种：

1)单循环热油加热系统：该系统可将热油循环泵设在出油管路上，如图 7.5.4—6 所示；也可将热油循环泵设在回油管路上，如图 7.5.4—11 所示。后者的优点是泵内热油温度较低，轴承密封不易渗漏，但热油锅炉的出口

应装置安全阀。

热油锅炉在系统内可设一台或多台；可以串联、并联，也可各自单独工作。图 7.5.4—12 所示为双热油锅炉并联，循环泵在回油管路中的系统。图 7.5.4—13 所示为双热油锅炉并联，循环泵在出油管路中的系统。

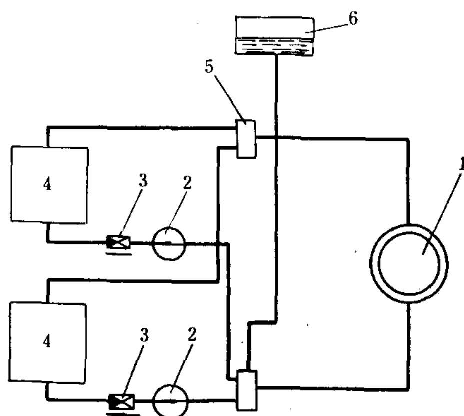


图 7.5.4—12 双热油锅炉并联、泵在回油管路中的系统

1—用户；2—循环泵；3—止回阀；4—热油锅炉；5—集油管；6—膨胀柜

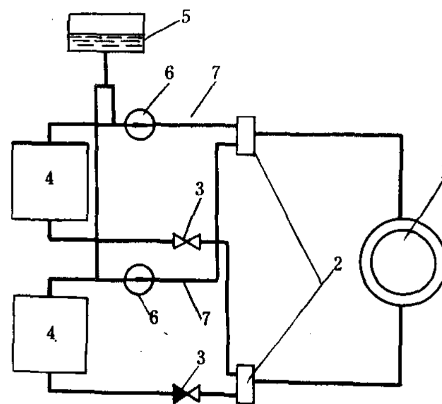


图 7.5.4—13 双热油锅炉并联，泵在出油管路中的系统

1—用户；2—集油管；3—截止阀；4—热油锅炉；5—膨胀柜；6—循环泵；7—止回阀

2）双循环热油加热系统：该系统有两个循环泵，多设在热油锅炉侧与用户侧，由热油锅炉侧的初始循环和用户侧的二次循环所组成，两个循环在混油管或容器中衔接。此系统安全可靠，即使当用户循环停止工作时，热油锅炉仍可通过混油管保持循环，循环泵的排出压力不会升高，仍能维持低压运行，确保安全，如图 7.5.4—14 所示。图 7.5.4—15 所示为双热油锅炉并联，双循环系统图。

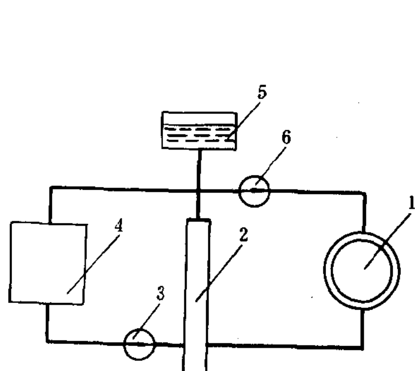


图 7.5.4—14 双循环系统图

1—用户；2—混油管；3—炉侧循环泵；4—热油锅炉；5—膨胀柜；6—用户侧循环泵

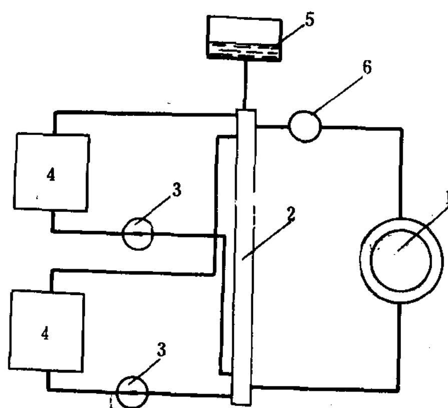


图 7.5.4—15 双热油炉并联，双循环系统图

1—用户；2—混油管；3—炉侧循环泵；4—热油锅炉；5—膨胀柜；6—用户侧循环泵

1.2.4 热油加热系统的主要设备

1）燃油热油锅炉：船用热油锅炉大都为燃油炉。热油锅炉有各种型式，按管群布置可分立式的和卧式的；按烟气的流程，则分为单流程、双流程和三流程三种。

热油锅炉的结构比较简单，由盘管受热面、进出集油管、燃烧器、外壳及绝热层、控制箱等组成。如图 7.5.4—16 所示为三流程立式热油锅炉。

炉内一般为螺旋形盘管受热面，盘管紧贴排列，形成烟气流道，见图 7·5·4—16，内层盘管的内侧为辐射——对流受热面，其余为对流受热面。由于烟道气流速度较高，具有自清作用，使传热面不易结灰，传热效果较好。加热盘管材料，按热油温度、管内壁温度及有关规范要求，为无缝炭素钢或低合金钢管。

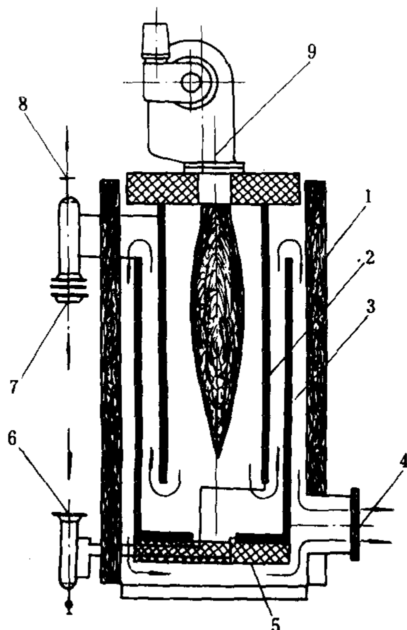


图 7.5.4—16 三流程立式燃油热油锅炉

1—外壳及绝热层；2—内盘管受热面；3—外盘管受热面；4—烟道出口；5—炉底绝热层；6—进油集管；7—出油安全阀；8—出油集管；9—燃烧器

由于燃烧火焰温度分布、炉膛内烟气流动速度、盘管内热油速度等等都是不均匀的，因此内、外盘管和不同部位的热负荷相差较大，所以盘管的热计算比较复杂。

炉钢壳外要有足够的绝热层，有的钢外壳做成夹层空气通道以预热空气，盘管穿过外壳时，须为无应力安装。热油进出口则汇集于集管。

热油锅炉热效率一般可达到 85%以上，据 KONUS 公司介绍，当采用空气预热器时，即使热油温度超过 300℃，效率亦可达到 90%。

2)燃油热油锅炉燃烧器：该燃烧器一般安装在圆柱形炉壳的一端板上，端板可拆卸。

燃烧器有两种：一种为压力式燃烧器，如 Weishaupt 燃烧器，它有单油头、双油头或三油头几种，其耗油量按工作油头多少叠加，仅适用于轻柴油。

另有双级式带回油调节的燃烧器，是依靠回油压力调节阀的开、闭以调节部分负荷——全负荷的油量。它能燃用 3500s (ReNO.1，37.8℃)燃料油。

对容量在 700kW 以下的小型锅炉，因为炉膛尺寸小，又缺少合适的燃料油燃烧器，一般均采用轻油燃烧器。

另一种为转杯式燃烧器，如德国的 SAACKE 和英国的 HAMWORTHY，该型燃烧器通过高速(约 6000r/min)旋转的转杯进行雾化，供油压力甚低，仅约 0.15～0.3MPa，燃用劣质渣油也无阻塞危险。

3)废气热油锅炉：有盘香管式和螺旋管式两种。目前柴油机的热效率甚高，尤其是低速重型柴油机，排气温度仅 230～250℃，且低负荷时更低，与热油温差甚小，为此一般采取加大传热面，适当降低热油温度，并与燃油热油锅炉串联工作以获得所需的热油温度。

如废气热油锅炉无旁通烟道，或虽有旁通但不能完全切断进入废气炉的废气时，在用户耗热不大时，热油温度可能超限，此时应将热油自动排入冷却器。万一控制失灵，油温继续超限，则应发出报警，及时降低主机负荷或停车。

废气热油锅炉应设集油池及泄漏报警。

4)热油循环泵：分容积泵和离心泵两种，较多使用离心泵。

由于输送高温易燃的热油，泵的材料应为球墨铸铁等韧性材料制造，端面须密封，并采用耐高温轴承，也有采用水冷却轴承。

在泵的进出口管路适当地位应设挠性接管或膨胀接头，以免管路胀缩使泵产生附加应力。

5)热油膨胀柜：其作用是使系统的热油能有效地膨胀、透气、补油、溢流；有时为了防止热油氧化，提高热油的汽化温度从而增加使用温度，可在膨胀柜内充氮，并保持 0.001MPa 微压。

膨胀柜的低油位应装在热油系统的最高点以上，主要为了补偿热油在冷热态下的容积差，并释放气、水分等。

膨胀柜一般不承受压力，其工作容积按德国标准 DIN4754 规定：当系统工作油量≤1000t 时，工作容积为热油冷、热态容积差的 1.5 倍膨胀量；系统工作油量＞1000t 时，则为 1.3 倍膨胀量；或按温度每增加 10℃，容积增加 1％估算。

有时为防止被加热介质渗入热油系统，也可采用氮气加压方法以提高整个系统的压力。

6)集油柜：其作用是供系统热油贮存、补充或容纳整个系统的泄油，因此其容积至少应大于系统的全部热油容积。集油柜一般无压力，应设置在系统的最低点以下，如船舶双层底内的适当部位。

7)热油冷却器：其功用是当热油温度超限时，通过自动控制三通阀，将热油进入冷却器冷却。用海水冷却的热油冷却器宜用钛合金传热管和管板。

8)旁通管路：热油系统的用户耗热负荷是变化的，随之对热油量的需要也要改变。为保持稳定的热油量通过热油锅炉，单循环热油系统中必须设置旁通管路。

旁通阀通常为流量或压力控制以改变旁通量的大小。旁通阀型式分电动三通阀、气动控制薄膜阀和液动控制阀三种，并为波纹管密封加填料函结构，万一失控则能维持原工作位置并可能立即转换成手动控制，并有明显的开度指示。后二种可用在有防爆要求的场所。

9)热油系统的自动控制：热油系统的各部分均为自动控制，并应满足规范对无人机舱的要求。其中包括：

燃油热油锅炉的燃烧过程全自动微机控制；

热油温度自动控制；

热油旁通管道的自动控制；

热油冷却器中热油量的自动控制；

热油循环泵的自动切换；

热油补油泵自动补油；

废气热油锅炉出油高温报警及自动降低主机负荷等；

其它必要的压力、温度、流量、液位等报警及各种安全保护等。

1.2.5 热油加热系统实例

中华船厂建造的 27000t 货船上设有热油加热系统，见图 7.5.4—17。该系统主要用作机舱和油舱及生活用水的加热热源

27000t 货船热油加热系统说明：

1)该系统有二台热油锅炉，具体规格如下：

(1)燃油热油锅炉：为立式、三流程盘管受热面，顶部燃烧器，型号为 THZO4

容量：	46.5kW
热油进出口温度：	180/220℃
热油循环量：	18～20m^3/h
受热面积：	21m^3
设计工作压力：	1MPa
热效率：	约 85％

外形尺寸：　　　　　　　　$\varnothing 1240 \times 1775$mm

热油炉顶部装转杯式燃烧器，型号：SKVS6 为调节式控制；油量在 25～42kg/h 之间可无级调节；可燃用柴油或 100%燃料油 3500s(ReNo.1，37.8℃)。

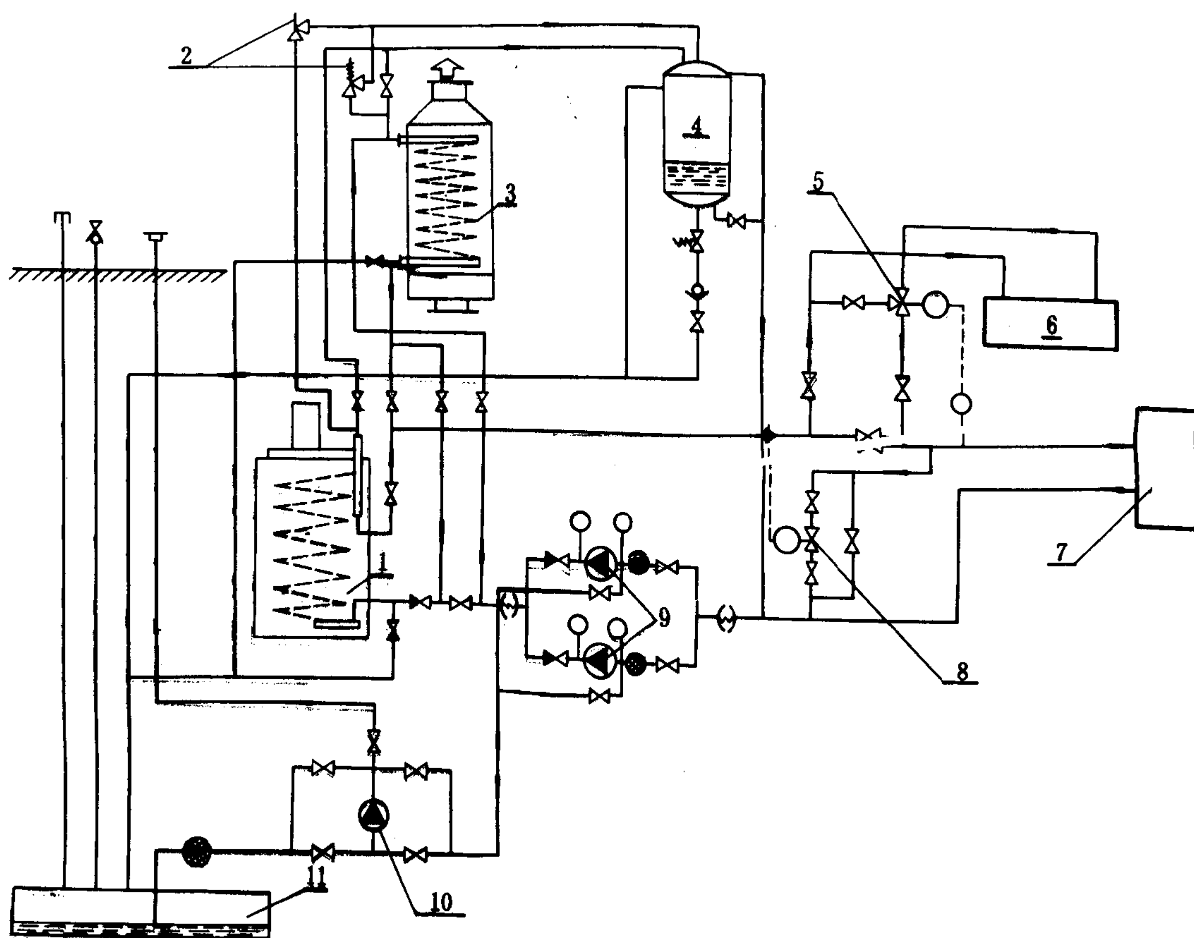


图 7.5.4 17　27000t 货船热油加热系统图

1—燃油热油锅炉；2—安全阀；3—废气热油锅炉；4—膨胀柜；5—热油温度自动控制三通阀；6—热油过热冷却器；7—用户；8—热油旁路流量控制阀；9—热油循环泵；10—热油补油泵；11—集油柜

(2)废气热油锅炉：型号 AKHT5—30—37BV

为立式 4 组加热盘管强制循环式

容量：	130kW
热油进出温度：	约 180/220℃
热油循环量：	$18m^3/h$
受热面积：	$71.4m^2$
废气量：	11700kg/h；237/193℃
加热管：	$\varnothing 42.4 \times 2.6$mm

二台热油锅炉可以串联/并联工作，也可以单独运行。

2)热油循环泵：型号 KSB—ETANORM SY—40—250 两台。该泵为非水冷式，端面密封，泵端外轴承采用石墨轴承，最高允许温度可达 350℃，与 11kW 电动机装在公共底座上。排量为 $18m^3/h$，排出压力为 0.785MPa。

热油循环泵两台可自动替换，泵设在系统的回油管路上。

3)热油膨胀柜：为一带封头的圆筒体容器，总容量约0.8m³，设有低液位报警，过低液位切断燃烧，高液位停止补油的液位继电器，及溢流、泄放、透气等管路。

4)热油冷却器系管型、卧式热交换器，以海水冷却热油。热交换量为150kW，当热油锅炉使热油温度超出上限时，通过热油温度自控三通阀自动排入冷却器。

5)热油旁路流量控制阀，为电动阀，阀杆为波纹管密封，由差压变送器控制。当用户负荷减小时，热油可自动进入回油管路。

6)热油补油泵：为电动卧式齿轮泵，2.5m³/h×0.3MPa。当系统缺油时，能自动补油。管路的设计也可将系统油抽入集油柜。

7)集油柜：设在双层底内，容积为4.7m³。

2 船舶通风系统干燥装置

2.1 船舶通风系统干燥装置的用途和分类

通风系统的干燥装置，一般用在货舱通风系统。一般货船的货舱通风，用自然通风和机械通风装置进行给排气、换气，就能防止舱内货物散发湿气的结露现象；但航行远洋的船舶，长期航行在湿度较大又含有盐份的区域内，容易在温度变化时产生结露现象，严重时即使采取密闭货舱措施，有时也难免大量的货损。为此，一些远洋货船就采用干燥装置，将外部空气除湿干燥到相对湿度 $\varphi=10\%\sim20\%$ 后再进入各货舱。这样，即使外部湿度很高，也不必担心舱内空气会达到结露水平。

1)干燥装置采用除湿机形式，大致可分为冷却除湿和吸湿剂除湿两种。冷却除湿可分为间接冷却和直接蒸发冷却两种。吸湿剂除湿有固体与液体两种，又可分为吸收式与吸附式两种。

2)干燥除湿装置的比较：不论那种装置形式都有优缺点，必须考虑航线情况，安装部位，设备与维护费用等方面分析选用。就中国情况，目前最广泛采用的是二氧化硅胶吸附式。除湿装置的比较可见表7.5.4—2。

表7.5.4—2　　除湿装置比较

	冷却除湿法	吸湿剂除湿法	
		液体吸湿剂	固体吸湿剂
自动化控制	较复杂	较易	较难
去湿效果	尚好	良好	良好
装置占有的空隙	较小	中等	较大
装置重量	较大	较小	中等
维修费用	较大	中等	较小
设备初投资费用	较小	较大	中等

2.2 冷却除湿装置

冷却除湿原理主要将空气冷却到露点以下，使空气中的水分析出，然后对空气进行加热干燥处理，再送入货舱。冷却与加热可以根据空气的实际情况进行调节。

1)间接冷却除湿装置：该装置有独立的盐水系统和制冷系统。制冷系统可与空调或冷藏系

统通用。装置中的冷却去湿盘管用冷盐水间接冷却，盐水温度应在0℃以上，该装置优点是集中管理，调节方便；缺点是制冷系统管路较长，热效率差，现已不多采用，见图7.5.4—18。

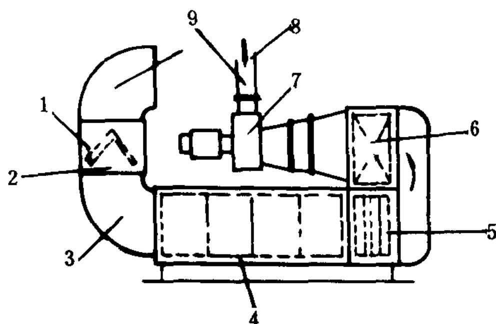


图7.5.4 18 间接冷却去湿装置

1—空气滤器；2—干湿温度计；3—风压计；4—盐水冷却系统；5—空气净化器；6—蒸汽加热器；7—离心式风机；8—通货舱钢管；9—干湿温度计

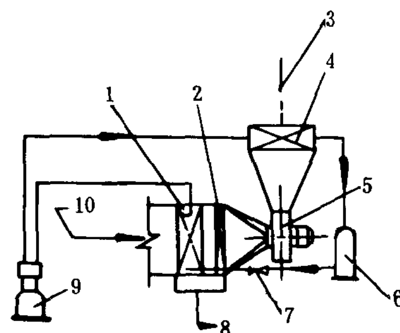


图7.5.4 19 直接蒸发冷却去湿装置

1—空气冷却器；2—挡水板；3—干燥空气通货舱；4—空气加热器；5—离心风机；6—R12贮液筒；7—膨胀阀；8—泄水阀；9—R12制冷压缩机；10—舱外空气进入

2）直接蒸发冷却去湿装置：装置设有制冷系统，冷剂采用R12或R22，冷却盘管直接蒸发冷却舱外空气。冷却时R12蒸发温度为5℃左右，故盘管不会结霜。冷却后的空气利用制冷压缩机排出的热量来加热，系统热效率很高，结构较紧凑，见图7.5.4—19。

2.3 液体除湿装置

本装置以氯化钙液体作为吸湿剂进行开放式吸收除湿，见图7.5.4—20。

氯化钙溶液由泵输到除湿空间的喷嘴，成雾状喷出，在冷却盘管周围，空气与溶液充分接触，溶液进行吸湿，其除湿能力取决于溶液温度和浓度。对一定湿度的空气，在溶液浓度不变的情况下，必须调节好溶液温度。

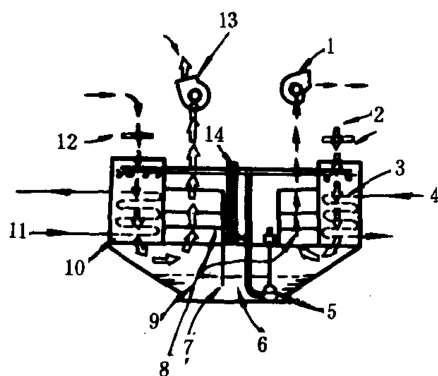


图7.5.4 20 氯化钙液体除湿装置

1—再生空气用风机；2、12—滤片；3—加热器；4—加热用蒸汽；5—溶液泵；6—液池；7—隔板；8—空气净化器；9—氯化钙溶液；10—冷却器；11—冷却海水；13—干燥空气用风机；14—浓度调节板

溶液吸湿稀释后，在再生器中加热，将水份释放至大气。

2.4 固体除湿装置

固体吸湿剂有二种吸湿方式：一为吸收式除湿，吸湿剂吸湿后发生化学变化，如固体氯化钙等。另一为吸附式除湿，常用的吸附剂有硅胶（SiO_2）铝胶（Al_2O_3），活性碳，硫酸钙（$CaSO_4$）和氧化钡（BaO）等。

1）固体吸收式除湿装置：本装置用固体氯化钙作为吸湿剂，其装置亦可称邻接系统（hald bg hold system），见图7.5.4—21。

除湿轮1内设蜂巢形的纤维性石棉，并渗以吸湿性强的干燥的氯化钙无水盐，除湿轮的3/4空间进行除湿，1/4空间进行再生，轮由电动机用链条带动慢慢转动。

除湿空气和再生空气的流向相反，均设有空气滤器，且再生空气入口处装有加热器。

装置能连续进行除湿和再生，并配置有货舱露点温度记录仪，可在驾驶台遥控或自动操作。装置不用冷却器，除湿送风机功率也很小，因之其体积较小，很适用于单独货船除湿通风。

2)固体吸附式除湿装置：装置使用氧化硅胶作为吸附剂除湿，氧化硅胶的外表似石英的结晶，为多孔质的二氧化硅素(SiO_2nH_2O)，在高倍显微镜下，可观察到该物质内存在无数孔径为4×10^{-7}cm的细孔，其展开表面积可达$450m^2/g$的胶体，在37℃温度下有较大的吸附作用，其吸附量一般为自重的30%～50%，氧化硅胶遇水会大量吸水而成粉末状，当氧化硅胶吸附一定水分后失去作用，可用130℃以上的热风加热，使它放出水分而再生。

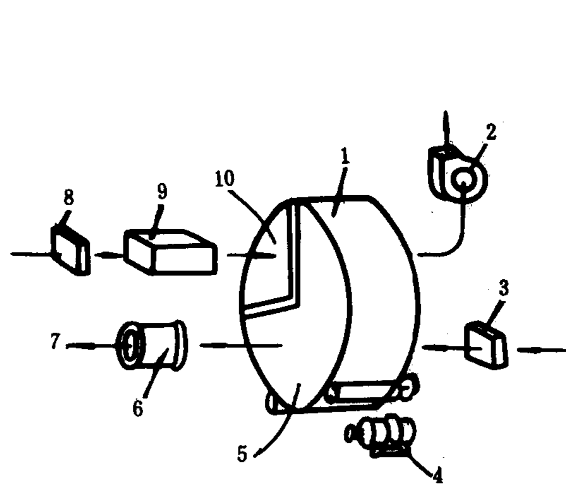


图7.5.4—21 固体吸收式除湿装置
1—除湿轮；2—再生风机；3、8—滤器；4—带动除湿轮电动机；5—除湿区；6—除湿风机；7—干燥空气通货舱；9—加热器；10—再生区

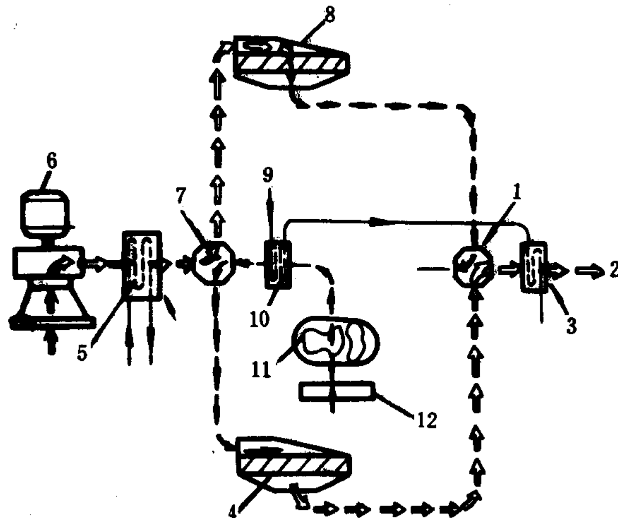


图7.5.4—22 固体吸附式除湿装置
1、7—二位四通电磁阀；2—干燥空气通货舱；3、10—冷却器；4—除湿筒；5—加热器；6—再生风机；8—再生筒；9—冷却水进入；11—除湿风机；12—空气滤器

氧化硅胶吸附式除湿装置亦称“集中系统”(Central systen)见图7.5.4—22。

用两组筒状容器内放入氧化硅胶，其中一组以吸附作用对空气进行除湿，此时另一组送入高温空气，使氧化硅胶进行再生，除湿。再生过程可通过二位四通阀由继电器加以轮换控制，继电器的动作分0.5、1、1.5、2h四种，可根据空气湿度情况加以选择，此装置亦可在驾驶台进行遥控与自动操作。

2.5 船舶通风干燥装置的试验

当新船交验时或该装置经修理后交验时，应进行装置的试验。

1)试验方法：

(1)可选定一个货舱进行试验，或每个货舱逐个进行试验。

(2)试验应在除湿、再生状态下进行，调节干燥器与再生器作用时间，风门开度，通风口开度、甚至舱口盖开度等，进行参数记录，使之达到设计要求。

(3)干燥装置调整后须连续运行4h以上，测试时间至少30min。

2)测试内容：以固体吸附式除湿装置为例，其它型式可参照此内容：

(1)测试室外温度及露点；

(2)测试货舱内空气温度及露点；

(3)测试除湿后的干燥空气的露点；

(4)测试胶体筒空气出口温度；

(5)测试冷却器空气出口温度；

(6)测试加热器空气出口温度；

(7)记录除湿机用的风机、电动机的电压和电流。

以上参数均须符合设计要求或装置出厂说明书。

参 考 文 献

[1] 鲍士雄等编:船舶空气调节,国际工业出版社,1980 年 12 月

[2] 船舶设计实用手册冷藏通风器,国防工业出版社,1975 年 7 月

[3] 闫永阁等编:船舶辅机下册,人民交通出版社,1975 年 7 月

[4] 第四机械工业部第十设计研究院主编:空气调节设计手册,中国建筑工业出版社,1983 年

[5] 林瑞东译:船舶机炉舱通风,人民交通出版社,1956 年

[6] 郭道然:通风工程,上海科技出版社,1961 年

[7] 中国舰船研究院:舰船概论,1983 年

[8] 荣次仙:船舶系统,人民交通出版社,1959 年

[9] 中华人民共和国船舶检验局:钢质海船入级与建造规范及其修改通报,海船防火结构与消防设备规范(国内航行船舶),人民交通出版社,1983 年,1986 年,1988 年

[10] Internationol Standard Iso 7547 Ain—Conditioning and Ventillation of Accommodation spaces on Board ships—Design conditions and Basis of calculations First edition 1985. 11. 1

[11] Marine air condilioning,1964

[12] Calculations for Merchant ship Heating,Ventilation and Air condilioning Design, 1980. 8

[13] 船用机关计画便览,1969

[14] 日本船舶标准协会:JISF 规格集(机关),1987 年

[15] 日本船用机关学会志第 20 卷第 8 号,机关室通风装置装备基准

[16] Суповые СиСгеМН ВеНТиПЯ Qиии КО ВД ИДИ ВИРОВаНИЯ ВоэД У Xa,1974

第6篇　船舶消防系统

第1章　船舶消防系统的要求和分类

1　用途和要求

1.1　用　　途

船舶消防系统是各种固定式灭火系统的总称，该系统的作用在于迅速控制火势并将火扑灭。为实现这目的，必须尽快的将足够数量的灭火剂施于火灾区域，得以有效地扑灭。

船舶消防应考虑船舶的类型和所涉及的潜在火灾危险，以下列基本原则作为船舶消防的基础：

1)用耐热和结构性限界面，将船舶划分为若干主竖区；

2)用耐热和结构性限界面，将起居处所与船舶其他处隔开；

3)限制使用可燃材料；

4)探知火源区域内的任何火灾；

5)保护脱险通道或灭火出入口；

6)灭火设备的即刻可用性；

7)将易燃货物蒸发气体着火的可能性减少至最低程度。

以上几点基本原则可归纳为防火、探火和灭火。由于结构防火内容不属本手册的范围，本篇仅就探火和灭火两方面内容叙述。关于散装运输危险化学品船和散装运输液化气体船防火和灭火的特殊要求请阅本卷第8篇的有关内容。

国际航行船舶上的固定式灭火系统的设计、安装和试验，必须符合现行《国际海上人命安全公约》(以下简称74安全公约)和现行《钢质海船入级与建造规范》的规定。

固定灭火系统是固定装设的灭火系统使用有效的灭火剂，如水、CO_2、卤代烷、泡沫、干粉和蒸汽等。水灭火系统是常用且行之有效的灭火系统之一，每艘船都必须装设水灭火系统，并布置遍及全船。其他灭火剂的灭火系统根据保护处所安全需要按照现行《74安全公约》和规范的规定选用。蒸汽灭火系统目前已经淘汰，即使使用，也只作为辅助性质。

固定式灭火系统，只用于灭火，并不能取代结构防火。

1.2　基 本 要 求

1)船舶固定式灭火系统的设计，应考虑以下因素：

(1)潜在的火灾类别分：A类—固体可燃物火灾；B类—易燃液体火灾；C类—易燃气体火

灾;D 类--可燃金属火灾;

(2)使用何种灭火剂;

(3)特殊危险区域的灭火;

(4)潜在的爆炸危险;

(5)暴露情况;

(6)对船舶稳性的影响;

(7)探测火灾的方式;

(8)船员的保护。

船舶灭火系统的设计,还应与船舶用途相适应。船舶分为客船、货船、油船、运粮船、滚装船以及液化气体船和化学品船等。任何系统均应适应船舶结构及其所保护的处所的情况。

2)考虑可能发生火灾的类别和危险以及被保护处所的具体情况,通常选用的灭火剂是:

(1)保护一般固体可燃物质火灾的处所,如公共处所和通道,用固定系统的水为灭火剂;

(2)保护易起火的 B 类易燃液体火灾的处所用固定系统的泡沫或化学干粉;

(3)处理 C 类火灾和电器火灾的固定系统用 CO_2、卤代烷或特种金属型干粉灭火剂,尤其要指出的对 C 类火灾,主要采取切断气源后实施控制火灾;

(4)不准用固定系统处理涉及可燃金属的 D 类火灾,对这类火灾只能用特殊液体(7150)灭火剂,本篇不作介绍,需要时可查阅《防火检查手册》。

3)常见的固定式灭火系统分为:

(1)水灭火系统;

(2)水雾灭火系统;

(3)蒸汽灭火系统;

(4)CO_2 灭火系统;

(5)卤代烷灭火系统;

(6)低倍数泡沫灭火系统;

(7)高倍数泡沫灭火系统;

(8)干粉灭火系统;

(9)自动喷水系统。

上述灭火系统中,CO_2 及卤代烷灭火系统为气体灭火系统,干粉为固体灭火系统,其余为液体灭火系统。

1.2.1 机器处所的固定灭火设备①

应设置水灭火系统,此外,还应设有下列固定灭火系统之一:

1)压力水雾灭火系统;

2)卤代烷灭火系统;

3)CO_2 灭火系统;

4)高倍数泡沫灭火系统。

油船的货油泵舱也按上述要求配备,但要求配备的灭火剂数量应高于机器处所。

1.2.2 装货处所的固定灭火设备

1)装载干货的装货处所:

---

① 《74 安全公约》中有"A 类机器处所"的定义,往往在消防设施上与"机器处所"的要求稍有差异,航行国际航线的船舶仍应注意公约的规定。

应设有水灭火系统以及下列固定灭火系统之一：

(1)CO_2 灭火系统；

(2)主管机关认可的其它等效的灭火系统。

2)油船货油舱的甲板区域：

需设有水灭火系统以及甲板泡沫灭火系统(低倍数泡沫)，对于 20000t 以上的油船，除以上要求外，还应设有惰性气体系统。

1.2.3 其它处所的固定灭火设备

1)公共处所、起居处所、服务处所：

采用 IIC 防火法的货船，需设置自动喷水、探火和失火警报系统；采用ⅢC 防火法的货船，需设置固定式探火和失火报警系统。在客船上的每一独立分隔区(没有实质性失火危险的处所如 处所、卫生处所等除外)，需设置固定式探火和报警系统或自动喷水、探火和失火报警系统。

2)特种处所

特种处所是指在舱壁甲板以上或以下的围蔽处所，它用来装载在油箱内备有自用燃料的机动车辆。此类处所需设有压力水雾系统或等效系统。

1.3 适用范围

本篇所述的要求，既适用于 500t 以上国际航行的船舶，基本上也适合于 500t 以上国内航行的沿海船舶，对于 500t 以下的海船和江船可参照上述要求。

2 系统分类及特点

2.1 分 类

固定式灭火系统中由于使用的灭火工质不同，可分为四大类，即水灭火系统、气体灭火系统、泡沫灭火系统和干粉灭火系统。不同灭火系统的灭火作用和使用范围各不相同。

2.1.1 水灭火系统

水灭火系统是所有船舶必须配备的固定灭火系统，系统中的水可通过消防水带用水枪喷射到船舶任何处所，它主要用于扑救一般可燃固体火灾。

用水灭火，每千克水因冷却燃烧物质、假定吸热升温至 100℃并蒸发成水蒸汽，能吸收热量 2256.7kJ，又能产生 1.7m^3 的蒸汽。

对于扑救一般可燃固体物质的火灾，如起居处所、服务处所及一般干货物，系采用直流或喷雾水柱，即主要靠水冲刷固体可燃物质，进行冷却来达到灭火目的。

对于扑救易燃液体物质的火灾，如机舱的易燃液体，系采用喷雾水枪，即主要靠水雾罩住燃烧物质，吸热后形成蒸汽去窒息火焰。

对于气体火灾不能用水扑灭。

除了常规的固定式水灭火系统外，还有自动喷水系统和水雾灭火系统亦属于固定式水灭火系统。自动喷水系统用于客船，货船的起居和服务处所较为合适，当这些处所发生火灾后能自动喷水以扑救初起火灾，同时自动发出火灾警报。水雾灭火系统可用于机舱及特种处所，该系统一般是手动控制，当被保护处所失火时，人员在消防站室或适当的地点，起动泵和开启阀

门,将水雾喷出。

2.1.2 气体灭火系统

气体灭火系统包括CO_2灭火系统和卤代烷灭火系统。卤代烷灭火剂目前有“1211”、“1301”和“2402”三种(卤代烷的化学式及物理性质见表7.6.1—3及表7.6.1—4)。

1)CO_2是一种隋性气体,空气中CO_2含量达15%以上时能使人窒息死亡;达28.5%时,使空气中的含氧量降至15%,使一般可燃物质的火焰逐渐窒息;CO_2达43.6%时,使空气中的含氧量能降至11.8%,这时能抑制汽油及其他易燃气体的爆炸。

在大气情况下CO_2的密度约为空气的1.5倍,因而舱内放入CO_2,就能排除空气。空气中氧占21%(体积浓度),因此要降低1%的含氧量,就得放入4.75%的CO_2才能排除同体积的空气。要使舱室大气中的含氧量由21%降至R,所需CO_2体积可按式(7.6.1—1)计算:

$$V=(21-R)\times 4.75\% \tag{7.6.1—1}$$

式中:V——CO_2体积,%;

R——施放CO_2后舱室大气中的含氧量,%。

在全浸没系统中,用CO_2排除封闭舱内的空气需要一定时间,如对机舱一般需要2h以上,对干货舱一般需要48h以上;应保持封闭的时间充分长,才能使CO_2渗透到固体可燃物质的表面,否则,由于开舱过早,完全可能使残火重新复燃。

2)卤代烷灭火剂是一种高效的气体灭火剂,以化学中断原理灭火,燃料在燃烧中生成活性H、OH及O游离基,氧游离基O不断与燃料中分解出的氢游离基H进行燃烧的连锁反应。加入卤代烷灭火剂后,因溴游离基Br比氧游离基更活泼,它既使燃料中的氢游离基被移置,又移置了燃烧生成的活性OH游离基,从而破坏了燃烧的连锁反应,迅速扑灭火焰。

卤代烷灭火剂具有良好的电气绝缘性能,且灭火后不沾污设备,因此对电气火灾特别有效。

卤代烷灭火剂对固体可燃物质的深度火灾效果较差,需要大剂量且辅以喷水才能奏效。

卤代烷灭火剂扑救可燃液体火灾也特别有效。

2.1.3 泡沫灭火系统

泡沫具有下列复合灭火作用:

1)用泡沫隔开燃烧物质表面,阻碍火焰的热辐射,隔绝空气供应,使燃烧物质周围的可燃物质加热速度减弱,并切断助燃剂。

2)泡沫中的水分可以吸热,使可燃物质表面冷却。

3)泡沫中的水分蒸发成蒸汽,在泡沫层下稀释氧气浓度。

泡沫分为低倍数泡沫和高倍数泡沫两种,低倍数泡沫灭火系统主要用于油船液货舱甲板区域,高倍数泡沫灭火系统用于各类船舶的机舱和油船的泵舱。

2.1.4 干粉灭火系统

干粉的灭火原理是:干粉喷在火区上面分解出CO_2、Na_2O、水蒸气等,对燃烧的物质进行窒息,同时吸收大量的热量,使燃烧物质温度下降,达到灭火目的,但干粉最主要的灭火作用还是抑制燃烧的链锁反应。

干粉灭火系统主要用于液化气体船上。

2.2 灭火工质

灭火工质又称灭火剂,灭火剂能够有效地破坏燃烧条件,中止燃烧的物质。

燃烧是一种放热和发光的化学反应，燃烧必须具备可燃物，助燃物和火源这三个条件。一切灭火措施都是为了破坏已经产生的燃烧条件，并使燃烧的链锁反应中止。灭火剂在被喷射到燃烧物和燃烧区域后，通过一系列的物理、化学作用，能使燃烧物冷却，燃烧物与氧气隔绝，燃烧区内氧的浓度降低，燃烧的链锁反应中断，最终导致燃烧的必要条件受到破坏，停止燃烧反应，起到灭火作用。

现代使用的灭火剂有水、泡沫、卤代烷、CO_2、干粉等，可以扑灭各种不同的火灾。这些灭火剂，各有不同的性能，必须正确地使用，才能充分发挥其作用。因此，对各种灭火剂的物理和化学性质、灭火原理、适用范围等都必须掌握。现将各种灭火剂的适用范围列于表 7.6.1—1。

表 7.6.1—1 **各类灭火剂的适用范围表**

灭火剂			火灾种类				
			木材等一般火灾	易燃液体火灾		带电设备火灾	金属火灾
				非水溶性	水溶性		
液体	水	直流	○	×	×	×	×
		喷雾	○	△	○	○	△
	水溶液	直流（加强化剂）	○	×	×	×	×
		喷雾（加强化剂）	○	○	○	×	×
		水加表面活性剂	○	△	△	×	×
		水加增粘剂	○	×	×	×	×
		水胶	○	×	×	×	×
		酸碱灭火剂	○	×	×	×	×
	泡沫	化学泡沫	○	○	△	×	×
		蛋白泡沫	○	○	×	×	×
		氟蛋白泡沫	○	○	×	×	×
		水成膜泡沫（轻水）	○	○	×	×	×
		合成泡沫	○	○	×	×	×
		抗溶泡沫	○	△	○	×	×
		高、中倍数泡沫	○	○	×	×	×
	卤代烷	二氟二溴甲烷（1202）	△	○	○	○	×
		四氟二溴乙烷（2402）	△	○	○	○	×
		CCl_4*	△	○	○	○	×
气体		二氟一氯一溴甲烷（1211）	△	○	○	○	×
		三氟一溴甲烷（1301）	△	○	○	○	×
	不燃气体	CO_2	△	○	○	○	×
		N_2	△	○	○	○	×
固体	干粉	钠盐、钾盐 Monnex 干粉	△	○	○	○	×
		磷酸盐干粉	○	○	○	○	×
		金属火灾用干粉	×	×	×	×	○

注：○—适用；△——般不用；×—不适用；*—已禁止使用。

2.2.1 水灭火剂

水是不燃液体，是船上最常用的灭火剂，船上供给消防水有两种方式，一是通过消防管路、水带和水枪；另一是通过自动洒水或手动压力水雾系统供水。这两种供水方式都比较可靠。

1)灭火作用：

(1)冷却作用：

水的吸热量和蒸发时的潜热都吸收很大的热量，当水与炽热的燃烧物体接触时，即发生吸热和汽化过程，吸收掉燃烧物的热量，冷却燃烧物，使之低于可燃的温度。

(2)对氧的稀释作用：

水遇到炽热的燃烧物后，汽化产生的大量水蒸气，能够阻止部分空气进入燃烧区，起到稀释燃烧区氧含量的作用，使燃烧区逐渐缺少助燃剂(氧气)而减弱燃烧强度。

(3)对水溶性易燃液体有直接的稀释作用：

对水溶性易燃液体的火灾，如允许用水扑救，水会与易燃性液体混合，降低燃烧强度。

(4)水力的冲击作用：

强有力的喷射水柱具有很大的动能和冲击力，强烈冲击燃烧物和火焰，可以冲散燃烧物，使燃烧强度明显减弱。

2)灭火时的形态和应用范围：

(1)直流水柱和开花水：

压力水通过直流水枪喷出的高速水柱称为直流水柱，通过开花水枪喷出的滴状水称为开花水。直流水柱和开花水可以扑救一般固体可燃物火灾，也可扑救闪点高于120℃以上常温下呈半凝固状态的重油火灾。

(2)水雾：

压力水通过喷雾水枪喷出水滴直径小于100μm的水雾，具有很大的表面积，因此降温快，灭火效果好。大量的微小水滴还有利于吸附烟尘，故可扑救粉尘、纤维状物质及谷物等固体可燃物火灾。

根据现行《74安全公约》规定，船上应配置水柱/水雾两用水枪。

3)使用中的注意事项：

(1)如与水反应后产生可燃气体，且容易引起爆炸的物质，在着火时不能用水扑救。如碱金属和一些轻金属着火时，能产生高温，遇水后与水反应生成氢气，并放出大量热，使氢气自燃或爆炸；电石与水生成易燃的乙炔气，并容易放出大量的热，容易引起爆炸。

(2)非水溶性易燃液体的火灾，原则上不能用水扑救，但重油可用水雾扑救。

(3)直流水柱不能用于扑救带电设备火灾，不能扑救易燃粉尘(面粉、铝粉、煤粉、糖粉、锌粉等)密集处的火灾。

(4)贮存大量浓硫酸、浓硝酸的场所，发生火灾不能用水扑救，以免引起酸液发热飞溅。

(5)使用直流水柱，应向火的中心喷射，为获得最佳冷却效果，必须使水与正在燃烧的物体相接触。

2.2.2 气体灭火剂

1)CO_2：

在船上，CO_2一直用于干货舱和机器处所以及油船货泵舱的灭火。

(1)CO_2的性质：

CO_2是一种惰性气体，但是，加压后可被液化或凝固，在－43℃时，CO_2为固体，称“干冰”。

CO_2 的临界温度是 31℃，高于这个温度，不管压力多高，总是气态。CO_2 对一般物质是惰性的，然而，当 CO_2 与镁或其它的金属起化学反应时，它能助燃。CO_2 的物理性质见表 7.6.1—2。

表 7.6.1—2 **CO_2 的物理性质表**

分　子　量	44
升华点(℃)	−78.5
溶点(℃)	−56
临界温度(℃)	31
临界压力(MP_a)	7.13
临界容积(m^3/kg)	0.51
临界密度(kg/m^3)	0.46
液态密度(0℃，3.5MP_a)	0.914
蒸气压力(MP_a)	5.8

(2)CO_2 的灭火原理：

CO_2 主要通过窒息来扑灭火，它不断地冲淡火周围的空气，直到空气中含氧量低到不足助燃为止。因此，对扑灭 B 类火是非常有效的，因为扑灭 B 类火的主要方法是设法把易燃发挥气体与空气中的氧气分隔开，对扑灭封闭处所的 A 类火灾也是有效的。然而，CO_2 灭火，必须保持 CO_2 的浓度，直到火彻底熄灭时为止。

(3)CO_2 的使用：

CO_2 扑灭以下类型的火灾有特殊效果：

①易燃的油类和各类润滑脂；

②电气和电子设备；

③固体危险和半危险品，如某些塑料制品，但不包括那些本身含有氧气的塑料品(如硝化纤维素)；

④机器处所、货泵舱和装载一般干货的货舱。

(4)使用 CO_2 的局限性：

①CO_2 不能扑救某些易燃金属火灾，如钠、钾、镁和锆等。当 CO_2 用于燃烧着的镁时，与镁起化学反应，产生碳、氧化镁的氧化物。由于增加氧和碳两种成分，火势将更猛。

②使用 CO_2 灭火，应注意复燃的可能性；向舱内施放时，应达到所要求的浓度并保持一定的时间，这时间从几小时至几天不等。如舱内火种没有彻底熄灭，开舱后会导致复燃。

③使用 CO_2 应防止人员窒息。

2)卤代烷灭火剂：

卤代烷是以卤素原子取代烷分子中的部分氢原子或全部氢原子后得到的一类有机化合物的总称。常用的卤代烷灭火剂，其学名、化学分子式及代号分别为：

二氟一氯一溴甲烷	CF_2ClBr	Halon1211
三氟一溴甲烷	CF_3Br	Halon1301
四氟二溴乙烷	$C_2F_4Br_2$	Halon2402

国外，1211 简称 BCF，1301 简称 BTM

(1)性能：

正常情况下，“1211”是一种无色的气体，稍带芳香气味，密度约为空气的五倍；“1301”是一种无色无嗅的气体，密度也是空气的五倍。这两种药剂都易于用加压的办法使其液化，作为灭火剂使用，用氮气、CO_2 作为驱动气体使其得以从容器中喷出，在燃烧热的作用下，迅速变成蒸气。

卤代烷灭火剂，有较好的热稳定性和化学惰性，久贮不变质，灭火后不留痕迹。衡量其灭火性能可用抑爆峰值来表示。几种常用卤代烷灭火剂和 CO_2 灭火剂对正庚烷的抑爆峰值见表 7.6.1—3。

表 7.6.1—3　**常用卤代烷灭火剂等对正庚烷的抑爆峰值表**

名　称	化　学　式	抑爆峰值(%,体积)	抑爆峰值(%,质量)
2402	$C_2F_4Br_2$	4.9	56.87
1301	CF_3Br	6.1	40.57
1211	CFClBr	9.3	68.71
CO_2	CO_2	29.5	57.14

当把灭火剂加到易燃气体和空气的混合物中,使添加量达到不能进行燃烧的值时,这添加量称为该灭火剂对此种易燃物质的抑爆峰值。抑爆峰值一般以灭火剂所占质量百分数或体积百分数来表示。

几种常用卤代烷灭火剂的物理性质见表 7.6.1—4。

表 7.6.1—4　**常用卤代烷灭火剂物理性质表**

项　　目	药　剂　名　称		
	1211	1301	2402
分子量	165.38	148.93	259.82
沸点(℃,压力 0.1013MPa)	−4.0	−57.8	47.26
凝固点(℃)	−160.5	−168.0	−110.5
临界温度(℃)	153.8	67.0	214.5
临界压力(MPa)	4.206	3.96	3.40
临界容积(m^3/kg)	0.00141	0.00134	329(Cm^3/克分子)
临界密度(kg/m^3)	713	745	795
蒸气压(MPa,20℃)(MPa,60℃)	0.253 0.720	1.463 3.458	
液体密度(kg/m^3,20℃)	1830	1575	2163
饱和蒸气密度(kg/m^3,20℃)	17.4	115.6	94.1(47℃)
过热蒸气比容(m^3/kg,0.1013 MPa20℃)	0.145	0.159	

(2)灭火原理:

卤代烷灭火剂以抑制燃烧的化学链锁反应而达到灭火目的,即以化学中断原理灭火。

(3)应用范围:

卤代烷灭火剂具有灭火后不留痕迹、毒性低、药剂本身绝缘性好等特点。卤代烷适用于扑救各种易燃液体火灾和电器设备火灾;不适于扑救活泼金属、金属氢化物和能在惰性介质中自身供氧燃烧的物质的火灾。

(4)安全注意事项:

①卤代烷灭火剂一般以液态形式充装在压力容器中,充装时遵守有关操作规则,并防止卤代烷灭火剂使皮肤脱脂或冻伤。

②卤代烷如与人短暂接触(1min 内)时,如 1211 体积浓度在 4%以下,1301 体积浓度在 7%以下,基本上都不会产生生理反应;当浓度增高或接触时间增长,毒性反应就较明显,2402 的毒性则更大,使用时应慎重。

2.2.3 泡沫灭火剂

1)分类：

按照泡沫形成的原理，泡沫灭火剂可以分为化学泡沫灭火剂和空气机械泡沫灭火剂两大类。化学泡沫通过二种药剂的水溶液发生化学反应产生，泡沫中所包含的气体为CO_2。空气泡沫是通过空气泡沫灭火剂与水混合的泡沫溶液，在泡沫产生器中与空气机械搅拌混合而形成，所以空气泡沫又称为空气机械泡沫；空气泡沫中所包含的气体一般为空气。空气泡沫灭火剂又按泡沫的发泡倍数，分为低倍数、中倍数和高倍数泡沫三类。依据发泡剂的种类和用途，低倍数泡沫灭火剂又可分为蛋白泡沫、氟蛋白泡沫、水成膜泡沫、合成泡沫和抗溶性泡沫等。

2)灭火原理和作用：

通常使用的灭火泡沫，它的发泡范围为2～1000，密度为0.001～0.5。由于泡沫的密度远小于一般易燃液体，因此可以漂浮于液体的表面，形成一个泡沫覆盖层，能阻止易燃液体的挥发，并阻止与空气的接触，停止燃烧反应。泡沫具有大量水分，也起到冷却作用。还具有一定的粘性，可以粘附于一般可燃固体的表面。

3)理化性能：

泡沫灭火剂的理化性能有如下各项：

(1)相对密度：泡沫液在20℃时的相对密度为1.0～1.2。

(2)pH值：一般在6～7.5的范围内，接近中性。

(3)粘度：是衡量泡沫液流动性的指标，6%型泡沫液在20℃与0℃时测得的最高粘度分别应为15和100mm^2/s，3%型泡沫液的粘度还要高些。

(4)流动点：是指泡沫液能够保持流动状态的最低温度。

(5)沉降物含量：是泡沫液中不溶固体的含量，可衡量泡沫液贮存中稳定性指标。

(6)沉淀物含量：是指除去沉降物的泡沫液，与水按规定的混合比配制成混合溶液时，所产生的不溶固体的含量，混合溶液中存在过多的不溶物会对泡沫的生成和产生的泡沫的稳定性有一定影响。(金属皂型抗溶性泡沫灭火剂除外)。

(7)热稳定性：是衡量泡沫液处在较高温度下，在一定时间内质量变化的指标，一般将泡沫液加热至65℃，保持24h后，所测出的沉降物和沉淀物含量表示之。

(8)腐蚀率：是衡量泡沫液对贮存容器腐蚀程度的一个指标。泡沫液腐蚀率的测定，一般用一定尺寸的A3钢片和铝合金片，在38℃的泡沫液中，浸泡21天，则其每平方分米每日的平均失重毫克数。

(9)混合比：是泡沫液与水混合后的体积比(%)。低倍数泡沫灭火剂通常有二种混合比，一种为3：97(3%型泡沫液)，另一种为6：94(6%型泡沫液)。高倍数泡沫灭火剂的混合比一般在1.5：98.5至6：94范围内。

(10)发泡倍数：是指形成一定体积的泡沫与所用混合溶液体积的比值。发泡倍数的高低对泡沫的稳定性和灭火性能有一定影响。低倍数泡沫，发泡倍数在6～8的范围内，发泡倍数低于6时，泡沫含水量大，析液快，泡沫不够稳定。发泡倍数高于8时，泡沫含水量太小，灭火效果不好。

高倍数泡沫的发泡倍数一般在500～1000倍的范围内。

(11)25%析液时间：是衡量泡沫稳定性的一个指标。它是指从开始形成泡沫，到泡沫中析出1/4重量的液体所需的时间。稳定性好的泡沫，析液时长，反之则差。

(12)90%控制时间：是衡量泡沫灭火性能的一个重要指标。是指在规定的条件下灭火时，

从喷射泡沫开始，至90%燃烧面积被扑灭的时间。

(13)灭火时间：是指在规定的条件下，从喷射泡沫开始，至火焰全部息灭的时间。

4)贮存条件：

泡沫灭火剂的贮存条件，对其使用有直接影响。按其规定的条件贮存，可以保证在其有效期内发挥应有的灭火作用，否则发生变质，影响使用效果，甚至不能灭火。各类空气机械泡沫灭火剂的贮存条件应：

(1)贮存的容器需耐腐蚀。

(2)贮存的环境和温度须适宜，泡沫灭火剂的贮存容器应存放在阴凉、干燥的环境中，不能置于露天曝晒。泡沫液贮存的环境温度上限一般为40℃，下限一般按流动点增加2.5℃。

(3)密封盛装，容器应尽量装满药剂，并密封好。因为蛋白泡沫液和氟蛋白泡沫液如果长期与空气接触，会氧化变质，作为泡沫稳定剂的二价铁盐也会被氧化成为高价铁盐而失去其稳定作用。"轻水"泡沫，高倍数泡沫等合成泡沫灭火剂如长期敞口贮存，其溶剂会部分挥发，使成分的比例发生变化而变质。密封好的各类泡沫灭火剂的贮存期，一般为五年左右。

(4)不得相混：不同类型的泡沫灭火剂，或者同一类型而不同工艺制成的泡沫灭火剂不能混合。

5)检查要求：

(1)出厂的各类泡沫灭火剂的技术性能见表7.6.1—5～11。

(2)检查包装容器、贮存环境是否符合要求，容器是否密封，有否严重腐蚀。

(3)对贮存时间已超过两年的泡沫灭火剂每年应抽样分析检验，以确定有否明显变质，若有明显变质，应予更换。

6)化学泡沫灭火剂：

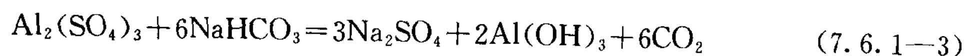
由两种药剂的水溶液通过化学反应产生的泡沫，称为化学泡沫。化学泡沫由发泡剂、泡沫稳定剂或其它添加剂组成。

化学泡沫灭火剂，目前有YP型和YPB型两种：

(1)YP型化学泡沫灭火剂：

YP型化学泡沫灭火剂出厂时，酸性粉(硫酸铝)和碱性粉(碳酸氢钠)分装于两个不同标志的塑料袋中，配制时将两袋粉各按1∶10左右的比例溶解于水，并将两种水溶液分别灌装在灭火器的内筒和外筒中即可。

使用YP型化学泡沫灭火剂时，可通过颠倒灭火器或其它方法，使酸性药剂的水溶液与碱性药剂的水溶液混合，发生如下反应：



$$Al_2(SO_4)_3+6NaHCO_3=3Na_2SO_4+2Al(OH)_3+6CO_2 \qquad (7.6.1-3)$$

反应生成的CO_2，使灭火器产生内压力，在压力的作用下，将生成的泡沫从喷嘴压出。

YP型化学泡沫灭火剂技术性能见表7.6.1—5。

表7.6.1—5　**YP型化学泡沫灭火剂技术性能表**

项　　目	粉　　型	
	酸　性　粉	碱　性　粉
组　　分	18克分子结晶硫酸铝，其中无水硫酸铝含量48%～52%，水不溶物≤0.1%	碳酸氢钠85%～92%；蛋白泡沫灭火剂，余量，水不溶物≤0.25%
外　　观	白色或浅绿色粉末	白色或浅黄色粉末

续上表

项　目	粉　型	
	酸　性　粉	碱　性　粉
细　度	通过 20 目筛 100% 通过 200 目筛≤25%	通过 80 目筛≥90%
水　分	≤2%	≤1%
发泡倍数	≥6	
持久性	发泡 25min 后剩余泡沫的体积大于发泡液体体积的 4.5 倍	
pH 值	由泡沫析出的液体呈中性	

(2)YPB 型化学泡沫灭火剂：

YPB 型化学泡沫灭火剂是在 YP 型化学泡沫的基础上研制成功的一种新型化学泡沫灭火剂，泡沫产生的原理与 YP 型相同，但由于在碱性药剂中含有一定量的泡沫增效剂，使泡沫粘度小，流动性和自封性好，灭火效力为同容量 YP 型化学泡沫灭火剂的 2～3 倍，且全部采用合成原料，贮存期长。

YPB 型化学泡沫灭火剂的技术性能见表 7.6.1—6。

表 7.6.1—6　　**YPB 型化学泡沫灭火剂技术性能表**

项　目	YPBa 型		YPBb 型	
	酸性粉	碱性粉	酸性粉	碱性粉
细度(%，通过 20 目筛) (%，通过 200 目筛) (%，通过 80 目筛)	100 ≤25 —	— — ≥90	100 ≤25 —	— — ≥90
水分(%)	≤2	≤1	≤2	≤1
发泡倍数	6～8		6～8	
有效灭火面积(m^2)(用一只 MP8 灭火器)	2		2.5～3	
封闭性(min)	>10		>10	

注：表中所列为公安部天津消防科研所提供暂行指标。

(3)应用及保管：

YP 型和 YPB 型化学泡沫灭火剂主要用于扑救油类等非水溶性可燃、易燃液体的火灾和木材、纤维、橡胶等固体的火灾。

下列物质的火灾，不能用化学泡沫灭火剂扑救：

水溶性可燃、易燃液体，如醇、酯、醚、有机酸等；带电设备；轻金属、碱金属及遇水可能发生燃烧爆炸的物质。

化学泡沫粉一般用塑料袋或铁桶包装，应放置在阴凉干燥处，防止受潮，贮存温度不得高于 40℃。酸粉和碱粉应分开堆放，堆层不宜过高，每隔二三个月要翻动一次。每年分析一次，如发现倍数明显下降，应停止使用。

7)蛋白泡沫灭火剂：

它是以动物性蛋白质或植物性蛋白质的水解浓缩液为基料，加入适当的稳定剂、防腐剂和防冻剂等添加剂的起泡性液体。它是空气机械泡沫液的一种类型。

(1)组成和性能：

主要成分是水和水解蛋白，蛋白泡沫液和水的混合比例，有 3%型和 6%型两种。

蛋白泡沫灭火剂常呈黑褐色，粘稠状，具有天然物分解后的异臭，主要技术性能见表 7.6.1—7。

表 7.6.1—7 **蛋白泡沫灭火剂技术性能表**

项目		泡沫液类型		
		植物蛋白型 6%	动物蛋白型	
			6%	3%
密度(20℃)		>1.11	>1.13	>1.16
pH 值(20℃)		6.0～7.5	6.0～7.5	6.0～7.5
粘度(10^{-3}Pa·s,20℃)		≤15	≤15	≤50
流动点(℃)		≤−5	≤−10	
沉降物(%)		≤0.2	≤0.2	
沉淀物(%)		≤0.1	≤0.1	
高温稳定性	沉降物(%)	≤0.2	≤0.2	
	沉淀物(%)	≤0.1	≤0.1	
腐蚀率 mg/(d·dm^2)		≤25	≤25	
发泡倍数		≥7.0	≥7.0	
25%析液时间(min)		≥6.5	≥6.5	
90%控制时间(s)		≤70	≤70	
灭火时间(s)		≤120	≤120	

(2)使用方法和应用范围：

蛋白泡沫灭火剂应贮存在原包装桶或贮罐内，使用时与水按 6：94 或 3：97 的比例混合形成泡沫溶液。泡沫溶液经过泡沫管枪或泡沫产生器时吸入空气，在泡沫管枪或泡沫产生器中经机械与空气混合后产生泡沫，并喷射到火区灭火。

蛋白泡沫灭火剂主要用于扑救各种不溶于水的可燃、易燃液体，如各种石油产品、油脂等火灾，也可用于扑救木材等一般可燃固体的火灾，由于蛋白泡沫的热稳定性好，因而在油类火灾中广泛采用。

蛋白泡沫不能用于扑救水溶性可燃、易燃液体和电器及金属火灾。

8)氟蛋白泡沫灭火剂：

含有氟碳表面活性剂的蛋白泡沫灭火剂称为氟蛋白泡沫灭火剂，这种泡沫适用于液下喷射，还可以与干粉灭火剂配合使用，与水的混合比例有3%型和6%型两种。氟蛋白泡沫灭火剂的技术性能见表 7.6.1—8。

表 7.6.1—8 **氟蛋白泡沫灭火剂性能表**

项目	泡沫液类型	
	6%型	3%型
密度(20℃)	>1.13	>1.16
pH 值(20℃)	6.0～7.5	6.0～7.5
粘度(10^{-3}a·s,20℃)	≤15	≤50
流动点(℃)	≤−10	≤−10
沉降物(%)	≤0.2	≤0.2

续上表

项目		泡沫液类型	
		6%型	3%型
沉淀物(%)		≤0.1	≤0.1
高温稳定性	沉降物(%)	≤0.2	≤0.2
	沉淀物(%)	≤0.1	≤0.1
腐蚀率(mg/(d·dm²))		≤25	≤25
发泡倍数		≥6.5	≥6.5
25%析液时间(mm,20℃)		≥6.0	≥6.0
90%控制时间(s)		≤60	≤60
灭火时间(s)		≤90	≤90

氟蛋白泡沫灭火剂的使用方法与蛋白泡沫灭火剂相同。它主要用于扑救各种非水溶性可燃、易燃液体和一般可燃固体的火灾。

氟蛋白泡沫灭火剂不能用于扑救水溶性可燃、易燃液体和遇水燃烧爆炸物质以及带电设备的火灾。

9)水成膜泡沫灭火剂:

水成膜泡沫灭火剂又称"轻水"泡沫灭火剂或氟化学泡沫灭火剂,是一种新型高效泡沫灭火剂。

它扑救石油产品的火灾是靠泡沫和水膜的双重作用,其中泡沫起主导作用,而泡沫的灭火作用优于蛋白泡沫和氟蛋白泡沫;水膜的灭火作用是在油类表面形成一层很薄的水膜。

"轻水"泡沫具有非常好的流动性。它在油面上堆积的高度仅为蛋白泡沫的1/3,就能迅速流动扩散,再加上水膜作用,更能迅速扑灭火焰,它的灭火效能约为蛋白泡沫的3倍。

"轻水"泡沫的主要性能见表7.6.1—9。

表7.6.1—9　**"轻水"泡沫灭火剂技术性能表**

项目		配方代号	
		1号	5号
密度(25℃)		0.992	0.992
粘度(10^{-3}Pa·s,20℃)		4.8	4.8
pH值		8.4	8.4
凝固点(℃)		−3	−3
沉降物(%)		0.2	0.2
沉淀物(%)		痕迹量	痕迹量
高温稳定性	沉降物(%)	0.24	0.22
	沉淀物(%)	痕迹量	痕迹量
6%预混液的表面张力 γ_s(25℃,10^{-5}N/cm)		16.0	14.9
发泡倍数		7.5	7.0
25%析液时间(min)		3.0	3.0
90%控制时间(s)		25	24.5
灭火时间(s)		40	36

注:表面张力按美国材料协会标准ASTMOD1331−56D1971规定的方法,用Du Nouey表面张力仪测定;其余各项均按公安部标准GN14−81"蛋白泡沫灭火剂、氟蛋白泡沫灭火剂试验方法草案"测定。

"轻水"泡沫适用于扑救一般非水溶性可燃、易燃液体的火灾,且能迅速地控制火灾的蔓延

和扑灭火灾；与各种干粉灭火剂联用时，效果更好，不仅如此，“轻水”泡沫还可以进行液下喷射灭火。

“轻水”泡沫灭火剂使用的混合比为6%型（国外还有3%型），可以适用于通用的低倍数泡沫灭火设备，使用方便。

“轻水”泡沫灭火剂不能用于扑救水溶性可燃、易燃液体和电器及金属火灾。

10）抗溶性泡沫灭火剂：

用于扑救水溶性易燃液体火灾的泡沫灭火剂称为抗溶性泡沫灭火剂。水溶性溶剂有醇、酯、醚、醛、酮、有机酸、胺等。

抗溶性泡沫灭火剂为深棕色的液体，其主要技术性能见表7.6.1—10。

表7.6.1—10 **KR－765型抗溶性泡沫灭火剂技术性能表**

项　　目	指　　标	说　　明
密度（20℃）	1.18～1.20	
pH值（20℃）	9～11	
粘度（20℃）	≤6°E	用恩氏粘度计测定
冻结点（℃）	≤－15	将泡沫液冷冻至－40℃观测解冻温度
发泡倍数	≥6	用6.25L/s泡沫产生器在0.5MPa压力下产生泡沫，用1400mL浅盘测定倍数
25%析液时间（min）	≥2	用直径为186mm，高为50mm的析液盘测定
耐液性（%）	≥30	用95%乙醇测定
抗烧时间（min）	≥3	用95%乙醇测定
灭火时间（min）（$2m^2$盘）	≤2	燃料为95%乙醇，用6.25L/s泡沫产生器产生泡沫，混合液供给强度为15L/(min·m^2)

抗溶性泡沫灭火剂在水溶性易燃液体上具有较好的稳定性，可以抵抗水溶性易燃液体的破坏，所以可用于扑救乙醇、甲醇、丙酮、醋酸乙脂等水溶性易燃液体所引起的火灾。虽可扑救一般油类火灾和固体火灾，但价格较贵，一般不采用。

抗溶性泡沫灭火剂使用的混合比为6%～7%，灭火时的混合溶液供给强度一般在15L/(m^2·min)以上。使用时不能与水预先混合，实际使用中，要尽量缩短抗溶性泡沫与水动态混合的时间，在200m长的管道中，混合溶液的流速不得低于2m/s，时间不得超过100s。灭火时，不能用管枪直接喷在液面上，而应通过缓冲装置缓慢铺满液面，扑灭火灾。

11）高倍数泡沫灭火剂：

它是一种以合成表面活性剂为基料的泡沫灭火剂，它与水按一定比例混合后通过高倍数泡沫发生器，可生成500～1000倍的泡沫，因而称为高倍数泡沫。主要技术性能见表7.6.1—11。

表 7.6.1—11 **YEGZ型高倍数泡沫灭火剂技术性能表**

性能	型号			
	YEGZ6A	YEGZ3A	YEGZ6B	YEGZ3B
外观	浅红色透明液体	浅红色透明液体	浅红色透明液体	浅红色透明液体
密度(20℃)	1.03	1.05	1.04	1.05
pH值(20℃)	7.0～7.5	7.0～7.5	7.0～7.5	7.0～7.5
粘度(10^{-3}Pa·s,20℃)	7～10	10～15	10～15	15～20
流动点(℃)	−15	−7.5	−7.5	−7.5
混合比	6%	3%	6%	3%
发泡倍数	600～700	600～700	850～900	850～900
25%析液时间(min)	>6	>3	>3	>3
90%控制时间(s)	29～33	25～30	30～40	30～40
灭火时间(s)	37～47	35～37	45～55	45～55

注:以上数据系按日本自治省令第26号的规定测定。

灭火机理是由于快速产生泡沫(大型高倍发生器1min可产生1000m^3以上的泡沫),迅速充满着火的空间,使燃烧和空气隔绝,火焰窒息。主要用于扑救非水溶性可燃、易燃液体的火灾和一般固体物质的火灾。

采用高倍数泡沫灭火时,要注意进入高倍数泡沫发生器的气体不得含有燃烧产物(燃烧过的气体、烟尘等)或酸性气体,否则,泡沫容易被破坏。

高倍数泡沫对于扑灭A类火和B类火都是非常有效的。它所具有的冷却性能是扑灭A类火的主要因素,对B类火主要是起窒息作用。当泡沫覆盖了燃烧着的材料之后,A类火就被控制住了,但是,为了彻底扑灭火灾,还需不断地补充泡沫覆盖层,来补充吸收火的热量所消耗的水分,因为泡沫所含的水份对于扑灭火是非常重要的,冷却性能对于扑灭高闪点油类和其他液体的B类火也是有作用的,如润滑油和食用油。冷却作用能够使液体表面的温度降到无法产生易燃挥发气体的程度。高倍数泡沫也可用于扑灭涉及低闪点液体的B类火,如汽油和石油,用法与常规泡沫一样,隔绝空气供应(窒息),使易燃挥发气体无法与空气相混合。

虽然,泡沫本身是无毒的,但是它会阻碍视线,妨碍听觉,并且使呼吸困难。因此,任何人在泡沫中都是危险的。

高倍数泡沫可为固定灭火系统,也可为手提式高倍泡沫发生器,向舱内充填高倍数泡沫,舱应设有释放烟气及热气流的出口。

2.2.4 干粉

干粉灭火剂是一种干燥的、易于流动的粉末。一般借助于专用的灭火器或灭火设备在气体压力的驱动下,将干粉从容器中喷出成粉雾状进行灭火。

1)分类:

按其使用范围,主要分为普通和多用途两大类。

普通干粉灭火剂主要用于扑救易燃液体、易燃气体及带电设备的火灾。多用途干粉灭火剂不仅适用于扑救易燃液体、易燃气体及带电设备的火灾,还适用于扑救一般固体的火灾。

几种普通钠盐干粉灭火剂的主要性能见表 7.6.1—12。

表 7.6.1—12　**几种普通钠盐干粉灭火剂的主要性能表**

项　　　目	钠盐干粉（暂行标准）	改性钠盐干粉（天津消防科研所样品）	硅化钠盐干粉			氨基干粉
			（上海消防科研所产品）	（北京消防器材厂产品）	（沈阳于洪消防器材厂产品）	
含水量（质量%）	≤0.1	≤0.2	≤0.2	≤0.1	≤0.1	≤0.2
颗粒细度（%，200 目筛余物）	≤20	≤20	≤15	≤15	≤20	≤15
比表面积（cm^2/g）	2200～2500	2500～3000	2000～3000	—	—	2000～3500
吸湿性（质量%）	≤1.2	<3.5	≤1.5	≤1.2	<1.0	≤1.5
松密度（g/cm^3）	0.9～1.1	—	0.90～1.10	0.90～1.15	0.9～1.0	0.90～1.00
填充密度（g/cm^3）	—	—	1.10～1.35	1.2～1.4	1.2～1.4	1.10～1.35
相对密度（20℃）	—	2.14	2.17～2.21	2.16～2.20	2.16～2.20	2.17～2.21
结块粘结性（mm）	≥16	—	≥15	>18	16～20	≥15
流动性（s）	18～25	20～25	≤15	<25	12～15	≤15
喷射率（%）	≥90	—	≥90	>90	≥90	≥90
灭火效能（66# 车用汽油）（m^3/kg）	≥0.25	—	—	≥0.55	0.55～0.6	—

多用途干粉灭火剂，目前国内尚无统一的技术性能标准。

2）应用：

干粉灭火剂灭火的主要作用是对燃烧的抑制作用。另外干粉灭火时，浓云般的粉雾包围了火焰，可以减低火焰对燃料的热辐射，同时粉末受高温的作用，将会放出结晶水或发生分解，不仅可吸收火焰的部分热量，而分解生成的不活泼气体又可稀释燃烧区内氧的浓度，但这些作用对灭火的影响远不如抑制作用大。

干粉灭火剂对燃烧物的冷却作用极微，扑救较大面积的火灾时，如灭火不完全或因火场中炽热物的作用，容易引起复燃。这时，需与水雾配合，以改善灭火效果，并可防止复燃。扑救非水溶性可燃、易燃液体的火灾时，干粉与氟蛋白泡沫或轻水泡沫联用，可取得较好的灭火效果。干粉有利于迅速控制火势，泡沫可有效地防止复燃，但应注意，干粉不能与蛋白泡沫和一般合成泡沫联用，因为这两类泡沫对干粉有较大的破坏作用。

干粉灭火剂应在通风、干燥处和在 40℃以下环境中贮存，有效期一般为 5 年。

第 2 章　船舶灭火系统

1　水灭火系统

1.1　系统的组成和布置

根据《钢质海船入级与建造规范》(简称《规范》和《74 安全公约》的要求，无论是自航还是非自航的海船，只要有动力均应装设符合《规范》和《74 安全公约》要求的水灭火系统。

水灭火系统由消防泵、消防管路、水带和水枪等组成；把水通过管路输送到设于船舶各处的消火栓，用水带和水枪施救灭火。

消防水管的布置型式，可分为单路和环路两种，除小船外，无论单路或环路消防水管，根据船舶的情况均需以截止阀将管路分割成两路或两路以上，以防管路局部破损时，使消防管路全部失效。

1.2　消　防　泵

1.2.1　消防泵的数量和排量

根据《规范》和《74 安全公约》的规定，船舶的消防泵可为独立动力泵、卫生泵、压载泵、舱底泵或通用泵，只要不经常用来抽输油类者，均可作为消防泵；如这些泵偶尔用于输送燃油，则需设有适当的转换装置。

各种船舶消防泵的配备和性能见表 7.6.2—1(客船)、表 7.6.2—2(货船)。

表 7.6.2—1　**客船消防泵的配备和性能**

总吨位	数量	排量	消火栓上压力	消防泵的设置
		m^3/h	MPa	
≥4000	不少于 3 台	各泵的排量应不少于各舱底泵用作舱底抽水时所需排量的 2/3	0.31	泵、海水吸入吸动力源的布置，应使任何一舱失火时，不使所有的消防泵同时失去作用
<4000 ≥1000	不少于 2 台		0,27	
<1000	不少于 2 台	取得主管当局同意	经主管当局同意	若任何一舱失火时，可能使所有的消防泵均失去作用，则供给消防水的替代措施需经主管当局同意

表 7.6.2—2　　　　　　　　**货船(液货船)消防泵的配备和性能**

总吨位 t	数量	排量 m^3/h	消火栓上压力 MPa	消防泵的设置
≥6000	不少于 2 台	除应急消防泵外，各泵的排量应不少于按同样大小的客船的每一独立舱底泵用作舱底抽水时所需排量的 4/3，但消防泵的总排量不需超过 $180m^3/h$	≥0.27	2000 总吨及以上的船舶，如任何一舱失火时，所使用的消防泵失去作用，则另需设置固定应急消防泵；但小于 2000 总吨，供给消防水的替代措施需经主管当局同意。
<6000 ≥1000	不少于 2 台		≥0.25	
<1000	经主管当局同意		经主管当局同意	

1)表 7.6.2—1 和表 7.6.2—2 中消火栓上的压力系指由两台消防泵同时工作时，通过任何相邻的消火栓和规定规格的水枪输送该船所需的最大水量(货船的最大水量不超过 $140m^3/h$)在所有消火栓处应能维持的压力。

任何消火栓的最大压力不应超过消防水带所允许的工作压力，否则应在系统中设置安全阀。

2)任何一台消防泵的排量，应不小于所需总排量的 80%除以所需的最少消防泵的台数，但不包括应急消防泵在内。

3)固定式应急消防泵的排量需不小于消防泵总排量的 40%，且不少于 $25m^3/h$。

4)应急消防泵在符合 3)所规定的排量时，在任何消火栓处的压力应不小于表 7.6.2—1 和表 7.6.2—2 所列的数值。

1.2.2　消防供水的布置要求：

1)1000 总吨及以上的客船，至少能从内部布置的任何消火栓上立即获得一股有效的水柱，并保证所需消防泵自动起动持续供水。

2)在周期无人值班的机器处所，或仅需一人值班的货船上，应能立即从消防总管系统在适当压力下供水。这可从驾驶台或防火控制站遥控起动一台主消防泵，或由主消防泵之一对消防总管给予固定增压来实现。对于 1600 总吨以下的货船，根据具体情况，主管机关可以免除此项要求。

1.3　消防水管路

1.3.1　消防水总管和管路

消防水总管和消防水管的直径应足够有效地从两台同时工作的消防泵输送所需的最大出水量；但货船例外，其直径仅需满足输送 $140m^3/h$ 的水量。

1.3.2　隔离阀

在机器处所内设有 1 台或数台主消防泵时，应在机器处所之外易于到达的适当处所设隔离阀，使机器处所内的消防总管能与机器处所外的消防总管隔断。

1.3.3　消防水管路的布置类型

1)单路敷设：一般在主甲板上面，由一根贯通船舶首尾的总管组成，通过垂直和水平的支路输送到船舶各处，如图 7.6.2—1 所示。

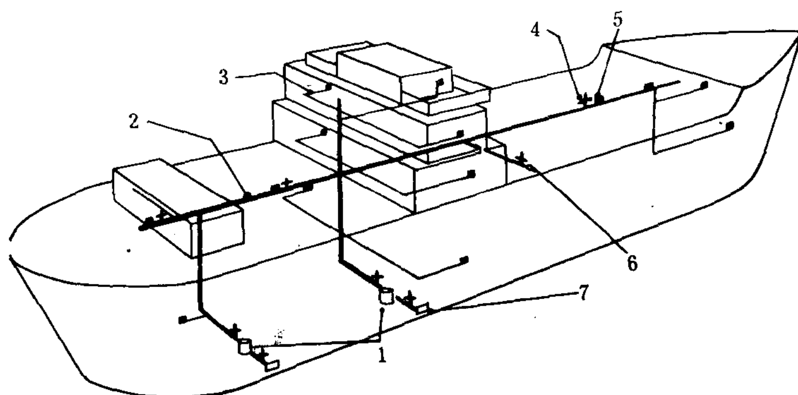


图 7.6.2—1 单路消防管路系统图

1—消防泵；2—供水总管；3—供水支管；4—截止阀；5—消火栓；6—隔离阀；7—通海阀

2)环路系统：由贯道船舶首尾且相互连通的两根平行总管组成，如图 7.6.2—2 所示。在环路系统中，总管上设置必要的隔离阀，在消防管破损时可用以隔断，保证其他消火栓供水。

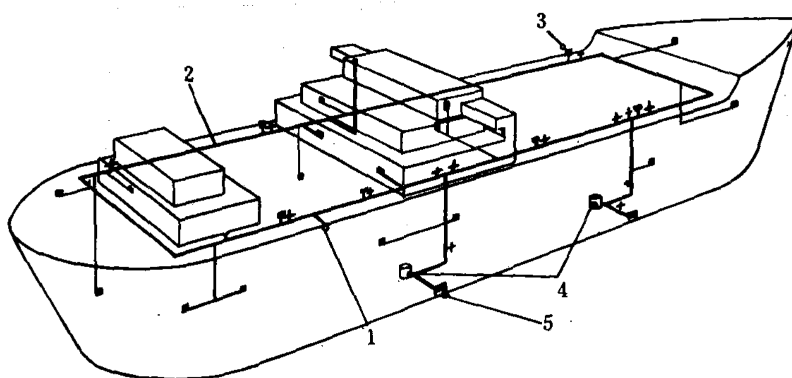


图 7.6.2—2 环路消防管路系统图

1—隔离阀；2—环路供水总管；3—消火栓；4—消防泵；5—通海阀

1.4 消火栓、水带接口、水枪和水带

1.4.1 消火栓

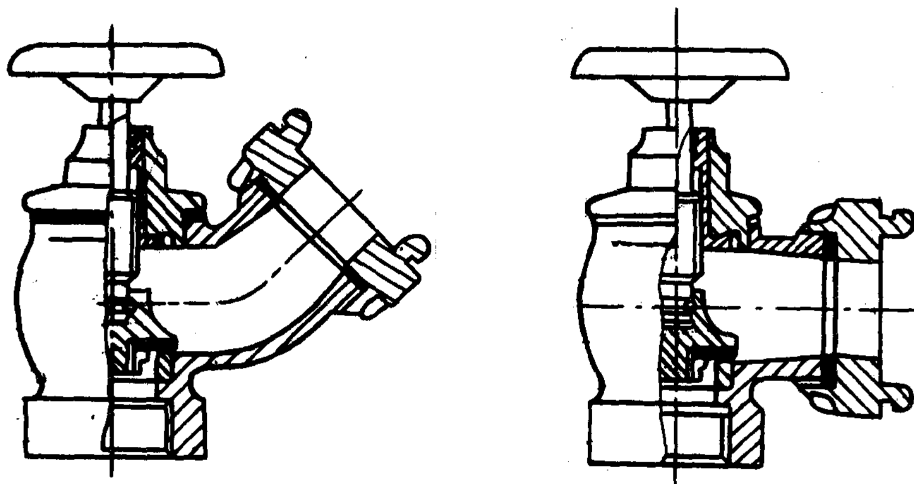


图 7.6.2—3 消火栓构造图

消火栓由截止阀和快速接头组成。标准快速接头的口径为∅50、∅60 和∅80 三种。消火

栓的构造见图 7.6.2—3，其规格性能见表 7.6.2—3。

表 7.6.2—3　　**消火栓规格性能表**

型号	进水口		出水口		强度试验压力(MPa)	密封试验压力(MPa)	工作压力(MPa)	质量(kg)	外形尺寸(长×宽×高)(mm)
	型式	口径(in)	型式	口径(mm)					
SN50	管牙螺纹	2	内扣式	50	1.5	1.0	≤1.0	4.25	165×125×190
SN65		$2\frac{1}{2}$						5.3	180×140×210

1.4.2　水带接口

水带接口用于水带间相互连接，目前使用的主要为铝合金制成的 KD 型内扣式，水带接口的构造型式见图 7.6.2—4，其主要规格性能见表 7.6.2—4。

表 7.6.2—4　　**水带接口规格性能表**

型号(新)	规格(mm)	强度试验压力(MPa)	密封试验压力(MPa)	工作压力(MPa)	质量(kg)	外形尺寸(直径×高)(mm)
KD50	50	2.4	1.6	≤1.6	0.6	95×140
KD65	65				0.8	110×145
KD80	80				1.25	125×170

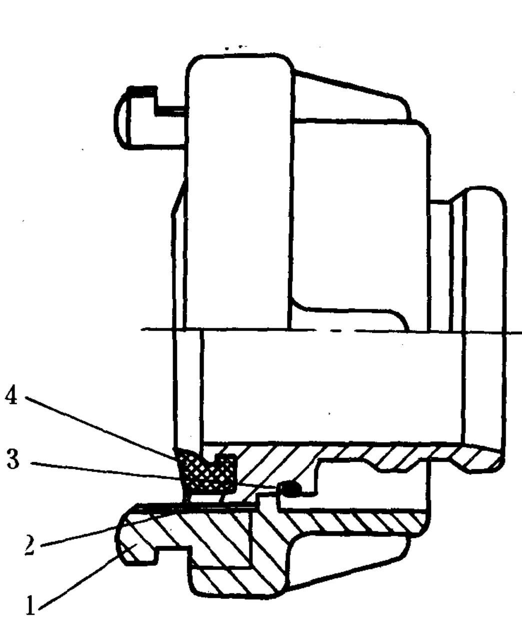


图 7.6.2—4　内扣式水带构造图

1—本体；2—密封圈座；3—挡圈；4—密封圈

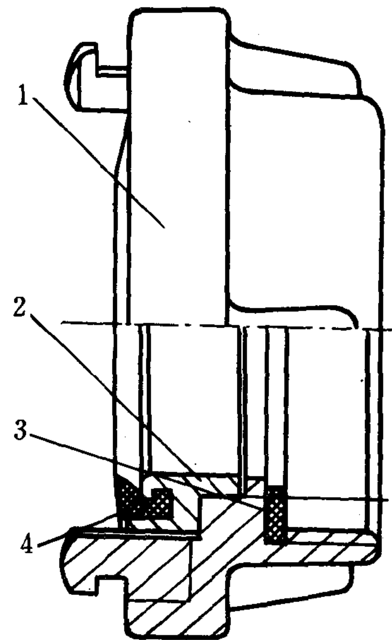


图 7.6.2—5　内扣式管牙接口构造图

1—本体；2—密封圈盖；3—平面密封圈；4—密封圈

1.4.3　管牙接口

管牙接口装配在水枪进水端和消火栓的出口端用来连接水带，接口的一端为内扣式，另一端为管牙螺纹，其构造见图 7.6.2—5，规格性能见表 7.6.2—5。

表 7.6.2—5　　　　　　　　　　　　　**管牙接口规格性能表**

型号	规格(mm)	强度试验压力(MPa)	密封试验压力(MPa)	管牙螺纹规格(in)	外形尺寸(mm)(直径×高)	质量(kg)
KY50	50	2.4	1.6	2	95×52	0.25
KY65	65			$2\frac{1}{2}$	110×54	0.32
KY80	80			3	125×58	0.5

1.4.4　水枪

水枪是一种获得射程和改变水流形式的射水工具，分为直流水枪、水雾、直流两用水枪和喷雾水枪三种形式。

1)直流水枪：

用来喷射密集水柱，水枪的规格一般分为∅13、∅16、∅19 三种。直流水枪的构造见图 7.6.2—6，其规格见表 7.6.2—6。喷嘴在不同口径时的压力、流量和射程见表 7.6.2—7。

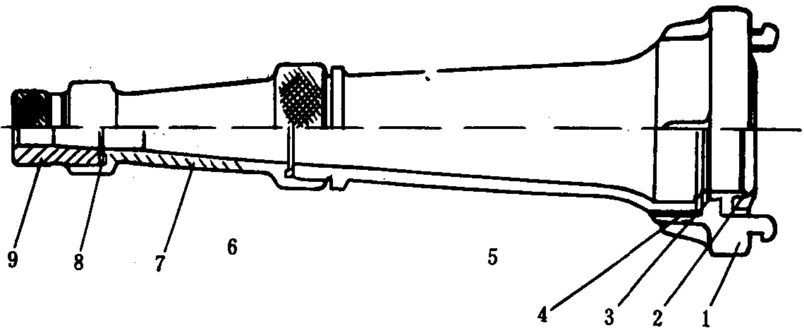


图 7.6.2—6　直流水枪构造图

1—本体；2—密封圈；3—密封圈座；4—平面垫圈；5—枪体；6—密封圈；7—喷嘴；8—密封圈；9—喷嘴

表 7.6.2—6　　　　　　　　　　**直流水枪规格性能表**

型号	材料	进水口径(mm)	喷嘴口径(mm)	外形尺寸(mm)		质量(kg)
				外径	长	
QZ16	铝合金(或铜)	50	13/16	95	295	0.72
QZ19		65	16/19	110	340	0.93

表 7.6.2—7　**直流水枪喷射密集水流的技术性能表**

有效射程 (m)	喷嘴在不同口径时压力和流量					
	喷嘴口径 13mm		喷嘴口径 16mm		喷嘴口径 19mm	
	压力	流量	压力	流量	压力	流量
	MPa	L/s	MPa	L/s	MPa	L/s
6	8.1	1.7	8.0	2.5	7.5	3.5
7	9.6	1.8	9.2	2.7	9.0	3.8
8	11.2	2.0	10.5	2.9	10.5	4.1
9	13.0	2.1	12.5	3.1	12.0	4.3
10	15.0	2.3	14.0	3.3	13.5	4.6
11	17.0	2.4	16.0	3.5	15.0	4.9
12	19.0	2.6	17.5	3.8	17.0	5.2
12.5	21.5	2.7	19.5	4.0	18.5	5.4
13	24.0	2.9	22.0	4.2	20.5	5.7
13.5	26.5	3.0	24.0	4.4	22.5	6.0
14	29.5	3.2	26.5	4.6	24.5	6.2
15	33.0	3.4	29.0	4.8	27.0	6.5
15.5	37.0	3.6	32.0	5.1	29.5	6.8
16	41.5	3.8	35.5	5.3	32.5	7.1
17	47.0	4.0	39.5	5.6	35.5	7.5
17.5	53.0	4.3	43.5	5.9	39.0	7.8
18	61.0	4.6	48.5	6.2	43.0	8.2
19	70.5	4.9	54.5	6.6	47.5	8.7
19.5	82.0	5.3	61.5	7.0	52.5	9.1
20	98.0	5.8	70.0	7.5	59.0	9.6
21	—	—	80.5	8.0	66.0	10.0
22			94.0	8.6	75.0	10.9
22.5	—	—	—	—	86.0	11.6
23	—	—	—	—	—	—

2）水雾直流水枪：

既可喷射密集水柱，也可喷射伞形开花水流。水枪设有调节阀用以控制密集水柱和开花水流。水雾直流水枪的构造见图 7.6.2—7，规格性能见表 7.6.2—8。

表 7.6.2—8　**水雾直流水枪规格性能表**

型　号	接口口径 (mm)	进口压力 (MPa)	直　流		水　雾		质量 (kg)	外形尺寸(mm)	
			出水口径 (mm)	射程 (m)	水雾角	水雾射程(开花面) 宽×远(m)		外径	长
QZH16	50	0.6	16	＞35	＞120°	3.5×4	1.4	95	325
QZH19	65	0.6	19	＞38	＞120°	3.5×5	2.1	110	435

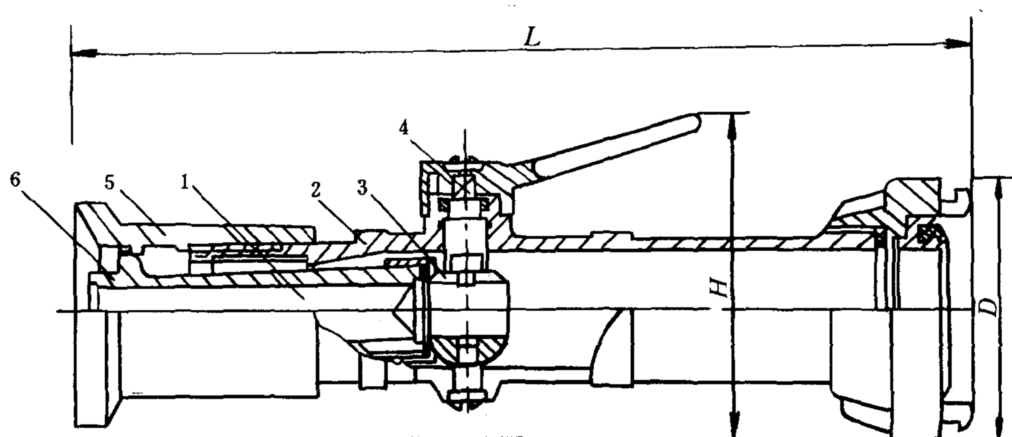


图 7.6.2—7　水雾直流水枪构造图

1—稳流器；2—枪体；3—球体；4—手柄；5—水雾开花圈；6—直流喷雾体

3)喷雾水枪：

在一种带开关的直流水枪的基础上，于控制开关球阀上装置一导流片，使压力水通过导流片雾化。板动球阀手柄可选择喷直流、喷雾状水或关闭。这种水雾适宜于施救重油类火灾、带电设备火灾等。喷雾水枪的构造见图 7.6.2—8，规格性能见表 7.6.2—9。

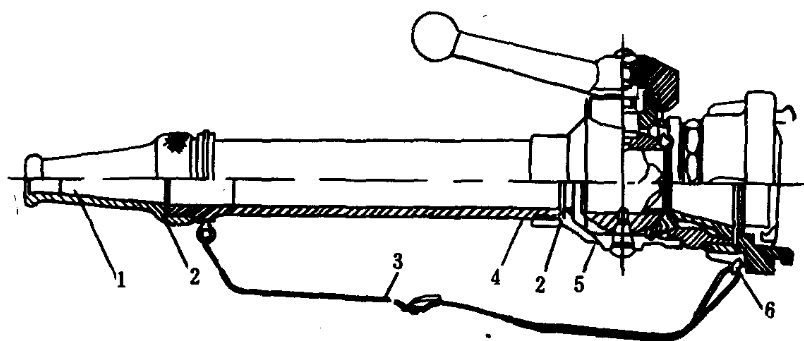


图 7.6.2—8　喷雾水枪构造图

1—喷嘴；2—平面垫圈；3—背带；4—枪体；5—球阀及接口；6—耳环

表 7.6.2—9　**QW48 型雾化喷头规格性能表**

型式	配用水枪型号	与水枪安装尺寸	进水口工作压力(MPa)	有效喷雾距离(m)	喷雾水流直径(m)	雾锥角	流量(L/min)	质量(kg)	外形尺寸(mm)	
									外径	长
双级切向孔式	QZG19	M48×2	0.5～0.7	4～11	4～5.5	80°	410	0.9	90	131

1.4.5　水带

消防水带的材料分麻织、棉织涂胶和尼龙织涂胶三种；水带口径有 50、65 和 80mm 三种，按工作水压分四级，见表 7.6.2—10。

表 7.6.2—10　**水带耐压强度表**

水带分级	甲	乙	丙	丁
最大工作水压(MPa)	≥1	0.8～0.9	0.6～0.7	≤0.6

注：丁级水带只能用于练习，不能用于灭火。

1)麻织水带重量轻，使用方便，但内壁粗糙，压头损失大；

2)棉织涂胶水带防渗性好,阻力小,但重量较重;

3)尼龙织涂胶水带,柔软耐用,阻力小,重量轻,但接口处易脱落。

为使消火栓、水带和水枪随时获得使用,水带卷绕于轮架上,与水枪一起存放箱内,并于消火栓相邻,见布置图 7.6.2—9。

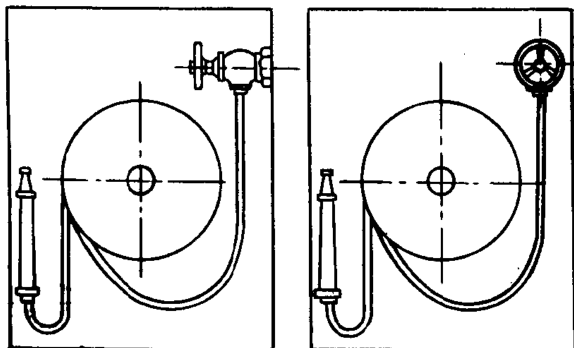


图 7.6.2—9 消火栓、水带和水枪安放布置图

1.5 国际通岸接头

国际通岸接头的一端为标准法兰接头,另一端为适合于与本船消火栓与水带连接的快速接头,此二接头组合成一体,平时应存放于规定的处所,并随时可取。标准法兰接头的尺寸如下:

法兰外径:∅178mm 法兰螺栓及螺母:4副,∅16mm,长 50mm。

法兰内径:∅64mm 法兰螺栓节圆直径:∅132mm。

法兰厚度:14.5mm

法兰槽口:∅19mm 的孔 4 个,等距离分布,在上述的螺栓节圈直径上,开槽口至法兰外缘。

500 总吨及以上的船舶至少应有一只国际通岸接头。

1.6 操作与维护

1.6.1 消防演习

为保持水灭火系统经常处于随时可用状态,定期演习是很重要的一个措施。演习时检查:

1)水带与水枪是否存放在规定的处所,放置的位置能否立即使用;

2)全船的消火栓是否都能开启,特别是露天部分,出水是否通畅,按规定的出水量出水时,消火栓上的压力是否符合要求(见表 7.6.2—1 和 7.6.2—2);

3)消防水管路上的隔离阀能否随时截断损坏部分的管路;

4)消火栓、水枪和水带上的快速接口能否快速连接,接口的密封是否保持有效;

5)水带有无损坏或变质,水枪的射程和(或)形成的水雾是否正常。

6)消防控制站(如设有时)其功能是否继续保持有效。

演习完毕后所有水带、水枪均须置于原来位置,并按原来方式放置。

演习中发现的所有不正常情况和有损坏的部件,需及时修复或更换。

1.6.2 水带的维护保养

水带是水消防系统中的易损部件,为获得较长的使用寿命,应注意以下各点:

1)水带的耐压强度应不低于消防水系统中的最大压力;

2)水带在使用时需避免曲折或扭曲;

3)水带使用后,需凉干后放置;

4)水带卷绕于轮架时应平整。

1.7 试验与检验

1.7.1 新建船舶的检验和试验

1)水压试验：水灭火系统管路的管段在车间制造完毕后，以 1.5 倍设计压力作水压试验。

2)系统在船上安装完毕后，按本章 1.2.1.1)的规定进行试验，在任何消火栓上能维持的压力，对客船需符合表 7.6.2—1 的规定，对货船需符合表 7.6.2—2 的规定。

对小于 1000 总吨船舶，每台消防泵应满足使用任何二个消火栓进行射水试验时，射程应不少于 12m 水柱的高度。

3)固定式应急消防水泵(如设置时)的试验，应按本章 1.2.1.4)进行，任何消火栓上的压力，对客船应满足表 7.6.2—1 的规定，对货船应满足表 7.6.2—2 规定。

4)检验水带、水枪的配置是否符合《74 安全公约》的要求，放置的位置和方式是否正确。

5)检验国际通岸接头是否按要求配置正确。

1.7.2 船舶营运中的检验和试验

除参照上述 2)、3)、4)、5)外，应检查消防水管路上的残水阀是否正常。

2 蒸气灭火系统

在船舶上以蒸气作为主要灭火剂已经过时，在 1948 年《安全公约》允许蒸气灭火系统普遍安装于干货舱、货油舱、机舱和货泵舱。现行《74 安全公约》在某些情况下，仅允许蒸气灭火系统作为辅助灭火系统使用，不允许作为独立的灭火系统，可以说在船上此灭火系统已被淘汰。

3 CO_2 灭火系统

3.1 系统适用范围

CO_2 灭火系统普遍应用于干货舱、货油泵舱、机器处所和燃油设备所在处所等。

CO_2 气体会使人窒息，因此在机器处所等人员工作舱室设置 CO_2 灭火系统时，必须装有施放 CO_2 预告声响信号和施放声响信号装置，使在施放 CO_2 前，保证舱室内的工作人员有足够的时间撤离。

3.2 系统的组成和布置

CO_2 灭火系统由 CO_2 钢瓶、瓶头阀、分配阀、启动装置、管路和压力表等部件组成。

CO_2 灭火系统控制站管路原理图见图 7.6.2—10。

3.2.1 CO_2 钢瓶

CO_2 钢瓶为无缝钢瓶，能承受 24.5MPa 水压试验压力，其容积有 40L 和 67.5L 两种，瓶的装充率为 0.67kg/L，40L 瓶的最大贮存量为 26.8kg，67.5L 瓶的最大贮存量为 45.2kg，目前国内只生产 40L 钢瓶。经检验合格的 CO_2 钢瓶在瓶头上应有容积、净重、水压试验压力、试验日期、钢瓶号码和检验机关钢印等钢印标志。

瓶内 CO_2 的压力随着环境温度和充装率的不同有很大的变化。温度、装充率与瓶内 CO_2 压力的变化关系见表 7.6.2—11。国际上规定的装充率为 0.67kg/L。

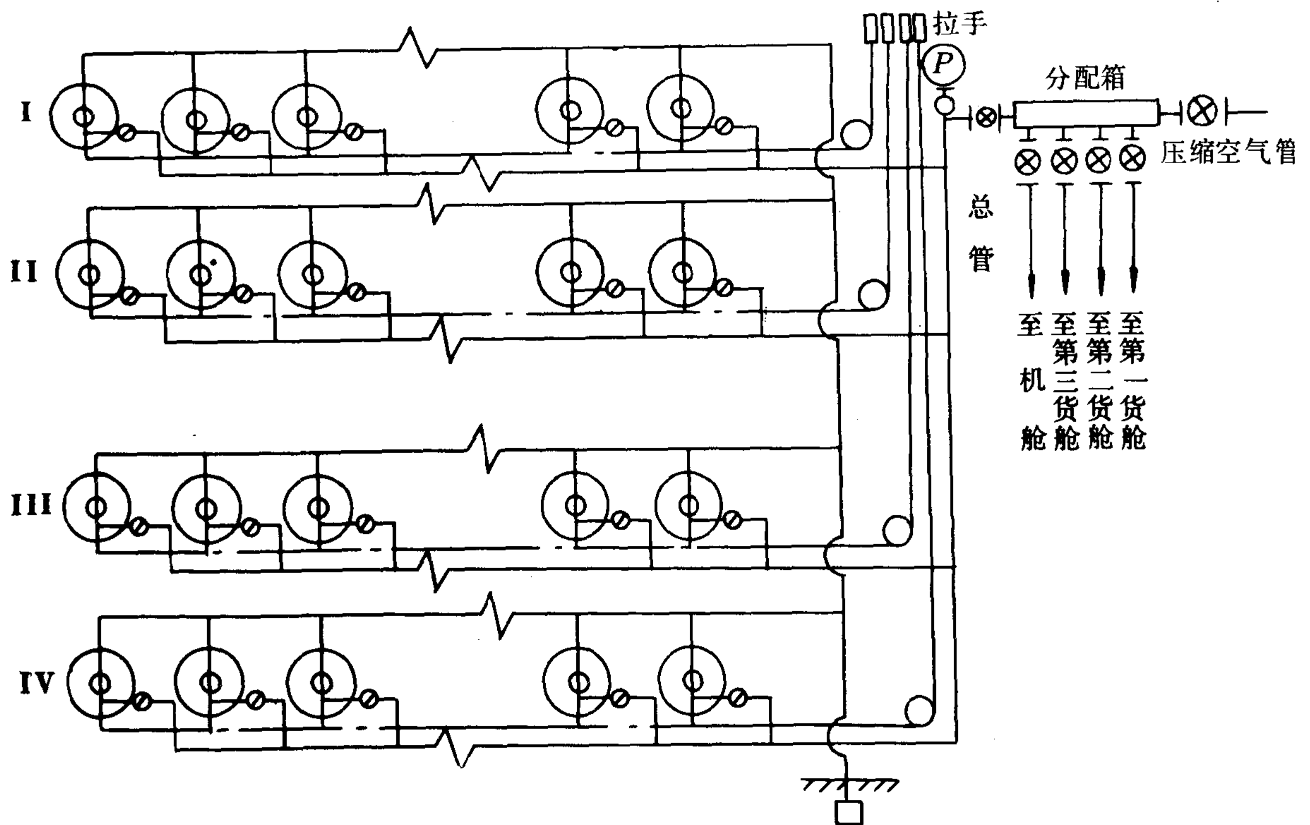


图 7.6.2—10 CO_2 灭火系统控制站管路原理图

表 7.6.2—11 **温度、装充率和瓶内压力关系表**

温度℃	装充率为 0.67 时的瓶内压力(MPa)	装充率为 0.75 时的瓶内压力(MPa)
25		7.86
30		10.01
35	9.23	11.96
40	10.64	13.56
45	12.80	15.16
50	14.39	16.76

3.2.2 瓶头阀

瓶头阀的本体和阀件由铅青铜锻制，放气接头可为铅青铜铸造。瓶头阀上有二出口和一进口；一出口上放置安全膜片，爆破压力为 19±1MPa；另一出口上放置工作膜片，施放 CO_2 时用闸刀阀闸破；进口用于充装 CO_2，由截止阀关闭。瓶头阀与瓶体的连接使用细牙锥螺纹接头旋入瓶体，保持高度密封，螺纹接头并与虹吸管连接，虹吸管的长度伸到离瓶底 5～8mm 处。安全膜片和工作膜片由磷铜片镀金或镀镍制造。安全膜片由于超压或其他原因爆破时，逸出的

CO_2 气体通过固定敷设的连接管通至站室外部空间。工作膜片的闸破有气动或机械两种方式，释放出的 CO_2 通过内径为 10mm 的挠性𫙮连接至集合管，由集合管输送至总管。

气动式闸刀阀用于瓶组较多的系统，机械式闸刀阀用于单个或少量瓶组的系统。气动式闸刀阀和机械式闸刀阀的构造和施放动作分别见图 7.6.2—11 和图 7.6.2—12。

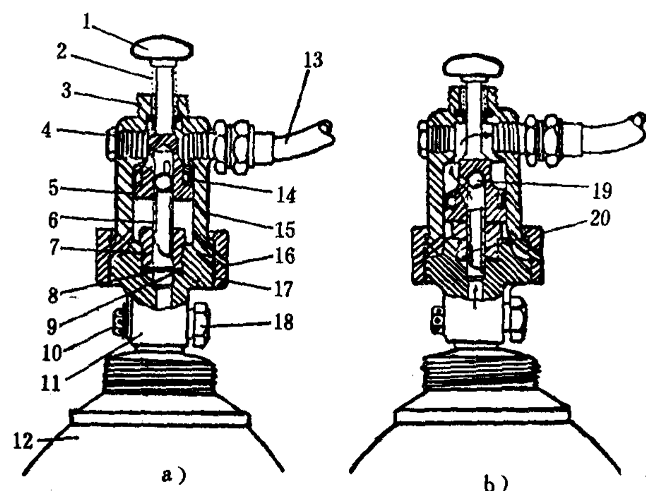


图 7.6.2—11　气动式闸刀阀

1—手动施放按钮；2—不锈钢弹簧；3—安全罩网螺纹；4—闷头；5—铝青铜活塞；6—闸刀；7—压住闸破膜片的螺母；8—闸破膜片；9—垫片；10—压住安全膜片的螺母；11—瓶头阀本体；12—瓶体；13—金属绕性管；14—活塞垫料；15—释放阀本体；16—释放孔；17—环形连接螺母；18—充装旋塞；19—球阀；20—闸破膜片残片

为了保证正确施放 CO_2，应注意闸刀阀的构造：

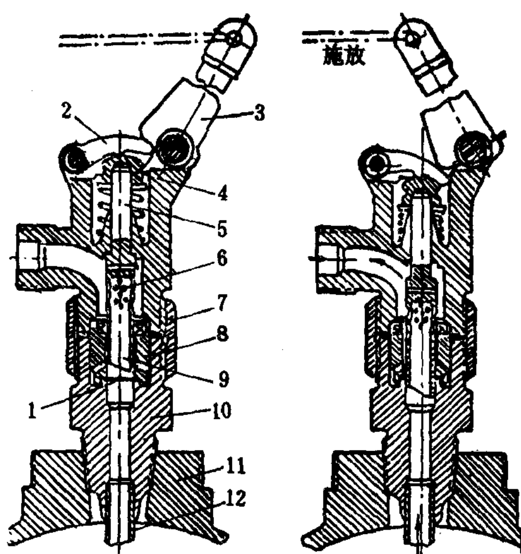


图 7.6.2—12　机械式闸刀阀

1—闸破膜片；2—压杆；3—拉杆；4—压钮；5—芯轴；6—CO_2 释放孔；7—环形连接螺母；8—压住闸破膜片的螺母；9—闸刀；10—瓶头阀本体；11—瓶体；12—虹吸管

(1)闸刀形状应做成如图 7.6.2—13 所示的图形。这种形状的闸刀在膜片被闸破后，能使膜片为 CO_2 冲击翻起，使 CO_2 的流出畅通。

(2)若做成如图 7.6.2—14 所示的刀口形状，膜片在闸破过程中形成卷曲，膜片未能翻起而卡住闸刀，使 CO_2 无法正常施放。

闸刀的行程与闸刀离膜片的距离必须协调一致，以保证闸刀基本上能同时闸破膜片。这对机械式闸刀阀尤为重要，防止因个别钢瓶的膜片先闸破造成背压，使操作者无法再闸破同组钢瓶的其余膜片。图 7.6.2—13 中所示的钢质调整垫圈 2 就是用于调节闸刀与膜片间的距离。

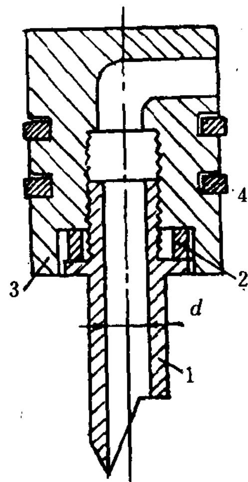


图 7.6.2—13 闸刀正确形状

1—闸刀;2--调整垫圈;3—活塞;4—活塞环

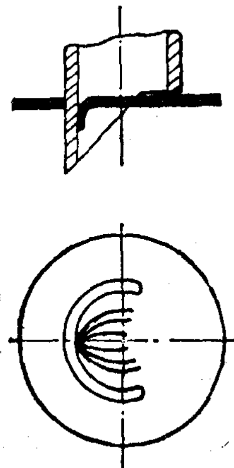


图 7.6.2—14 不正确的刀口形状

3.2.3 管路布置

CO_2 站室内的 CO_2 钢瓶分别由挠性支管连接至各组集合管，在每一挠性管上设置止回阀；集合管连接至总管，总管上设置 25MPa 读数的压力表，总管与分配管连接，分配管上设置所需的分配阀，通过管路直接通至被保护舱室；分配管与总管连接处设置截止阀。

由驾驶台控制的 CO_2 灭火系统，总管的一路敷设至驾驶台；截止阀、分配管、各分配阀、压力表与各分配管路与 CO_2 站室内的相同。站室与驾驶室的 CO_2 分配管路分别互相连接。

CO_2 管路的布置时应注意：

1)由分配阀至每一保护舱室应敷设独立的管路；在各分配阀上需标明被保护舱室的名称；

2)CO_2 管路不得通过起居处所，并应避免通过服务处所；如需通过服务处所时，管子在该区域内不得敷有可拆接头；

3)打开 CO_2 钢瓶的操作手柄应防止能随手开启；

4)对燃油锅炉舱、货油泵舱和内燃机舱，应在 2min 内注入该舱 CO_2 需要量的 85%。为满足上述要求，应注意敷设的管路内径和施放 CO_2 最大数量(kg)的关系，见表7.6.2—12。

表 7.6.2—12 **机器处所 CO_2 管路与 CO_2 最大数量的关系表**

管子内径(mm)	最大 CO_2 数量(kg)
15	60
20	100
32	175
40	275
50	500
65	820
80	1500
90	2400
100	3300
114	4750
127	6800
152	15250

5)被保护舱室内的 CO_2 喷嘴应布置在舱室的顶部，并尽量均匀分布；舱室高度超过 10m 时，应分层设置喷嘴；机炉舱的花铁板下面亦须设置喷嘴。总之，喷嘴的布置应保证 CO_2 能均

匀地分布到整个被保护处所，尤其对机器处所内有高度失火危险的区域，应引起特别注意。

3.2.4 各被保护舱室 CO_2 需要量的确定

各被保护处所所需的 CO_2 量可按下式计算：

$$G=1.79k\cdot V \qquad (7.6.2-1)$$

式中：G——CO_2 需要量，kg；

V——被保护处所的容积，m^3；

k——CO_2 自由气体容积占舱容的百分比，按表 7.6.2—13 选取。

表 7.6.2—13 **k值选取表**

舱室类别	k	备注
干货舱	30%	最大货舱的总容积。
机器处所	40%*	此容积算至机舱棚的一个水平面，在此水平面上，机舱棚的水平面积等于或小于从双层底至机舱棚最低部分的中点处水平面的 40%
	35%*	包括机舱棚在内的全部容积
		* 小于 2000 总吨的货船，上述百分数分别减为 35%和 30%
滚装装货处所	45%	可以密封的最大装货处所总容积，并在 10min 内至少施放气体需要量的 2/3

3.2.5 CO_2 站室

CO_2 站室是放置 CO_2 钢瓶和操纵施放 CO_2 至被保护处所的舱室。

CO_2 站室应设置在上层建筑或开敞甲板上的单独舱室内，不致因被保护处所发生火灾而切断通路。CO_2 站室与相邻处所应气密分隔，站室的门须向外开，门上有观察窗。站室的室内温度需不低于 0℃，也不高于 45℃。站室门的钥匙，有一把放在站室门附近特制的玻璃盒内，以供需要时可随时取用。站室与驾驶台之间应有通讯设施。站室内应有操纵施放 CO_2 的使用说明的指示牌。

3.3 试验

管路及附件的水压试验见表 7.6.2—14。

表 7.6.2—14 **试验压力表**

项目	瓶头阀（MPa）	自瓶头阀至分配箱的管路和阀件（包括分配箱）（MPa）	自分配阀至被保护舱室的管路（MPa）	抽 10%的安全膜片进行爆破试验（MPa）
车间内	22.5	12	1	19±1
装船后	系统装船后应以 0.7MPa 的压力进行气密试验，以后进行压力为 2.5MPa 的功能试验。			

3.4 CO_2的施放

CO_2灭火系统由于应用的部位不同，施放的方式也不相同。施放方式可分为对机器处所的施放和对干货舱的施放。

3.4.1 操作

1)向机器处所的施放

向机器处所施放CO_2时先开启延迟装置发出预告信号，延迟时间不少于30s，人员听到施放CO_2预告信号后，应立即撤离机器处所，如不及时撤离，将导致生命危险。向机器处所施放CO_2的主要步骤如下：

(1)发出声响警报，使人员尽快撤离；

(2)关闭机器处所的天窗，门及其他开口，切断通风；

(3)切断机器处所的燃油供给；

(4)将所需CO_2一次全部放完。

2)向干货舱施放CO_2

干货舱的CO_2灭火管路一般兼作探测火灾的抽烟管，当探烟系统发现货舱失火时，即在驾驶台发出失火警报。向干货舱施放CO_2的主要步骤如下：

(1)确认烟气的存在和失火的部位；

(2)查明被保护处所业已无人；

(3)切断通风及关闭所有开口；

(4)按该舱所需的CO_2进行施放，但一次施放的CO_2不宜多，实践的经验常根据舱内的火灾情况、船舶距离港口的航程，妥善地有间隔地施放部分CO_2灭火剂，直至到达港口。干货舱的火灾一般不能很快扑灭，往往需要几天才能全灭，故在施放CO_2后切忌随意开舱。一般应在到港后开舱，开舱前应向港口当局报告，准备好灭火措施。在施放时应注意，如CO_2向干货舱一次施放过多，可能将舱口盖顶开。

3.4.2 维护与检查

为使CO_2灭火系统随时可用，定期的维护检查工作是不可缺少的，决不可疏忽。

1)月检查：

CO_2灭火系统，每月至少检查一次，检查系统的完整性和安装的正确性，站室内不得堆放杂物，以免影响操作。

2)年度检查：

年度检查应由验船师进行，主要检查内容如下：

(1)每两年对系统中的CO_2进行称重或测量一次，当CO_2总重减少超过原总重的1/10以上，应予补充；

(2)重充的CO_2钢瓶应进行水压试验，并重打试验压力和日期的钢印；装充率应不大于0.67kg/L；

(3)应对站室内的管路、压力表、阀件等进行外部检查，如有疑问可进行水压试验；

(4)每两年应对所有分配管路用0.7MPa的压缩空气作畅通试验；

(5)检查CO_2站室的通信是否良好；

(6)检查CO_2瓶的施放装置，并进行预告信号报警试验。

4 卤代烷灭火系统

4.1 卤代烷1301灭火系统

4.1.1 储存方式

卤代烷1301灭火系统有下列三种布置形式：

1)1301灭火剂与驱动气体分开储存：

此种储存系统，如图7.6.2—15所示。使用时打开氮气瓶上的瓶头阀12，经减压阀8及充氮阀4将氮气充入灭火容器1。然后开释放阀3将灭火剂放至被保护舱室。

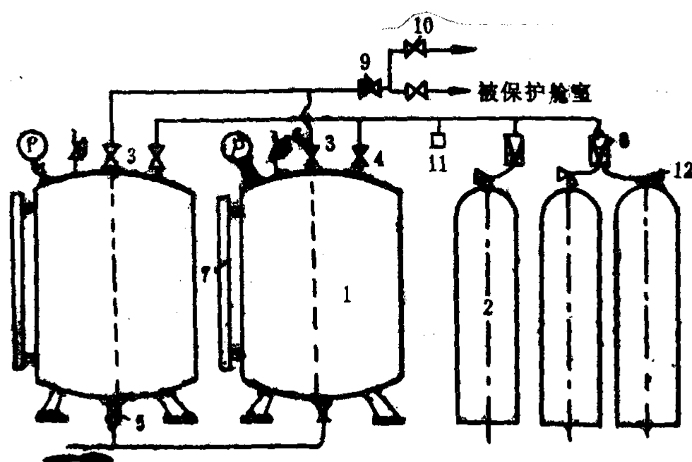
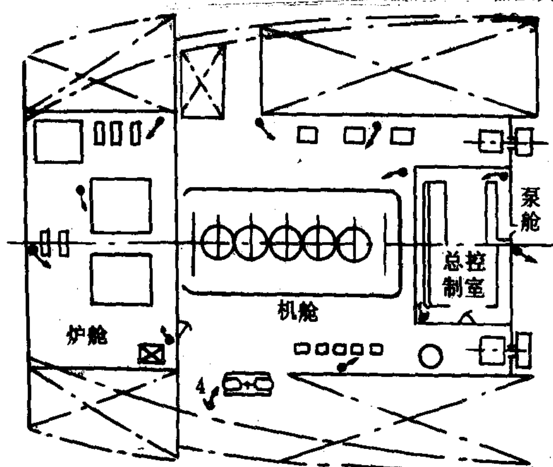


图7.6.2—15 灭火剂与驱动气体分开储存的1301系统

1—1301容器；2—驱动用氮气瓶；3—连虹吸管的释放阀；4—充氮阀；5—装充阀；6—安全阀；7—液面计；8—减压阀；9—总控阀；10—通被保护舱室的施放阀；11—报警器压力开关；12—氮气瓶的瓶头阀



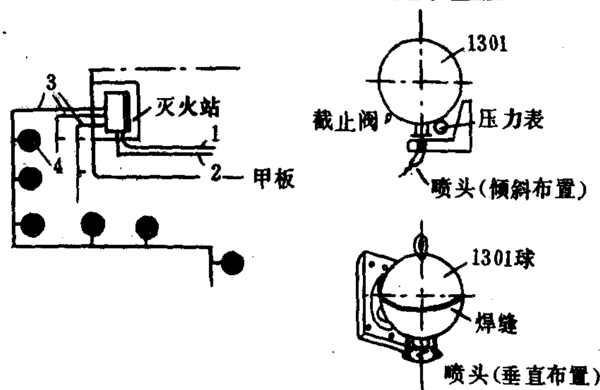


图7.6.2—16 液货船机炉舱1301灭火系统

1—接主电源；2—接应急电源；3—1301球控制电缆；4—1301球容器

该系统的优点是灭火剂容器在常温下压力很低，因此灭火剂不易逃逸，且可采用平板玻璃液面计直接测定灭火剂液位，日常维护及施放灭火剂的操作均很简单方便。

2)1301 灭火剂与驱动气体储存在同一容器内：

此种储存方式各容器可集中安放在站室内，管路的布置及施放装置基本与 CO_2 灭火系统相同。必须定期检查容器内驱动气体压力和灭火刘，并用钴 60 液面计测量称重或直接称重。驱动气体压力一般为 4MPa 左右，以保证有足够压力将灭火剂施放至被保护舱室。

3)1301 灭火剂悬挂容器：

只有 1301 才可储存在被保护的机器处所内，其容器应单独遍布在该处所内。

加压的 1301 悬挂容器通常制成球形或筒形，容器内 1301 加压至 2.5MPa。容器直接悬挂在被保护处所内，其布置图及容器外形如图 7.6.2—16(球形悬挂容器)和图 7.6.2—17(筒形悬挂容器)所示。采用电引爆法施放灭火剂，当打开电爆阀冲破膜片即可释放灭火剂。引爆用的电缆应引至被保护舱室外面的控制站内集中控制，引爆的电源应能由主电源和应急电源供电。电缆应为耐热的矿物绝缘电缆，电缆的布置应使：当有 1/3 线路损坏时，其余 2/3 容器仍能释放进行有效灭火。

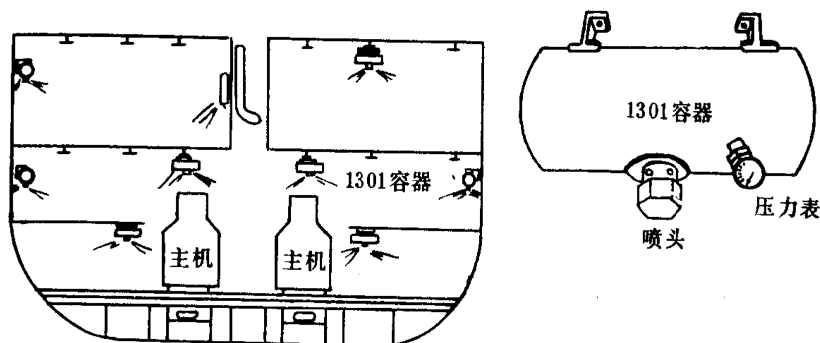


图 7.6.2—17　采用圆筒形容器的 1301 灭火系统

4.1.2　卤代烷 1301 系统的应用

1)灭火剂浓度：

卤代烷 1301 可用于机器处所，货油泵舱以及专门用来装运不装载任何货物的车辆的处所。

当仅用于装运不装载任何货物车辆的处所时，其所需的灭火剂最低浓度应根据被保护处所的总容积来计算。机器处所的灭火剂最大浓度是包括机舱棚在内的净容积来计算，最小浓度是包括机舱棚空间的总容积来计算。如失火后任何空气瓶中的空气可在被保护处所内释放时，应适当增加灭火剂的数量。卤代烷的需要量应按表 7.6.2—15 和式(7.6.2—2)计算：

$$W=\frac{V}{S}\cdot\frac{C}{100-C} \qquad (7.6.2—2)$$

表 7.6.2—15　**1301 的灭火容积浓度表**

处所＼浓度	最大浓度	最小浓度
装货处所	7%	5%
机器处所	7%	4.25%

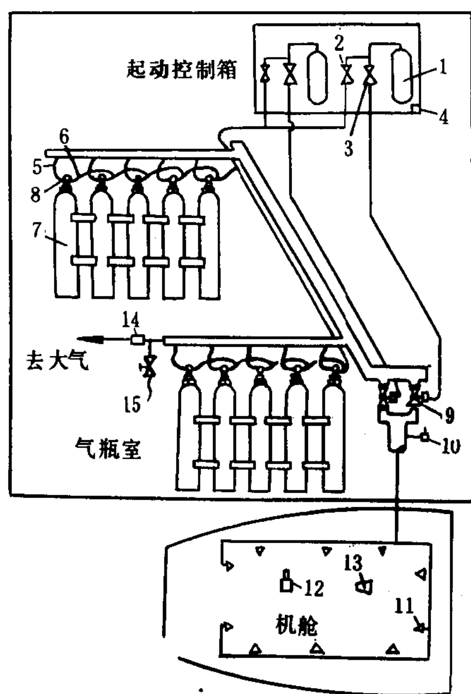


图 7.6.2—18　高压卤代烷(或 CO_2)系统

1—2.2kg 的起动瓶;2—操纵气瓶的选择阀;3—操纵压力动作主释放阀的选择阀,如 2 阀未打开则此阀不能打开;4—操纵机舱报警装置的门扇开关;5—软管;6—起动软管;7—高压瓶;8—压力/手动促动器;9—带开关的压力动作阀;10—关闭机舱通风口的气动压力开关;11—喷嘴;12—旋转闪光灯;13—气笛和号笛;14—压力释放阀;15—压缩空气接头

式中:W——1301 质量,kg;

V——被保护处所的容积,m^3(参见 4.1.2.1)说明;

S——单位质量的容积,为 0.16m^3/kg;

C——容积浓度,%,按表 7.6.2—15 选取。

2)喷放时间:

应能在 20s 之内将卤代烷灭火剂喷入被保护处所。在机器处所内失火危险性高的围闭区域如局部安装自动操作的装置,按液相计算,装置的施放时间应在 10s 之内。

3)喷嘴布置要求:

喷嘴布置应均匀,使灭火剂的最大和最小容积浓度均能满足表 7.6.2—15 的要求,喷嘴的数量应能满足喷放时间的要求。

由于卤代烷的扩散率极高,因此在舭部区域不需要安装喷嘴。

4)容器要求:

储存卤代烷的容器应按国家压力容器标准和船舶规范的要求进行设计、制造。检验合格的容器应有空瓶质量、容器编号、试验压力、试验日期、地点和检验机构的钢印等标志。

5)系统图:

根据驱动氮气的储存方式不同,卤代烷灭火系统的布置也不相同,布置的基本原理与 CO_2 灭火系统相似,如图 7.6.2—18 所示为高压式卤代烷系统,图 7.6.2—19 所示为散装储存卤代烷系统。散装储存卤代烷系统中,主阀和施放阀的开启由高压氮气控制。

6)其他注意事项:

(1)卤代烷贮存容器应设置虹吸管,保证液套卤代烷释放。容器贮存处所的温度不应大于 55℃。

(2)管路的敷设和直径的选择时,应使到达各喷嘴前的流阻损失大致相等,使各喷嘴流出的量也大致相等,这样可使管路和容器中的灭火剂残余量保持最少。

(3)喷嘴的喷射需形成雾状,提高灭火效果,喷嘴的喷射试验可在车间作模拟试验,以确认喷嘴加工的正确性。

(4)开启施放机构应按规定程序进行,使用时间延迟装置报警时,应保证人员在施放前有足够时间撤离被保护处所。报警信号应与其他报警信号有显著区别。

(5)在卤代烷灭火机施放前应停止被保护处所的通风机,停止燃油供应和关闭所有开口。

(6)每个施放站室内应有使用操作说明的指示牌。

(7)可用水对整个系统作完整的施放试验,驱动气体应符合设计选用的要求,这样的试验可得到近似的结果。

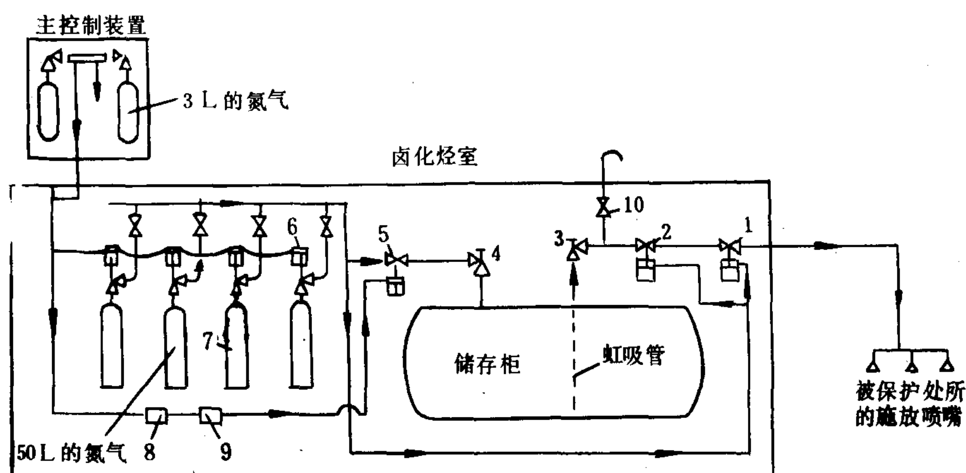


图 7.6.2—19　散装卤代烷系统

1—施放阀；2—主阀；3—截止阀；4—氮气截止阀；5—主截止阀；6—止回阀；7—氮气瓶；8—被保护处所的主报警；9—被保护处所的通风停止器；10—安全阀

4.1.3　局部自动操作系统

此系统应独立设置于机器处所有高度失火危险的围蔽区域内，仅用以补充固定灭火系统，其基本要求如表 7.6.2—16 所示。

表 7.6.2—16　**对局部自动操作系统的要求**

项　　目	基　本　要　求
对被保护处所的要求	被保护处所最好在一个工作平面上，并与出入口处于同一平面。可以允许多于一个工作平面，但每个工作平面上必须备一个出入口。 该处所的大小及其出入口和机械的布置，应能在不超过 10s 的时间内从该处所的任何地方达到脱险目的。
声光信号显示及动作指示	应在该处所的每一出入口外面和驾驶室或消防控制设备集中的处所设有声光信号，以指示本系统的动作情况。应在该处所的每一出入口的外面挂有指示牌，以注明该处所具有自动操作的灭火装置及其所用灭火剂种类。

4.2　卤代烷 1211 灭火系统

卤代烷 1211 灭火系统在被保护处所的布置可分为全浸没系统、局部自动操作系统二类。

4.2.1　全浸没系统

灭火剂 1211 贮存的方式有：1)1211 与驱动气体（氮气）同储于容器内；2)驱动气体与 1211 分开储存。全浸没系统中灭火剂容器必须置于被保护处所之外的站室内，并不至于由于被保护处所发生的火灾而切断通路。

1)主要设备：

1211 全浸没系统主要由 1211 容器，瓶头阀、分配箱、分配阀等组成。系统的布置和构成与 CO_2 灭火系统相同。

(1)1211 容器：

1211 容器一般使用 40L 标准气瓶，但瓶口与瓶头阀连接用 ZG1/4″（即 1 $\frac{1}{4}$″锥体管牙螺纹），瓶头阀下部装设虹吸管，公称通径为 20mm，虹吸管下端做成 30°斜口，距瓶底约 5～

8mm。容器的装充率为 1.20kg/L。

(2)瓶头阀：

瓶头阀的种类甚多，目前国内使用的瓶头阀一般由充装、释放和安全爆破三部分组成。船用的瓶头阀一般为手控式气动闸刀阀。

(3)喷嘴：

喷嘴的结构应使灭火剂在规定压力下雾化良好。目前常用的是具有雾化片的喷嘴，其雾化片和压盖如图 7.6.2—20 所示；用螺旋芯代替雾化片时如图 7.6.2—21 所示；这两种喷嘴都是使灭火剂形成旋转流而喷出。

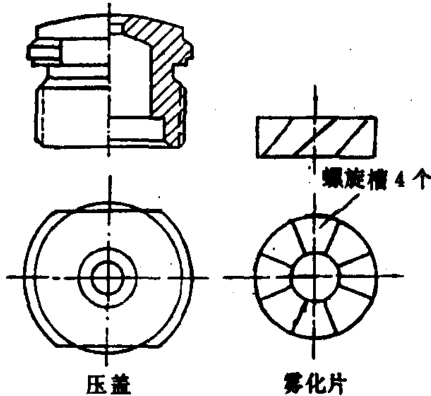


图 7.6.2—20　1211 喷嘴上的雾化片和压盖图

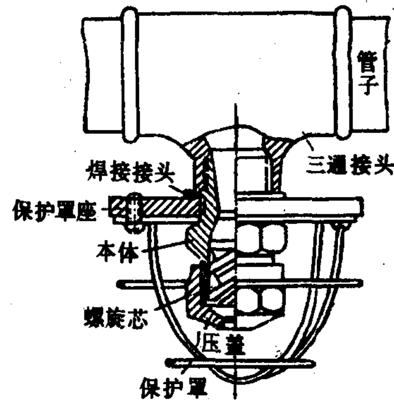


图 7.6.2—21　具有螺旋芯的 1211 喷嘴整结构图

此外，还有四种具有不同喷射角度的 1211 喷嘴，如图 7.6.2—22 至图 7.6.2—25 所示。

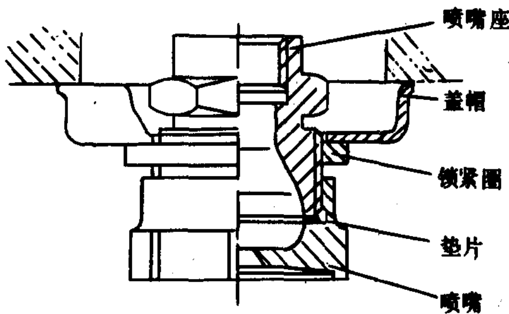


图 7.6.2—22　单孔—孔口型 1211 喷嘴图

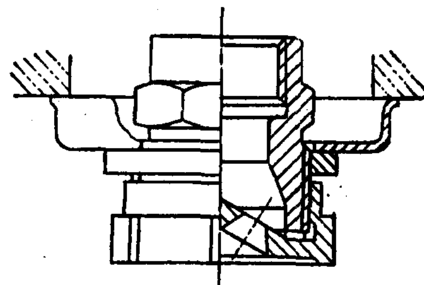


图 7.6.2—23　三孔交射(60°)孔口型 1211 喷嘴图

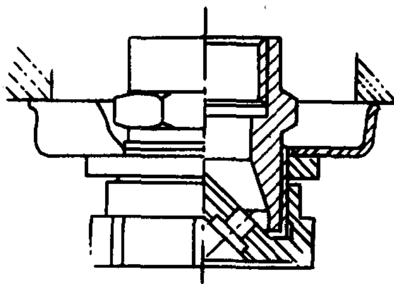


图 7.6.2—24　三孔交射(90°)管嘴型 1211 喷嘴图

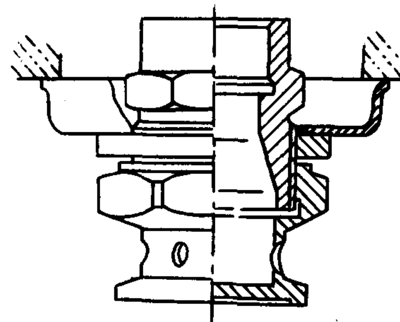


图 7.6.2—25　径向(6 孔)孔口型 1211 喷嘴图

2)喷嘴前喷射压力：

喷嘴前的喷射压力，当环境温度 20℃时，应不低于 0.3MPa。

4.2.2 局部自动操作系统

机器处所有高度失火危险的围蔽区域内，可独立使用 1211 局部自动操作系统用以补充固定灭火系统，它的布置方式与 1301 的局部操作系统相同。

4.3 卤代烷灭火系统的试验和维护

4.3.1 试验

卤代烷灭火系统的灭火管路在车间应以 1.5 倍设计压力进行水压试验，上船后以0.7MPa 的压力进行气密试验，然后以压缩空气进行畅通试验，以检查各喷头的畅通情况。

4.3.2 维护

对卤代烷灭火系统的维护、检查大致与 CO_2 灭火系统相同。主要要求如下：

1)贮放液体卤代烷灭火剂的容器应定期进行称重(或液面测量)，若卤代烷的净重比规范设计重量减少 10%时，应予灌充，灭火剂容器的装充率对于 1211 不得大于 1.2kg/L，对于 1301 不得大于 1.10kg/L。

2)对于氮气加压的卤代烷系统中的卤代烷容器，尚应检查其瓶内压力，若在原灌充温度下，压力降超过 10%时，应予以充灌。

3)若用压缩空气驱动液体卤代烷灭火剂，则驱动用的空气瓶应按规范受压容器的要求进行检验。

4)灭火管路应以压缩空气作畅通试验，管路及接头(包括附在瓶体上的瓶头阀)进行外部检查。并进行灭火剂施放前预告信号报警试验。

5 低倍数泡沫灭火系统

5.1 类 型

5.1.1 固定式泡沫灭火系统

固定式泡沫灭火系统，由消防泵、泡沫液柜、比例混合器、混合溶液管路、泡沫炮或枪等组成。按水与泡沫液的混合方式主要如下：

1)环泵比例混合式：

泡沫比例混合器安装在消防泵的排出管与吸入管的旁通管上，利用喷射泵原理的比例混合器产生负压，将泡沫液按比例吸入并送至消防泵吸水管，通过消防泵的搅拌作用形成泡沫混合溶液，输至泡沫炮或枪产生泡沫后，进行灭火，如图 7.6.2—26 所示。

水泵的吸水管应保持负压，以取得正确的混合比。

2)测线压入式比例混合式：

比例混合器安装在系统的管路上。利用泡沫液泵将泡沫液送至比例混合器形成混合溶液，而后混合溶液通过泡沫发生器产生泡沫喷射灭火，如图 7.6.2—27 所示。

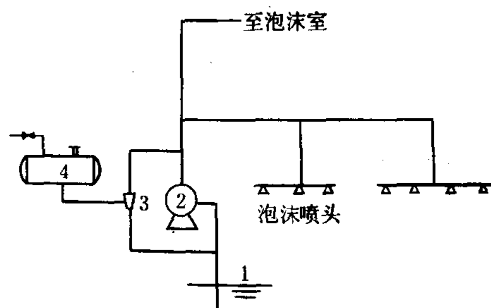


图 7.6.2—26 喷射泵比例混合式泡沫混合

1—水源；2—消防泵；3—比例混合器；4—泡沫柜

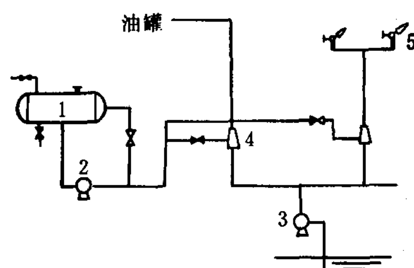


图 7.6.2—27 测线压入式比例混合式

1—泡沫液柜；2—泡沫液泵；3—消防泵；4—比例混合器；5—泡沫炮

5.1.2 移动式泡沫灭火设备

它由泡沫枪、可携泡沫液桶、水带等组成，泡沫枪上附有吸取泡沫液的虹吸软管，使用时将软管插入可携泡沫液桶内，当泡沫枪出水时，即可产生空气泡沫，这种设备主要用于火灾初期和小范围火灾灭火。

5.2 系统布置

低倍数泡沫灭火系统目前主要用于保护液货船货轮的甲板区域，几种具体布置如图7.6.2—28、图 7.6.2—29 所示。

5.2.1 泡沫控制站

控制站一般设于液货舱区域后部尾楼内的适当处所，其所在位置应不致被所保护的处所或区域的火灾切断通路。控制站内一般设有泡沫液贮存柜、泡沫溶液混合器、控制设备和将混合后溶液输出的管路。

5.2.2 供水泵

供水泵一般都使用船上的消防泵，布置于机舱内，向泡沫控制站供水。消防泵按所需排量供给甲板泡沫系统时，从消防总管按所需压力应同时喷射出最少数目的水柱(一般为二股水柱)。

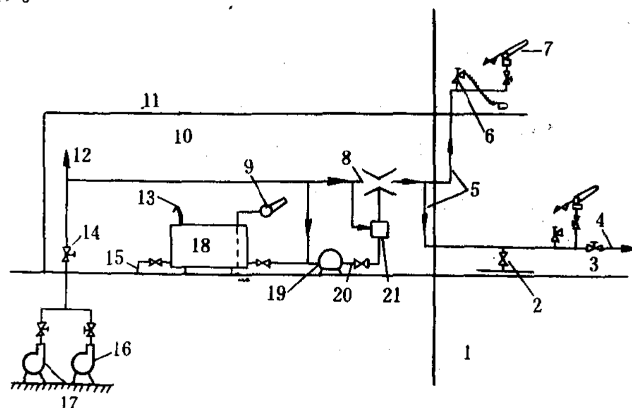


图 7.6.2—28 具有比例混合器的甲板泡沫灭火系统

1—货油舱；2—泡沫溶液支管截止阀；3—截止阀；4—甲板泡沫溶液总管；5—泡沫溶液管；6—泡沫枪软管接头；7—泡沫炮(左右舵)；8—比例混合器；9—充注泵；10—泡沫站；11—尾楼甲板；12—至消防总管；13—空气管；14—隔离阀；15—泄放管；16、17—机舱总用泵和消防泵；18—泡沫液柜；19—泡沫液泵；20—泡沫液输出管；21—泡沫液压力调节器

5.2.3 泡沫溶液输送管和泡沫炮的布置

1)泡沫炮的布置：

在尾楼甲板的两侧面向液货舱区域应各设置泡沫炮一具，在液货舱区域沿船的纵向布置，其数量应根据泡沫炮能保护的面积确定。

2)泡沫溶液输送管：

由泡沫控制站输送至尾甲板两侧和沿船的纵向至各泡沫炮。输送管在各泡沫炮的前方应设置截止阀，并在各泡沫炮处设有泡沫枪的软管接头，每台泡沫炮处应不少于两个接头。

3)小于4000载重吨的油船，泡沫枪可以替代泡沫炮，每支泡沫枪的喷射量应不少于要求的泡沫溶液供给速率的25%(见5.2.4—1)和2)。在尾楼两侧应各设1只用于泡沫枪软管的接头。

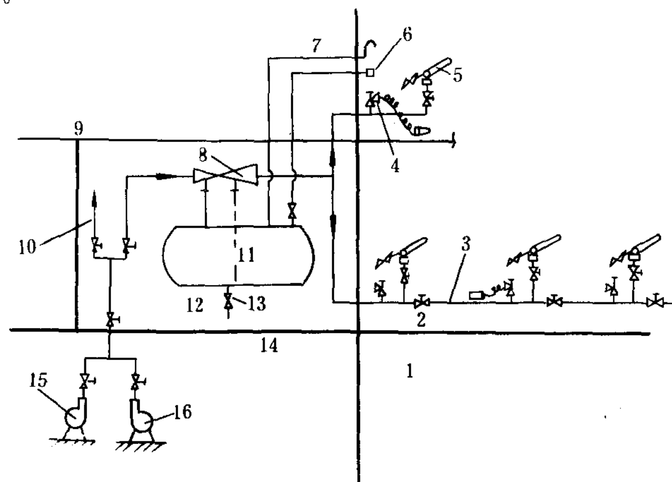


图7.6.2—29 具有比例抽吸器的甲板泡沫灭火系统

1—货油舱；2—主甲板；3—甲板泡沫总管；4—泡沫枪的泡沫带接头；5—泡沫炮；6—充注接头；7—空气管；8—比例混合器；9—尾楼甲板；10—至消防总管；11—泡沫液柜；12—泡沫站；13—泄放阀；14—机舱；15—总用泵；16—消防泵

5.2.4 系统中的泡沫液贮存量

油船泡沫溶液的供给速率应不小于下列数值中的最大值：

1)每立方米液货舱甲板面积为0.6L/min。液货轮甲板面积是船舶最大宽度乘以全部货油舱区域的纵向总长；

2)具有最大水平截面面积的单个货油舱，每立方米为6L/min；

3)按最大泡沫炮保护的区域(应全部位于泡沫炮的前方)，每立方米为3L/min，但不应小于1250L/min。

船上所备的泡沫液数量，在上述泡沫溶液供给速率下，对装有惰性气体的油船至少应能足够产生泡沫20min，对未装惰性气体系统的油船至少应能足够产生泡沫30min。泡沫膨胀率不应超过12:1。

5.2.5 泡沫炮、枪的保护面积

泡沫炮的数量和位置应能保证将泡沫输送到全部液货舱区域，从泡沫炮到它前方所保护的区域的最远距离，应不大于该泡沫炮在平静空气中射程的75%。

泡沫枪的装设应保证在灭火操作中动作灵活，并复盖住泡沫炮所保护不到的区域。任何一个泡沫枪的容量都不应小于400L/min，在平静空气中的射程不小于15m。每一油船上至少配有4支泡沫枪。

5.2.6 空气泡沫比例混合器

空气泡沫比例混合器有两种类型：

1)环泵式空气泡沫负压比例混合器：

安装方式见5.1.11)，它的系列有PH32、PH32·C、PH48、PH64、PH64·C五个型号。其中PH32·C和PH64·C为船用型号。其构造形式见图7.6.2—30，技术性能、尺寸与质量分别见表7.6.2—17和表7.6.2—18。

当压力水通过喷嘴6以一定速度喷出时，使混合室形成真空，空气泡沫液被吸入混合室与

水混合，通过扩散管5继续混合后输出。

调节球阀上有控制吸入、输出泡沫液量的不同直径的孔，指示牌上标有4、8、16、24、32……等混合液量读数。

表 7.6.2—17　　**泡沫比例混合器技术性能**

型　　号	PH32、PH32·C					PH48				PH64、PH64·C			
混合液量(可调)(L/s)	4	8	16	24	32	16	24	32	48	16	32	48	64
泡沫液量(L/s)	0.24	0.48	0.96	1.44	1.92	0.96	1.44	1.92	2.88	0.96	1.92	2.88	3.84
进口工作压力(MPa)	0.59～1.37												
出口工作压力(MPa)	0～0.05												

表 7.6.2—18　　**泡沫比例混合器尺寸与质量**

<table>
<tr><th rowspan="2">型　号</th><th colspan="10">尺　寸 (mm)</th><th rowspan="2">质量(kg)</th></tr>
<tr><th>L</th><th>L₁</th><th>H</th><th>H₁</th><th>D</th><th>D₁</th><th>B</th><th>C</th><th>d</th><th>R</th></tr>
<tr><td>PH32</td><td rowspan="5">263</td><td rowspan="5">92</td><td rowspan="2">260</td><td rowspan="5">100</td><td rowspan="5">G1 1/2″</td><td rowspan="5">40</td><td rowspan="5">80×80</td><td rowspan="5">60×60</td><td rowspan="5">9</td><td rowspan="5">10</td><td>5.2</td></tr>
<tr><td>PH32C</td><td>7.4</td></tr>
<tr><td>PH48</td><td>315</td><td>5.5</td></tr>
<tr><td>PH64</td><td rowspan="2">260</td><td>5.2</td></tr>
<tr><td>PH64C</td><td>7.4</td></tr>
</table>

起动消防水泵，将水压调节到泡沫发生器所需的进口压力(0.5MPa)；并将比例混合器的比例指针拨到所需要的读数上，开启比例混合器阀和泡沫液进入阀，水与泡沫液按规定比例混合后输出。

这种比例混合器不宜在正压条件下工作，否则不能按比例混合。用完后一定要用清水冲洗，以防腐蚀或堵塞。

2)空气泡沫压力比例混合器：

它用于固定式泡沫灭火系统，将水和泡沫液按比例混合，形成混合溶液后输送。其构造见图7.6.2—31，技术性能见表7.6.2—19。此种装置一般在陆上使用。

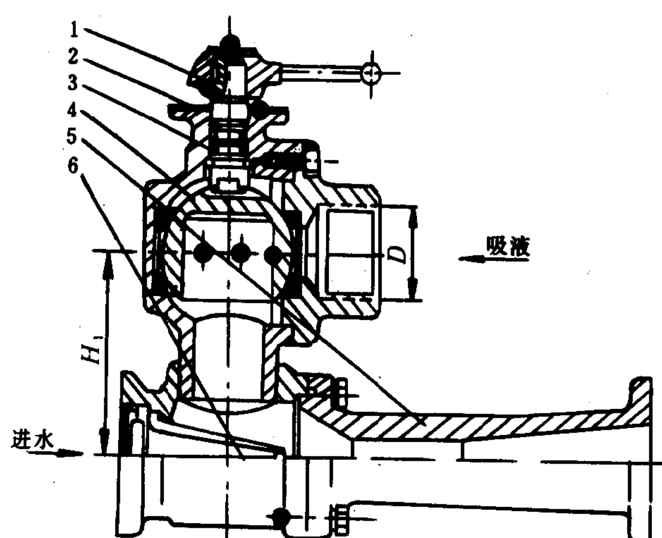


图 7.6.2—30　PH系列空气泡沫比例混合器构造图
1—手柄；2—指示牌；3—阀体；4—调节球阀；
5—扩散管；6—喷嘴

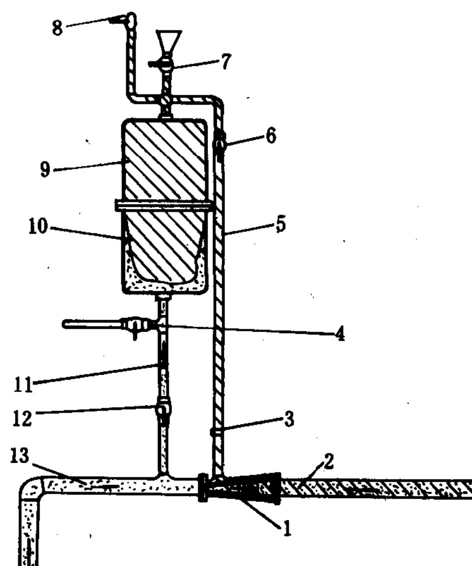


图 7.6.2—31　泡沫压力比例混合器原理图
1—比例混合器；2—混合溶液输出管；3—液孔板；4—放水阀；5—排出泡沫液管；6—排出球阀；7—加液阀；8—放气阀；9—泡沫液罐；10—柔性橡胶隔膜；11—水支管；12—进水阀；13—供水管

表 7.6.2—19　　**压力比例混合器技术性能**

型　　号	标定工作压力 (MPa)	混合液量 (L/s)	泡沫液量 (L/s)	混合比	泡沫液罐容量 (L)	外形尺寸 (长×宽×高) (mm)	质量 (kg)
PHY32・C	1.0	32	0.48～1.44	3.0%～3.5%	700	10080×1125×2150	500

5.2.7 泡沫炮

是喷射空气泡沫的设备。

1)船用系列有 PP32・C 和 PP40・C 两种型号，炮筒能回转和改变仰俯角，泡沫溶液通过其中的泡沫发生器吸入大量空气，形成空气泡沫后喷出，操作灵活方便，其构造如图 7.6.2—32 所示。炮口装有扩散装置可控制泡沫和或水引成直射或散射，根据需要随意选用。PP32C 和 PP40C 两种泡沫炮的技术性能见表 7.6.2—20 或图 7.6.2—33 和图 7.6.2—34 中曲线。

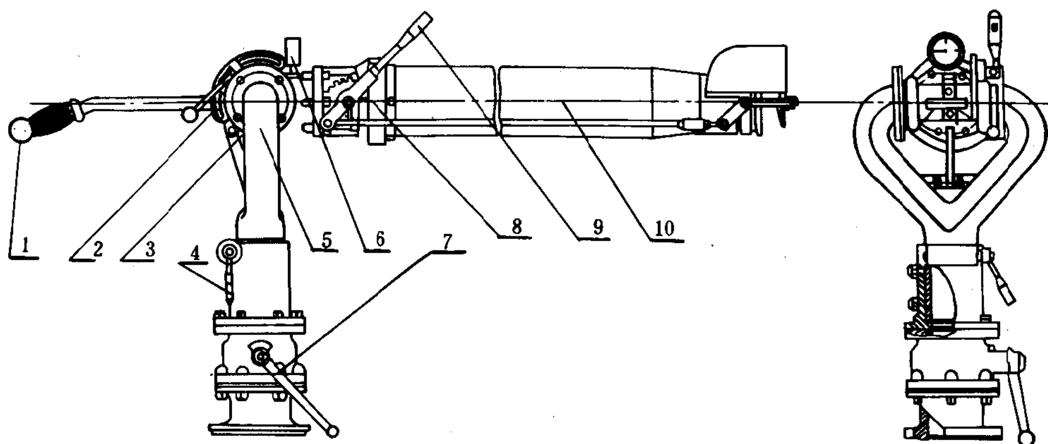


图 7.6.2—32　PP$^{32}_{40}$C 型空气泡沫炮构造图

1—炮操纵手柄；2—仰俯机构锁紧手柄；3—挂钩；4—水平回转机构锁紧柄；5—立柱；6—压力表；7—80mm 球阀；8—泡沫发生器；9—扩散装置操纵手柄；10—炮筒

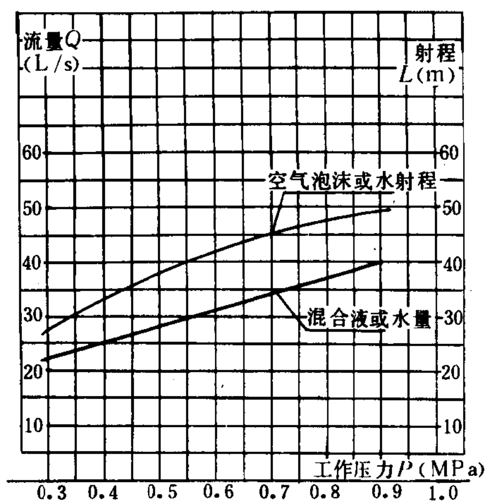


图 7.6.2—33　PP32・C 型空气泡沫炮性能曲线

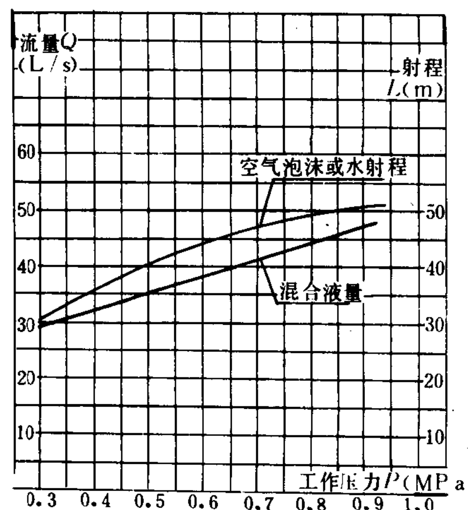


图 7.6.2—34　PP40・C 型空气泡沫炮性能曲线

表 7.6.2—20

泡沫炮技术性能

型　号	标定工作压力(MPa)	混合液量(L/s)	泡沫量(L/s)	射程(m)		仰射角	俯射角	水平回转	炮口直径(mm)
				直射	散射				
PP32・C	0.7	32	≥200	≥40	≥16	+70°	−60°	360°	110
PP40・C	0.7	40	≥250	≥45	≥18				

2)维修：

定期作模拟试验，检查各部件工作是否正常，如有损坏应及时修复，使用完毕后用清水冲洗，用护罩保护。

5.2.8 泡沫枪

1)船用空气泡沫枪有 PQ1・C 和 PQ8・C 两个型号。PQ1・C 型空气泡沫枪为配有泡沫液桶的自给式，泡沫枪可直接用消防水操作。PQ8・E 型空气泡沫枪是非自给式的泡沫枪，用于固定泡沫系统，用软管与泡沫溶液输送管连接。两种型号泡沫枪的构造如图 7.6.2—35 和图 7.6.2—36 所示，其技术性能见表 7.6.2—21 和图 7.6.2—37、38 和 40 中的曲线。PQ1・C 型有滤网组和枪体。两种型号的枪均采用耐海水材料制造。

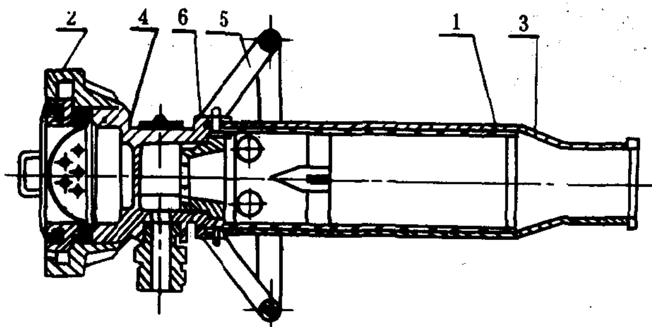


图 7.6.2—35　PQ1・C 型空气泡沫枪构造图

1 滤网；2 管牙接口；3 枪筒；4 枪体；5—手轮；6—喷嘴

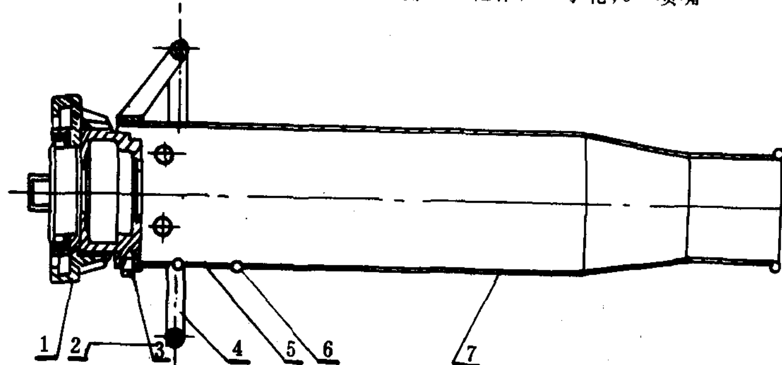


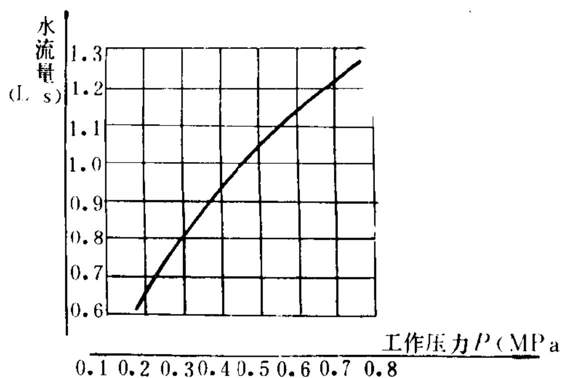
图 7.6.2—36　PQ8・C 型空气泡沫枪构造图

1—管牙接口；2—喷嘴；3—螺钉；4—手轮；5—产品标牌；6—铆钉；7—枪筒

表 7.6.2—21

技 术 性 能 表

型　号	标定工作压力(MPa)	混合液量(L/s)	空气泡沫量(L/s)	射程(m)	外形尺寸(长×宽×高)(mm)	质量(kg)
PQ1・C	0.5	1	6.25	≥0	280×130×130	1.6
PQ8・C	0.3	8	≥50	≥15	455×180×180	3.1



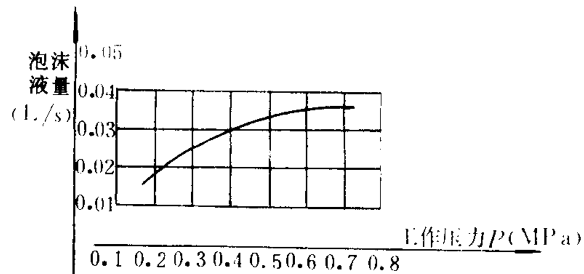


图 7.6.2-37 不同工作压力下 PQ1·C 型水流量·泡沫液量曲线

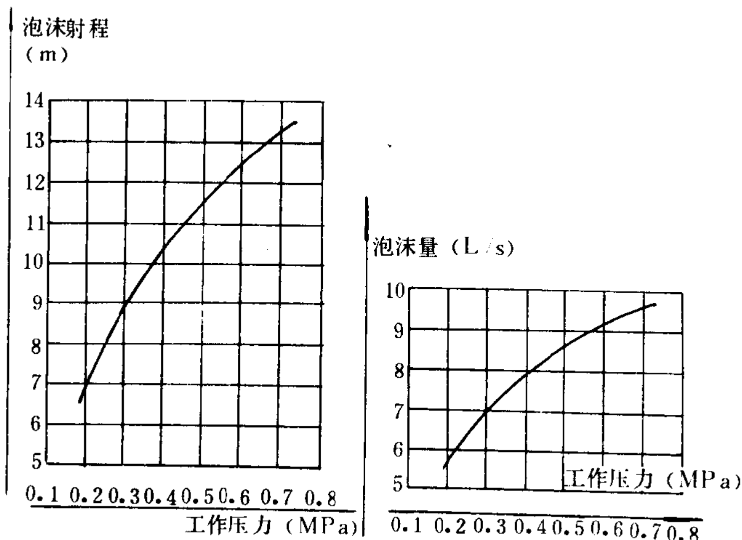


图 7.6.2-38 不同工作压力下 PQ8·C 型泡沫射程泡沫量曲线

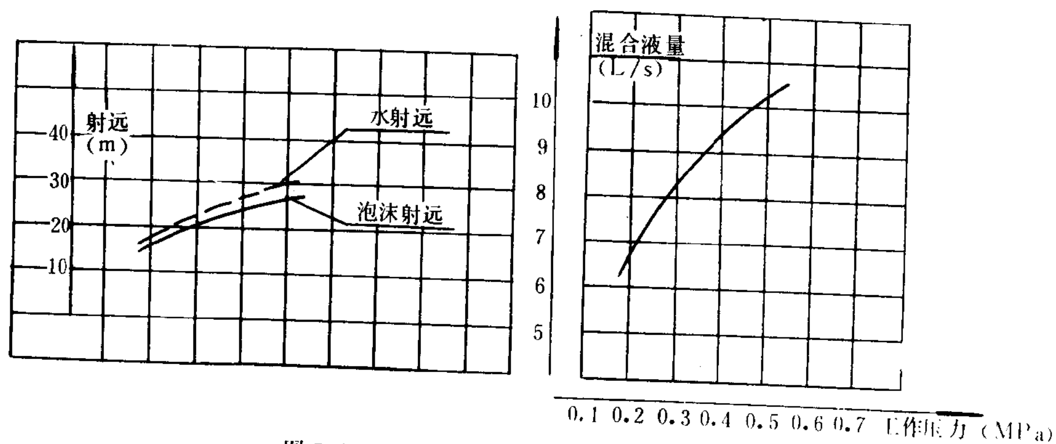


图 7.6.2-39 PQ8·C 型空气泡沫枪性能曲线

2)维修：

为了保证空气泡沫枪随时可用，应定期演习时予以试用，发现损坏及时修复；并用清水冲洗干净。使用完毕后存放于固定位置。

5.2.9 泡沫液

船用低倍数泡沫灭火系统所用的泡沫液应耐海水。泡沫液每年抽样化验一次，如有明显变质应予以更换。

5.3 系统的试验和检查

5.3.1 试验

甲板泡沫系统完工后，应进行泡沫喷射试验，以测定泡沫射程、保护范围和喷射泡沫的质量。

5.3.2 检查

1)检查泡沫液的质量，必要时进行取样化验；

2)定期测定泡沫液柜内泡沫液的储量；

3)泡沫灭火系统进行模拟试验，必要时对部分泡沫液做效用试验。检查射程和水泵能保持的压力。

6 高倍数泡沫灭火系统

6.1 适用范围和有关规定

6.1.1 适用范围

固定式高倍数泡沫灭火系统可安装于会积聚油类或货油船的机器处所或货油泵舱内，用以扑灭易燃液体或液化气体的火灾。

6.1.2 《74 安全公约》和《规范》的规定

《74 安全公约》和《规范》对固定式高倍数泡沫灭火系统的有关规定见表 7.6.2—22。

表 7.6.2—22 **高倍数泡沫灭火系统的有关规定**

项　　目	基　本　要　求
泡沫喷放速率和泡沫储备量	1.泡沫喷放装置应能通过固定喷射口迅速喷出的泡沫量，足以使最大一个被保护处所每分钟铺盖 1m 厚度； 2.泡沫液的储备量应能足够产生泡沫量 5 倍于最大一个保护处所的容积，泡沫倍数应不超过 1000:1。
对泡沫发生器的输送导管	1.应用钢和其他相当的材料制造，其布置应能迅速将泡沫向底层铺开； 2.泡沫导管应设有类似耐火档板的装置，以防止被保护处所失火时烧坏泡沫发生器。
泡沫发生器的动力源、泡沫液及控制系统的设施	应易于到达且操作方便，且应尽可能组合在较少的处所，其所在位置不致被保护处所的火灾所切断。
供水泵	1.应布置在被保护处所外，也可由应急消防泵(供给)； 2.供水泵如为消防泵时供水量应在满足泡沫系统和按所需压力的同时，提供至少两股消防水柱。
输送泡沫的供给导管、泡沫发生器的空气进口和泡沫发生装置的数量	1.应能有足够的泡沫产生和适当分配； 2.取得主管机关的满意。

6.1.3 系统的组成、操作和布置

高倍数泡沫灭火系统主要由供水泵、泡沫液柜、泡沫发生器、管路、操纵机构等组成，与低倍数泡沫灭火系统大致相似；主要不同的是泡沫发生器。

泡沫发生器、发生器的动力源、泡沫液柜以及控制这个系统的设施等的布置见图 7.6.2—40 高倍数泡沫站示意图。

当进行试验时打开通甲板的泡沫门 12 及泡沫门 10，将泡沫放在开敞处所。在灭火时开启门 11 及 10，使泡沫沿导管放入被保护处所。站内设有常备淡水柜，可保证整个设备能即刻使用，即在使用淡水柜水的同时开启应急消防水泵，及时补充泡沫用水。

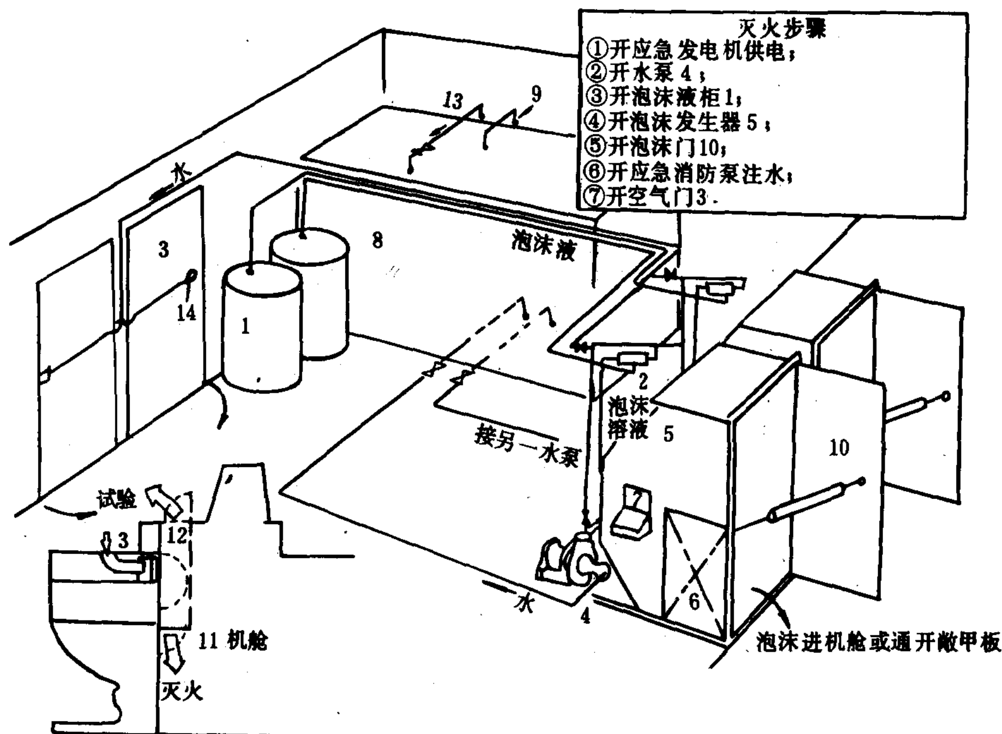


图 7.6.2—40 高倍数泡沫站室示意图

1—泡沫液柜；2—混合器；3—空气门；4—水泵；5—泡沫发生器；6—检查口；7—操纵台；8—常备淡水柜；9—溢流管；10—泡沫门；11—进被保护处所泡沫门；12—通甲板泡沫门；13—接应急消防泵水管；14—液力开门机构

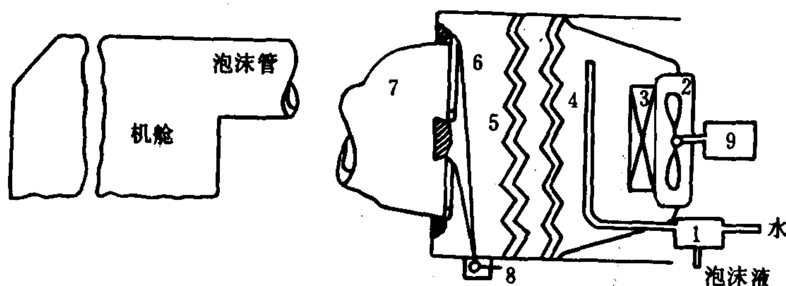


图 7.6.2—41 机舱高倍数泡沫装置

1—混合器；2—风机；3—整流叶片；4—喷嘴；5—尼龙网；6—活页门；7—机舱泡沫管；8—拉活页门的把手；9—电动机

图 7.6.2—41 为某油船机舱的高倍数泡沫装置。这套装置的泡沫形成网 5 为尼龙网。在

尼龙网前设两扇活页门，用供水泵的水压自动控制，当泡沫液喷向尼龙网的同时，用一路水拉动把手开启活页门，这样能使泡沫发生器不受影响并能使泡沫顺利地放入机轮。该系统由下列设备组成：

泡沫发生器一台，排量为 800m³/min；，泡沫发生器的风机参数为风量 1000m³/min，风压。另设泡沫液泵一台，泵出口直径为 12.7mm；电动机一台功率为 19.4kW，同时用来带动供水泵、泡沫液泵和风机。泡沫液柜一只，容量为 1200L，出口直径为 19mm。压力水柜一只，容量为 6700L，出口直径为 50mm。

如高倍数泡沫系统用于保护货油泵舱时，在布置上应能防止货油泵舱的油气进入高倍数泡沫站。

6.1.4 高倍数泡沫发生器

高倍数泡沫的形成是应用 0.4～0.7MPa 压力水经混合器后成为泡沫溶液，并经喷嘴将泡沫溶液喷至泡沫形成网（尼龙网或金属孔板）上。风机产生的空气流经整流叶片后吹向泡沫形成网，将喷在泡沫形成网上的泡沫溶液扰动，产生大量泡沫。风机产生的风速越大，泡沫发生倍数越小，一般风速应控制在 0.4～3m/s 范围内，最大不超过 4m/s。风机的风量约为泡沫容量的 1000 倍。

泡沫发生器有如下几种结构形式：

1）电动风机型高倍数泡沫发生器，见图 7.6.2—42。空气经风机及导流叶片均匀地扰动在泡沫形成网上的泡沫溶液，形成泡沫。

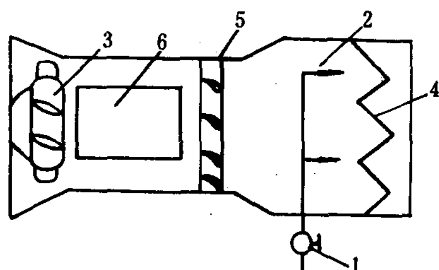


图 7.6.2—42 电动风机型高倍数泡沫发生器示意图

1—泡沫溶液进口阀；2—喷嘴；3—风机；4—泡沫形成网；5—导流叶片；6—电动机

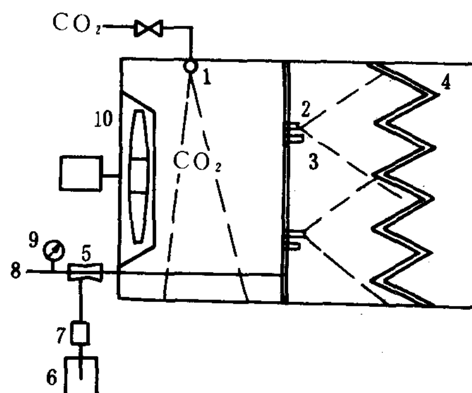


图 7.6.2—43 具有双套喷嘴并使用 CO_2 的高倍数泡沫发生器

1—CO_2 供应管；2、3—第一及第二组喷嘴；4—泡沫形成网；5—混合液；6—泡沫液柜；7—稳流设备；8—水管；9—压力表；10—电动风机

2）具有双套喷嘴并使用 CO_2 的高倍数泡沫发生器，见图 7.6.2—43。图中所示的两组喷嘴，可同时或单组施放泡沫溶液，这样可调节泡沫倍数由 300 变至 1000 倍。为提高灭火效果，也可使用其他惰性气体。

3）水力驱动风机的泡沫发生器见图 7.6.2—44。用节流片 11 来形成阻力，造成流体压力差驱动水轮机。阀 12 用以控制喷嘴的正常压力。最常用的泡沫发生器，其结构外形见图 7.6.2—45。

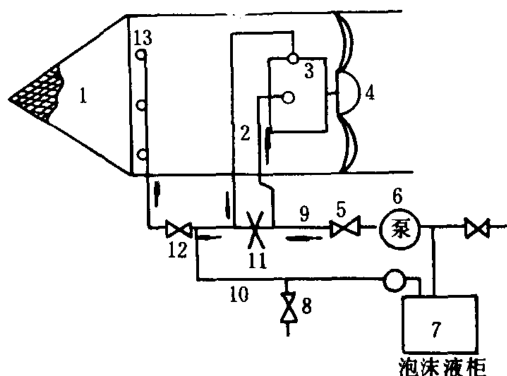


图 7.6.2—44 水力驱动风机的泡沫发生器

1—泡沫形成网；2、9、10—泡沫溶液管；3—水轮机；4—风机；5、8、12—截止阀；6—泵；7—泡沫液柜；11—节流片；13—喷嘴

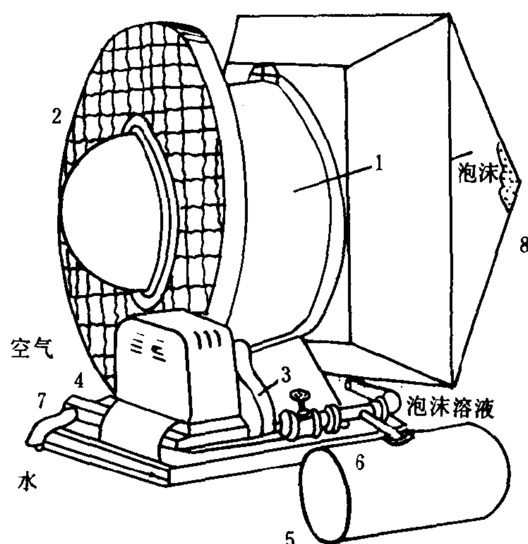


图 7.6.2—45 高倍数泡沫发生器的结构与外形

1—风机及整流叶片；2—吸风口防护罩；3—传动皮带；4—电动机；5—泡沫液筒；6—混合器；7—水带；8 泡沫形成网

国外制造的几种高倍数泡沫发生器的型号规格列于表 7.6.2—23 中。

表 7.6.2—23 **国外生产的一些高倍数泡沫发生器型号规格表**

型号	生产国家	溶液耗量 (L/min)	泡沫液耗量 (L/min)	泡沫发生量 (m^3/min)	水压 (MPa)	动力	供水管直径 (mm)	其他
LG—100	德国	100	2	100	0.4	3.4kW 汽油机		泡沫管直径为 1m
LG—200	德国	200	4	200	0.3	2.5kW 电动机	50	泡沫液柜容积为 150L
LG—500	德国	500	10	500	0.2	4.8kW 电动机	68	泡沫液柜容积为 400L
LG—1000	德国	1000	20	1000	0.4	13.4kW 柴动机	2×68	
HiEx65F/EL	丹麦	65	1.5	65	0.15	2kW 电动机		泡沫管直径为 0.65m
HiEx250F/EL	丹 麦	265	5	250	0.15	6kW 电动机		泡沫管 1.08×1.08m^2
HiEx500F/EL	丹 麦	550	10	500	0.15	15kW 电动机		泡沫管 1.08×2.15m^2
HiEx1000F/EL	丹 麦	1100	20	1000	0.16	22kW 电动机		泡沫管 2.10×2.16m^2
Pi—50	英 国	146	2.46	140	0.28			
Pi—135	英 国	368	5.5	370	0.28			
Pi—240	英国	655	9.82	670	0.28			
Pi—375	英 国	1025	15.3	1000	0.28			
Pi—450	英 国	1230	18.4	1250	0.28			
Pi—540	英 国	1470	22.1	1500	0.28			
200	荷 兰	200	3	200	0.25			
450	荷 兰	450	6.75	450	0.25			
1250	荷 兰	1250	18.75	1250	0.25			

国产高倍数泡沫发生器的主要参数如下：

(1)风机：风量 120～200m³/min，有效风压 800～1500Pa，功率 11kW。

(2)供水泵：供水量 10.8～15m³/h，水压 0.4～0.7MPa，功率 20kW。

(3)喷嘴：喷嘴口径 11.5mm，主要参数见表 7.6.2—24。

表 7.6.2—24 **喷嘴参数**

喷嘴压力 (MPa)	阀门控制刻度 (mm)	水量 (L/min)	泡沫液耗量 (L/min)	泡沫溶液量 (L/min)	浓度 %
0.65	17	233	12.4	245.4	5.07
	18	233	17.8	250.8	7.1
	19	233	20.7	253.7	8.2
0.5	17	200	9.75	209.8	4.7
	18	200	13.2	213.2	6.2
	19	200	14.2	214.2	6.65
0.4	17	177	10.2	187.0	5.35
	18	177	11.2	188.2	5.93
	19	177	13.2	190.2	6.95

(4)泡沫发生量：当泡沫溶液喷射量为 180～250 L/min 时，泡沫发生量为 80～100m³/min。

国产高倍数泡沫发生器所用的喷嘴的构造见图 7.6.2—46。

喷嘴及泡沫形成网是关键零件。泡沫形成网有尼龙编结的，也有用不锈钢制造的。

6.1.5 操作与试验

高倍数泡沫灭火系统的操作与试验与低倍数泡沫灭火系统相似。

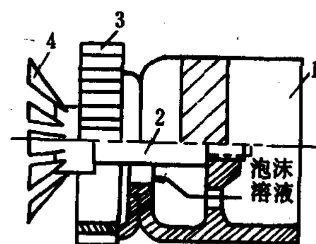


图 7.6.2—46 高倍数泡沫发生器的喷嘴构造图

1—本体；2—心轴；3—限制器；4—叶轮

7 干粉灭火系统

由于干粉密度较大，喷射的干粉所复盖燃烧物上不致被气流冲散，适合于扑救液化气体或液化天然气的火灾。近年来已在液化气体船上正式使用干粉作为货船甲板区域的灭火系统。

根据经验，液化气体船上干粉用量为：

1)对液货区域甲板上的火灾，取 1.5kg/m²；

2)对液货舱内的火灾，取 1.25kg/m²。

7.1 系统的组成

干粉灭火系统由干粉容器、驱动气瓶、减压阀、输粉管道和喷嘴等组成。

7.1.1 干粉容器

干粉容器是一种压力容器，筒体上有装粉口、出粉管、进气口等；工作压力一般为 1.5～2.0MPa。国内生产的干粉容器其容积有 60L、300L、1000L、和 2000L 四种。

干粉容器平时密封储存干粉，灭火时高压惰性气体通过管道进入容器，使容器内的干粉被激烈搅动，当容器内气压达到工作压力时，便自动打开出粉管上的阀，干粉通过虹吸管喷出。干粉容器构造原理图如图 7.6.2—47 所示。

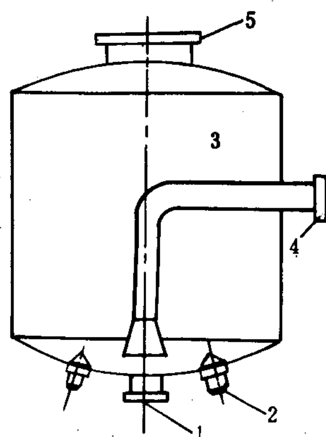


图 7.6.2—47 干粉容器构造原理图

1—清扫口；2—进气口；3—罐体；4—出粉管；5—装粉口

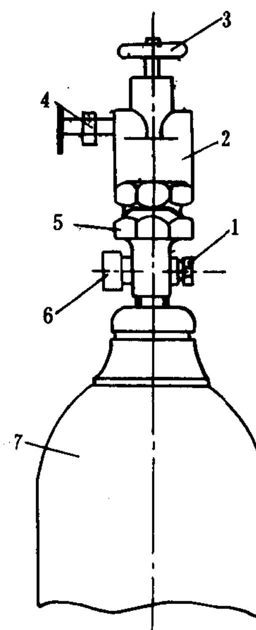


图 7.6.2—48 氮气瓶瓶头阀构造原理图

1—安全阀；2—上阀体；3—手轮；4—输气管；5—下阀体；6—灌气接头；7—气瓶瓶体

7.1.2 驱动气瓶

驱动气瓶一般为 40L 的氧气瓶，瓶内充装 N2 或 CO_2 气体。驱动气体的压力为 13～15MPa。氮气瓶构造原理图见图 7.6.2—48。

7.1.3 减压阀

由阀体、主阀、副阀、活塞、压盖、调节手轮等构成，如图 7.6.2—49 所示。进口压力为 13～15MPa，出口压力可在 0～7.5MPa 范围内调节。但出口压力经调整后应铅封，不允许随意再转动手轮调节。

7.1.4 管路及附件

气体管道，应采用铜管或不锈钢管，如采用普通钢管，则需经严格的防蚀处理。

干粉输送管道一般采用钢管，干粉管道上应采用球阀，使阀的通道与干粉输送管的内径保持一致，防止阻粉。

7.1.5 干粉喷嘴

扑救易燃液体火灾一般采用扇形喷嘴，如图 7.6.2—50 所示。

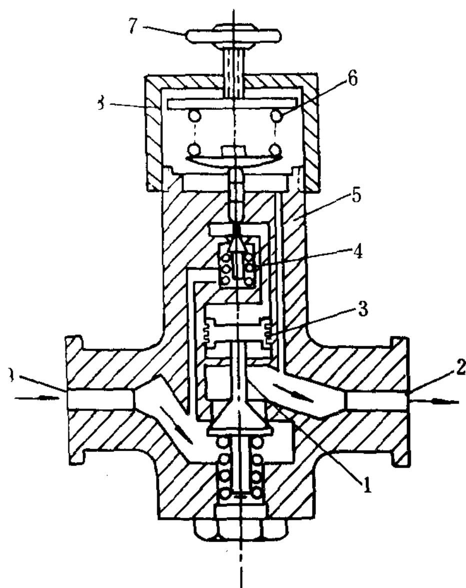


图 7.6.2—49　减压阀的构造图

1—主阀；2—排气口；3—活塞；4—副阀；5—阀体；6—弹簧；7—调节手轮；8—压盖；9—进气口

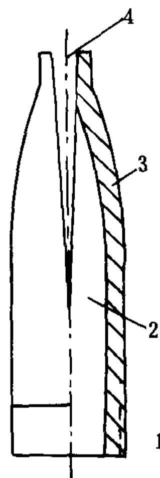


图 7.6.2—50　扇形喷嘴

1—接口；2—喷腔；3—本体；4—喷口

7.2　系统的控制和操作

干粉灭火系统布置原理及其组成如图 7.6.2—51 及图 7.6.2—52 所示。使用时先开启总控阀 9，接着开启截止旋塞 5，氮气流经减压阀 11 进入干粉容器加压，另一路通至冲放旋塞 6、7。根据需要开启冲放旋塞及喷枪旋塞 16 或 17，这时干粉氮气混合流至干粉喷枪，板动喷枪机即可喷射干粉。经减压阀后的冲放压力为 1.6～1.8MPa。

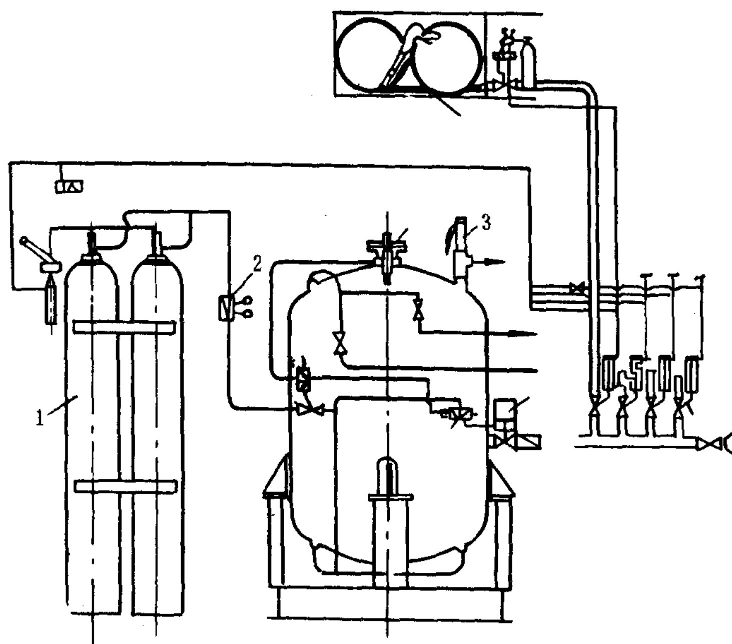


图 7.6.2—51　干粉灭火系统示意图

1—驱动氮气瓶；2—减压阀；3—冲放阀；4—干粉容器；

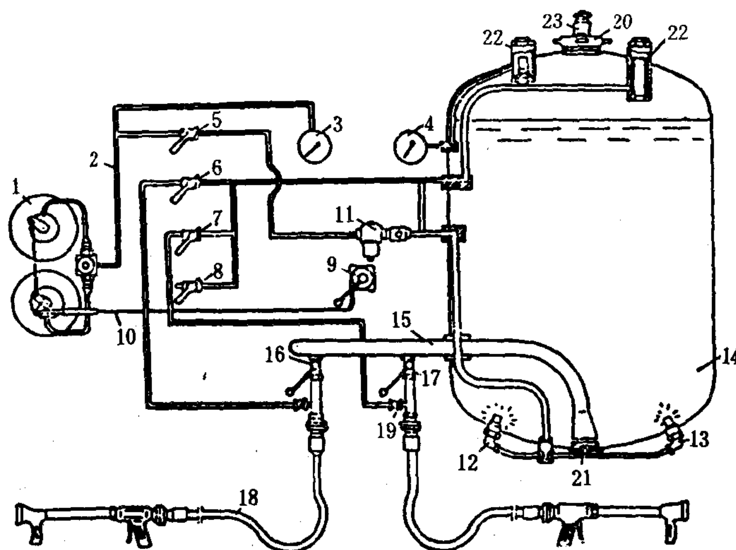


图 7.6.2—52　干粉灭火系统组成

1—具有速关阀的氮气瓶；2—高压总管；3、4—压力表；5—干粉容器截止旋塞；6、7—左右干粉喷枪的冲放旋塞；8—干粉容器的溢流阀；9—总控阀；10—释放管；11—减压阀；12、13—冲放阀；14—干粉容器；15—虹吸管及干粉管；16、17—左右干粉喷枪截止旋塞；18—具有干粉喷枪的高压软管；19—止回阀；20—充装口；21—放泄阀头；22—冲洗装置；23—安全阀

7.2.1　集中控制的中心干粉站室灭火系统

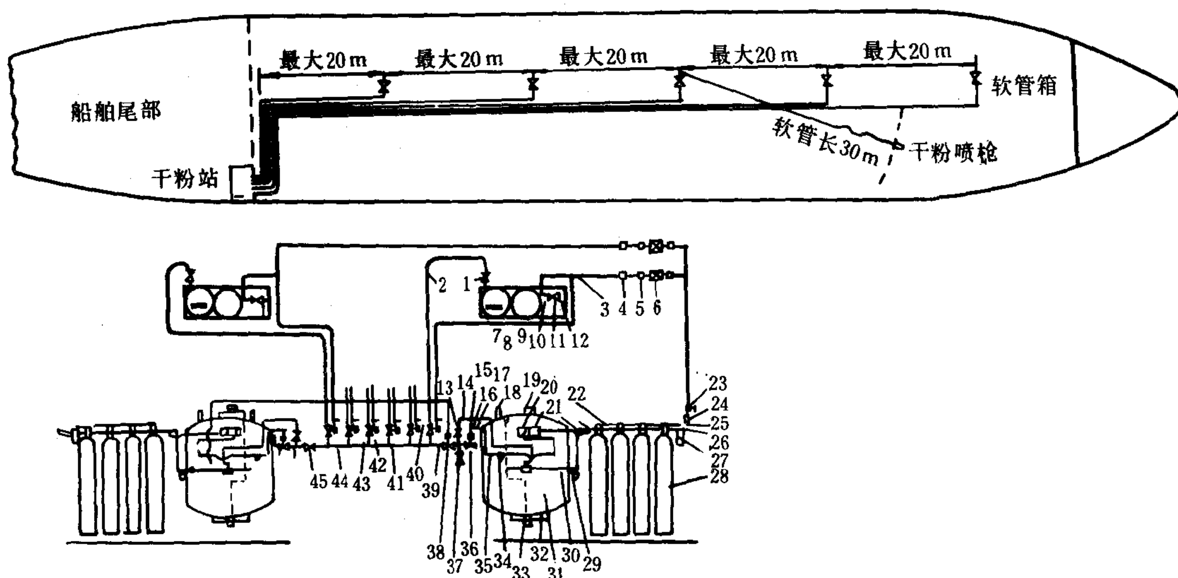


图 7.6.2—53　集中控制的中心干粉站室及其系统布置图

1—截止旋塞；2—干粉管；3—气动控制管；4—释放用气阀；5—滤器；6—止回阀；7—软管箱；8—喷枪；9—干粉软管；10—截止阀；11—减压阀；12—施放用氮瓶；13—截止旋塞；14—冲放管；15—施放旋塞；16—气动施放活塞；17—截止旋塞；18—安全阀；19—装充口；20—低压压力表；21—高压压力表；22—施放杆；23—施放旋塞；24—气动活塞；25—施放拉杆；26—施放机构；27—电气开关；28—驱动用氮瓶；29—压力调节器；30—截止旋塞；31—干粉容器；32—加压阀；33—放泄口；34—限位阀；35—气动控制管；36—干粉主旋塞；37—校验及冲放接头；38—截止旋塞；39—气动施放旋塞；40—释放旋塞；41—冲放接头；42—气动施放活塞；43—直通旋塞；44—气动控制管；45—截止旋塞

干粉灭火系统一般由一个或几个集中控制的中心干粉站室。图 7.6.2—53 为集中的中心干粉站室及其系统布置图。图示的站室内设 2 套干粉装置，每套为 1500kg 干粉，每一干粉容器配有 4 只 50L 氮气瓶，作为驱动气体，压力为 20MPa。干粉储存在气密的干粉容器中。干粉主旋塞 36 的后面配有气动施放活塞 16 的分配管路。在直通旋塞 43 上装有气动施放活塞 42。干

粉管路全程距离达 150m 以上，各供应管路的内径为 38mm。在各关键部位处设软管箱。装在软管箱 7 内的有，高压干粉软管 9、喷枪 8、施放氮气瓶 12 及减压阀 11。软管的长度取决于甲板上软管箱的数目。软管箱的位置应布置成甲板上任何一点都能至少有两根干粉喷枪可以到达。

发生火灾时，开启软管箱 7 内的施放氮气瓶 12。气动控制管 3 将氮气接至相应的直通旋塞的气动控制活塞，另一路氮气引至气动施放机构 24 及 26，开启驱动氮气瓶 28。氮气通过减压阀 29 至干粉容器底的加压阀 32 进入容器，并与干粉混和。达到工作压力后自动开启干粉主旋塞，干粉与氮气的混合物到达先开启的直通旋塞及需用的软管，开启截止旋塞 1 使系统处于准备动作状态。干粉喷枪的射程约为 8～10m，流量约为 3.5kg/s。

7.2.2　操作与维护

干粉灭火系统的主要操作步骤如下：

1)把动力气瓶打开，排出高压气；

2)高压气通过减压阀向干粉容器充气和 加压，使干粉搅动，形成粉气混合物；

3)干粉容器达到工作压力时，出口的阀被打开；

4)粉气混合流通过输粉枪由喷嘴喷向保护区。

主要维护工作如下：

1)系统应经常检查，确保使用性质良好；

2)动力气瓶要定期检查，确定气体压力和质量是否 在规定范围内。低于规定数值时，要查出漏气原因，并立即更换或充气；

3)要检查喷嘴位置和方向是否正确，喷嘴上有无积垢，密封是否良好；

4)要经常检查闸、阀、减压阀、压力表等是否正常；

5)干粉灭火剂在 2～3 年期间要打开容器取样检查，当发现结块时，要将干粉送专业单位检查，不合性能要求应即更换。

8　自动喷水、探火和失火报警系统

（以下称自动喷水系统）

在客船上所有起居处所、服务处所和控制站的固定式失火报警系统可用装设自动喷水系统来代替，以及采用 ⅡC 法的货船，在起居处所、厨房和其他服务处所也设置自动喷水系统。

该系统的显著优点是：能确定火灾的位置和发出失火报警，还会自动进行灭火，将火灾扑灭在初起阶段。

8.1　系统的组成

自动喷水系统由管路、主控制阀、喷水器、淡水压力柜、自动供水泵等组成，见图 7.6.2—54 所示。

8.1.1　管路

管路的尺寸和布置应能将规定的水量输送至各喷水器。总管输水至各分区的分总管，分总管将水输到各喷水器。

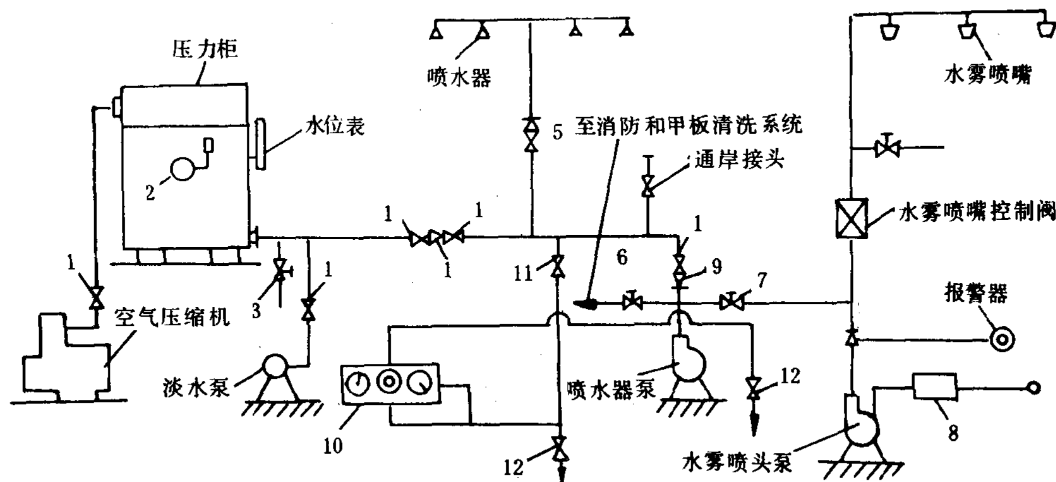


图 7.6.2—54　自动喷水系统组成图

1—截止阀；2—带有安全阀的压力表；3—泄放阀；4—带有失火报警开关的背压报警阀；5—喷水器控制阀；6—可锁闭的截止止回阀；7—可锁闭的截止止回阀；8—用遥控起动按钮起动的自动泵；9—泵出口止回阀；10—喷水器泵自动起动压力开关；11—截止阀；12—泄放阀

8.1.2　主控制阀

主控制阀设在各分区的分总管上，其位置应易于到达并有明显标志。自动喷水系统的主控制阀是一个重要的部件，它具有报警和显示失火区域的功能，当有火灾时或在检查试验时，均能发出警报信号。

主控制阀为直立式，其构造如图 7.6.2—55 所示。该阀由阀体、阀盘、阀盘橡胶垫板、阀座、水槽、阀座脚、警铃校验旋塞、放水阀、压力表、警铃旋塞等组成。

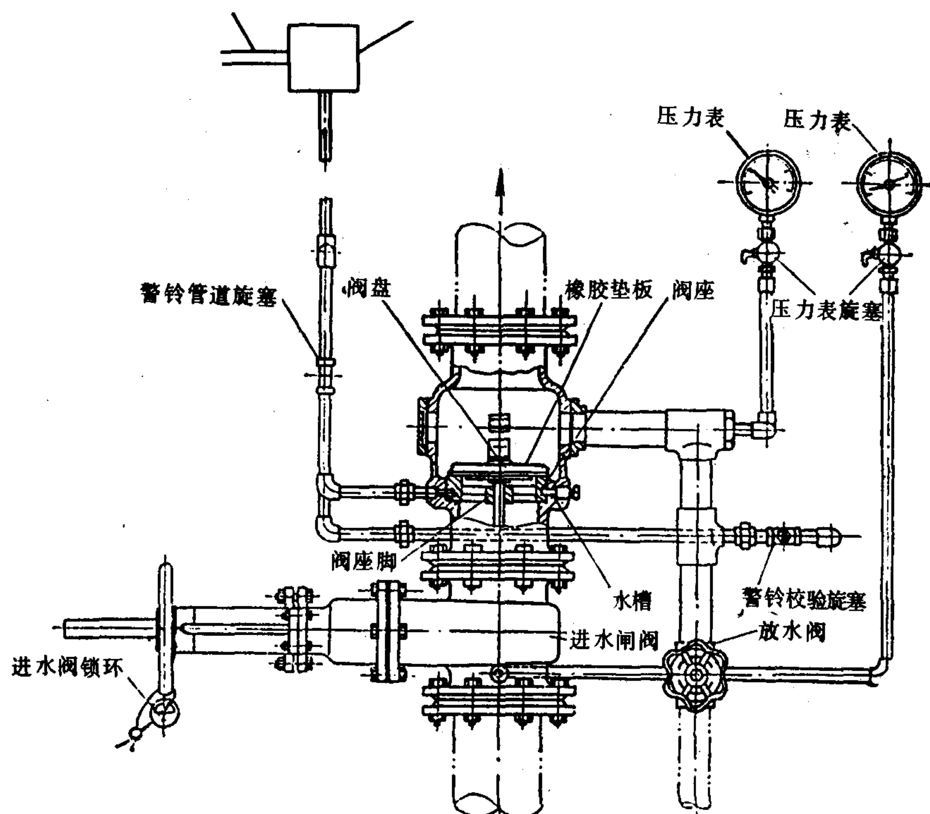


图 7.6.2—55　主控制阀(报警阀)和闸阀组装图

主控制阀的工作原理是：当系统中的水处于静止状态时，由于阀座上的静水压力稍高于下部的压力，阀座关闭，将管路分隔为上下两部份。如果当有一只喷水器开启放水，则上部水压降低，阀盘自动浮起，使下部的水经阀体不断地向开启的喷水器供水。同时利用上下两部分的压力差，使压力开关动作，向驾驶室发出火灾信号。

8.1.3 喷水器

喷水器是一种专门设计的喷嘴，喷嘴上装有玻璃球体，其内充有遇温度易膨胀的液体，球体破碎时，喷出锥形水雾。应用易熔合金的熔化而喷水的喷水器，船上一般不采用。

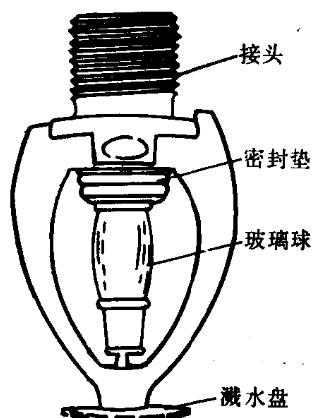


图 7.6.2—56 玻璃球喷水器

玻璃球的喷水器如图 7.6.2—56 所示，它由溅水盘、调节、螺钉、玻璃球、本体等组成。

8.1.4 喷水器的动作温度

可视被保护处所的特点和不同的动作温度选择不同的喷水器，并以颜色加以区分。如玻璃球喷 水器，一般 57℃为橙色，79℃为黄色，93℃为绿色。喷水器的动作温度应标志在阀(即喷水器)的底座上。

8.2 系统的工作

本系统内充满淡水，被保护处所失火时，喷水器在动作温度下开始动作，向被保护处所喷水。同时向驾驶室发出火灾信号。

当喷水器喷水后，淡水压力水柜自动向喷水器供水。

8.3 74 安全公约和规范的规定

对一个自动喷水系统 74 安全公约和规范有详细规定，具体要求见表 7.6.2—25。

表 7.6.2—25 自动喷水系统的基本要求

项目	要求
一般要求	1. 本系统不需要船员的操作，能自动工作 2. 每一喷水器分区应有声光信号报警设施，以指示喷水器的动作和系统本身的故障； 3. 喷水器系统和船上消防总管间应连通，在连接处设有可锁闭的截止止回阀。
喷水器	1. 喷水器应分成若干分区，每一分区的喷水器不应多于 200 只，客船上的喷水器分区应不多于 2 层甲板，并能在一个主竖区范围内； 2. 每一喷水器分区只能用一个主控制阀加以分隔，且易于到达； 3. 每一分区的主控制阀处和中心站内，应有显示系统压力的仪表； 4. 喷水器的动作温度 在起居和服务处所：68°～79℃； 干燥室等较高温度处所一般为 93℃； 5. 喷水器的保护面积：每平方米不少于 5L/min，水量分布均匀。
压力柜	其储备的淡水不少于 1400L，容积不少于 2.8m³。

续上表

项　　目	要　　求
供水泵动力源	应设有专用供水泵自动连续供水，且设在保护处所之外。两套动力源独立供电。
试验	每一主控制阀处设有一只试验阀，用以放出相当于一只喷水器工作时的水量，进行自动报警的试验。

8.4　维护和检查

1）系统应作定期维护并作功能检查。定期维护时，应检查淡水压力柜和系统中的压力是否处于正常工作压力；淡水压力柜的水量有否减少，如有不正常情况时，应查出原因后进行修复；

2）检查系统的动作功能，作模拟试验时，开启试验阀，排放相当于一只喷水器的淡水流量，降低喷水管路中的压力，检查失火报警和至驾驶台的失火报警信号是否动作正确，并检查供水泵能否自动启动；

3）定期检查喷水器的布置情况，是否完整有无渗漏等情况，如有不正常情况时，都应及时维护；

4）对每一分区的主控阀作外部检查；

5）对喷水器的功能如有怀疑时，可抽查喷水器的动作、温度、喷水形状和流量。

6）总之对自动喷水系统平时应确认其处于正常工作状态并能随时可使用。

8.5　试　　验

制造完工后除进行喷水管路和压力柜的密性试验外，其他试验和检查参照 8・4 节所述内容。

第 3 章　失火报警系统

火灾初起阶段的征兆，一般是产生烟雾，不正常的温升和火光。为了及早地发现火灾的产生，可以通过各种探测器将火灾所产生的烟、热或光转变为电信号，汇集到报警指示设备发出报警信号。由探测器手动报警按钮和报警指示设备所组成的自动探火系统通常称为失火报警系统。

滚装船、液化气体船和消防船等为了探测可燃气体的浓度，往往在有些舱室装设可燃气体探测器，用来监测可燃气体浓度，以防止可能引起燃烧和爆炸。这类报警设施在本章滚装船装货处所可燃气体探测及报警系统内予以简要地说明。

本章主要介绍海船失火报警系统，内河船舶和军船可以参照，对于失火报警系统的主要功能和设备要求基本上是一致的，仅报警指示器的分路可根据船舶大小适当增减。

1　失火报警系统的分类

1.1　船舶失火报警系统的类别

船舶失火报警系统一般按安装的区域和探测的介质分为三类。

1.1.1　用于舱室的失火报警系统

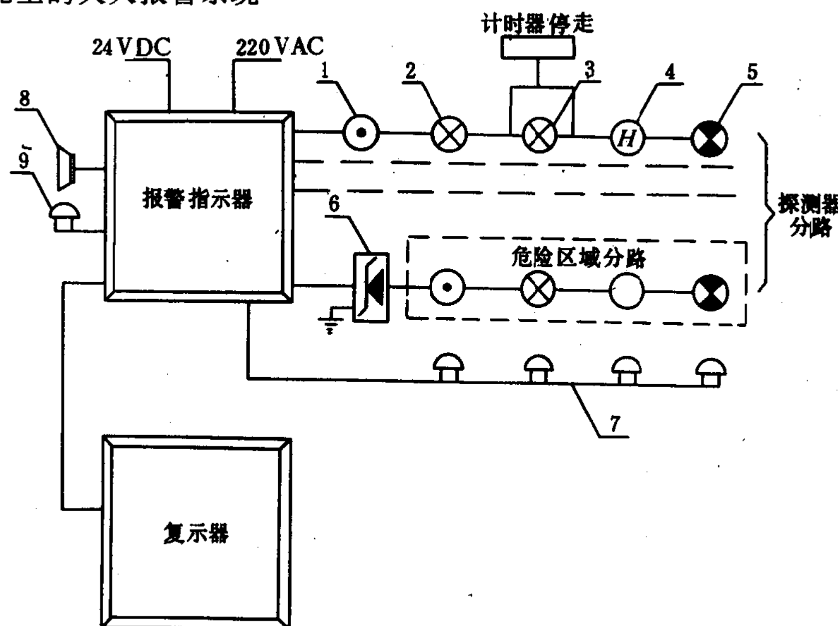


图 7.6.3—1　舱室失火报警系统示意图

1—手动报警按钮；2、3—感烟探测器；4—感温探测器；

5—火焰探测器；6—本质安全隔断器；7—二次声响报警；8—故障蜂鸣器；9—初次声响报警

舱室失火报警系统的探测器一般分布于被保护的舱室内，手动报警按钮多数装设在人员经常出入的走廊、通道明显之处，报警指示设备安装于驾驶室或消防控制站内。当被保护舱室内的探测器遇到早期火灾所产生的烟、温度或火焰时发生动作，则报警指示设备即发出声、光火警信号，并显示出失火报警的区域。其特点是能早期发现火灾于初始阶段，且保护的区域广，

必要时保护区域可分若干分区，每个分区分别设置一只区域报警指示器，起到就近监护的作用。被保护的舱室可以按其可能产生火灾的特征，选用不同的探测器，则可达到较高的监护功能。舱室失火报警系统的示意图如图 7.6.3—1 所示。

1.1.2 用于干货舱的失火报警系统

用于干货舱的失火报警系统，目的是在货舱封闭后检测干货舱内有否发生火灾。如有失火征兆以便及早采取灭火措施，通常采用抽烟式系统，由抽风机、管道、烟探测装置和报警指示设备等组成。如货舱发生火灾，烟气通过管道被抽吸到安装在驾驶室的烟探测装置，则报警指示设备即发生声、光信号。被抽吸的烟气并可通过旁路控制开关，直接排放到驾驶室，以便值班人员可以嗅闻，证实是否属火灾的烟气。用于干货舱的失火报警系统示意图如图 7.6.3—2 所示。

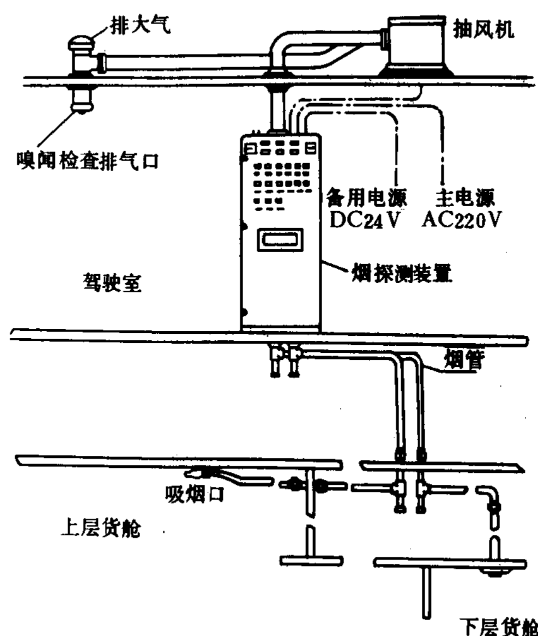


图 7.6.3—2 干货舱失火报警系统示意图

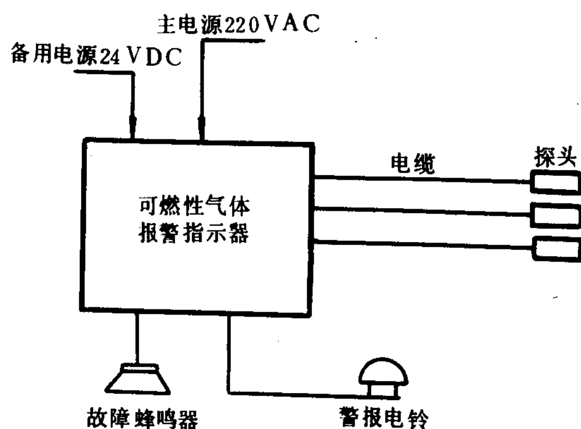


图 7.6.3—3 可燃气体探测系统示意图

1.1.3 可燃气体探测系统

滚装船、渡船等往往在货舱区域需要载运车辆，消防船有时要救护油船，以致于在货舱或船上某些舱室聚集有可燃气体。通常可燃气体的密度又较空气重，因而不容易驱散，在可燃气体的体积浓度超过爆炸下限时，遇明火即可能产生爆炸或燃烧。为了检测这些舱室的可燃气体是否达到危险浓度，在这些船上装有可燃气体探测系统，如图 7.6.3—3 所示。

它的工作原理基本上与测爆仪相似。

1.2 法规和74安全公约对失火报警系统的要求

为了有效地防止船舶火灾，各国船舶法规、规范和 74 安全公约对船舶装设失火报警系统的要求均有具体规定。74 安全公约中对固定式探火和失火报警系统的主要规定见表 7.6.3—1。

表 7.6.3—1　　74安全公约中对固定式探火和失火报警系统的主要规定

安装处所或要求	客　　船	货　船	油　船
对系统	・本系统包括手动报警按钮应在任何时候均可立即动作 ・两套电源,一套为应急电源 ・电源和电路故障能自动监控 ・指示设备能表明动作探测器或手动报警按钮所在的区域	同左	同左
舱室分区	・一个分区不多于 50 个围蔽处所 ・一个分区所监护的处所不得同时包括左右舷,不得多于一层甲板或一个主竖区	同左(仅限Ⅱ C 法船)* 不限制	因用 IC 法故可以不装* 不限制
机器处所	A 类机器处所要单独分区安装	同左	同左
对探测器	感温、感烟探测器。火焰探测器只能作为感温、感烟探测器的额外探测器	同左	同左
梯道、走廊和起居处所内的脱险通道	安装感烟探测器	同左	同左
装货处所	人员不能到达的装货处所应装设探火和失火报警系统	・滚装船装货处所应装设探火和失火报警系统 ・载运危险货物的闭式装货处所应装设探火和失火报警系统	不装

* IC、Ⅱ C 法船请见 1.2.2 所述内容。

1.2.1 对客船的装设要求

1)客船上的起居处所和服务处所如不装设自动喷水器、探火和失火报警系统(以下简称自动喷水系统),则应装设固定式自动探火和失火报警系统。

2)船上的特种处所如无连续的消防值班,则应装设自动探火和失火报警系统。

3)所有梯道、走廊和起居处所内的脱险通道均应按装感烟探测器。

1.2.2 对货船的装设要求

货船的起居处所、服务处所和控制站内按其所用不燃材料的情况,以及是否装有自动喷水系统或探火和失火报警系统,在《74 安全公约》中划分为 I C、Ⅱ C 和 Ⅲ C 法三类船舶。只有采用 Ⅲ C 法的货船在上述处所内的衬板等允许使用可燃材料,但必须装设固定式探火和失火报警系统。I C 法规定处所内应用不燃材料;Ⅱ C 法允许使用可燃材料但必须装设自动喷水系统(详见 74 安全公约)。

1.2.3 对油船的装设要求

油船的起居处所、服务处所和控制站必须采用 I C 法,可以不装自动喷水系统或固定式探火和失火报警系统。

2 探 测 器

火灾探测器用于船舶舱室失火报警系统时均为定点型探测器(陆用感温探测器有用线型的)。常用的火灾探测器,其分类如图 7.6.3—4 所示。

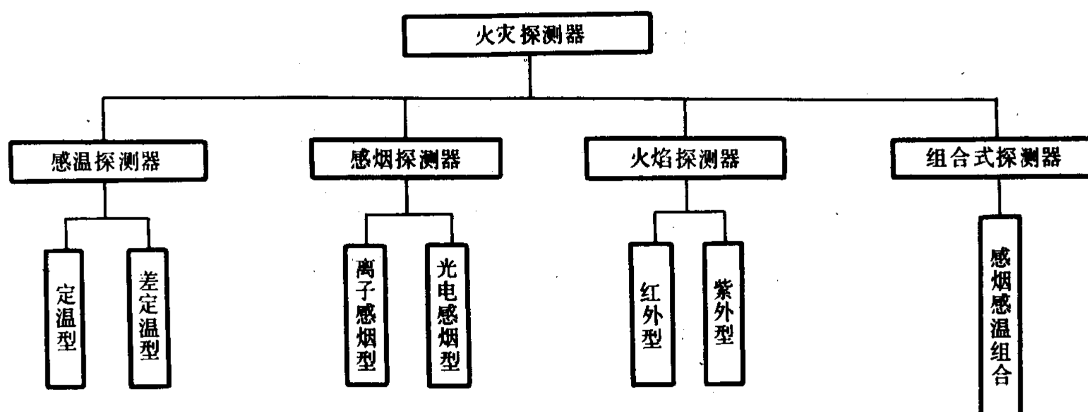


图 7.6.3—4 船舶常用的火灾探测器分类

2.1 感温探测器

感温探测器分定温型、差定温型两种。如果按敏感元件的特点来分又可分为双金属片式、易熔金属式、膜盒式、热敏电阻式等。

2.1.1 定温型探测器

定温型探测器的敏感元件多数用易溶金属或双金属片制造,结构简单,可靠性好,误动作少,动作温度一般分为 60℃,70℃及 90℃三种。

由于冬季或夏季环境温度变化,对探火的反应时间有一定影响,这类探测器灵敏度较差,一般适用于厨房、锅炉间、烘衣间等。

1)双金属片式定温探测器:

双金属片式定温探测器是由热膨胀系数不同的双金属片和固定触点组成。当环境温度升高时,双金属片由于热膨胀系数不同而向上弯曲使触点闭合,输出电信号,属于可恢复使用型探测器,其结构如图 7.6.3—5。

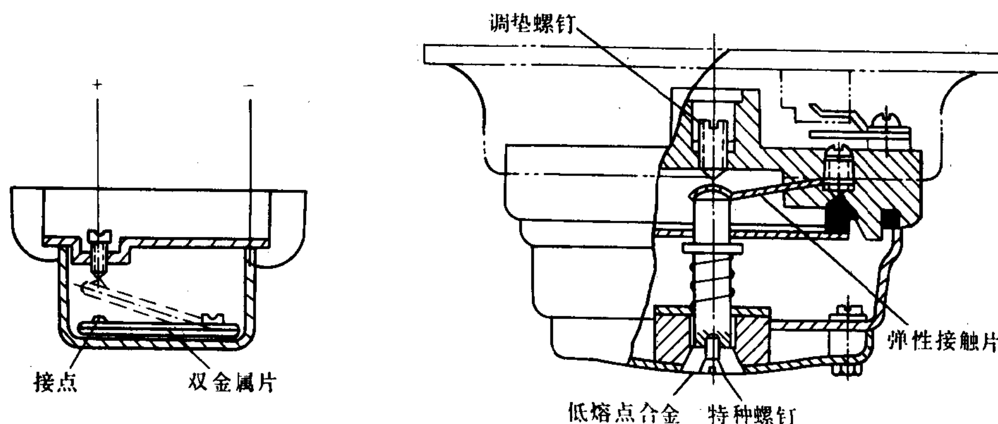


图 7.6.3—5 双金属片式定温探测器

图 7.6.3—6 易熔金属式定温探测器

2)易熔金属式定温探测器：

在吸热罩中心与特种螺丝间焊有一小块低熔点合金，当温度升至标定值时，低溶点合金熔化，拉杆借助弹簧的弹力使触点闭合，输出电信号，属于不可恢复使用型探测器，其结构如图7.6.3—6所示。

2.1.2 差定温型探测器

由于船舶上不允许单纯用差温探测器，如果敏感元件采用差温原理时必须包括定温，故叫差定温型探测器，实际上是差定温组合的探测器。差定温型探测器的差温元件利用室内局部温度升高速率超过异常状态时可发生火灾报警信号。同时它又有定温元件，在温度上升到一定限值时，又能发出定温的火灾报警信号。如按其敏感元件的划分，可分为机械式和电子式两类。通常应用膜盒式原理的属机械式，应用热敏电阻原理的属电子式。

1)膜盒式差定温探测器：

膜盒式差定温探测器具有一个金属感热外罩与其底座形成的气室，该气室有一个很小的泄气孔与大气相通，当环境温度以小于1℃/min的速率升温时，气室内膨胀的空气可以通过泄气孔自动外泄，使气室内外空气压力保持相等，探测器不动作。如遇火灾，气温迅速升高，气室内的泄气孔来不及将膨胀的气体外泄，则波纹片将被鼓起，推动接触点闭合，发出火灾报警信号。根据船用感温探测器的规定，如环境温度温升速率缓慢，差温元件不动作，则在空气温度超过78℃之前仍应动作；为此船用差温探测器内均装有能报出定温信号的元件。一般将弹簧片的一端用低熔点合金焊在感热外罩的内侧，当达到标定的温度时，低熔点合金熔化，弹簧片压迫波纹片推动触点闭合，差定温探测器的结构型式如图7.6.3—7所示。

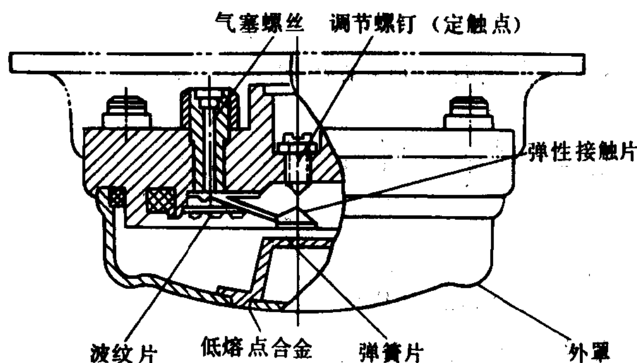


图7.6.3—7 膜盒式差定温探测器

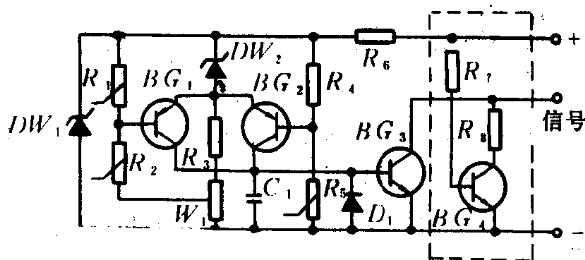


图7.6.3—8 电子式差定温探测器原理图

2)电子式差定温探测器：

电子式差定温探测器的电路原理图如图7.6.3—8。

R_1、R_2和R_5为热敏电阻，随温度升高电阻值下降，其中差温探测器部分的R_1和R_2阻值相同，特性相似。在布置上使R_2贴在探测器的铜外壳上，对外界温度变化较为敏感。R_1则布置在一个小金属罩内，当环境温度缓慢变化时R_1和R_2的阻值相近，晶体管BG_1处于截止状态。当发生火灾时，温度急剧上升，R_2因直接受热，阻值迅速下降，而R_1则反应较慢，阻值下降小，导致A点电位下降，BG_1管道通，BG_3也随即导通，向报警指示器输出火警信号。

定温部分由BG_4和R_5组成，当温度升高至标定值（一般为70℃，船用规定不得超过78℃），R_5的阻值降低至动作值，使BG_2、BG_3相继导通，向报警指示器发出火警信号。

图中虚线部分为报警指示器至探测器间的线路断线自动监控回路。

2.1.3 感温探测器的主要性能要求

感温探测器的动作或不动作的特性应在专用的测试风筒上进行测试，风速为 0.8±0.1 m/s，起始温度为 25℃。专用测试风筒有开式和闭式两种，英国标准 BS5445Part5 有详细规定。

1)动作温度和动作时间：

船用定温探测器的动作温度标定值一般为 60℃、70℃、90℃、(误差±5%)。《74 安全公约》规定，经主管机关认可，在环境温度偏高的干燥室或类似处所，感温探测器的动作许可温度可以较该处所的甲板顶部最高温度增加 30℃。

在各种不同的升温速率下，动作时间的上下限要求见表 7.6.3—2。

表 7.6.3—2 **感温探测器动作时间的上限与下限**

升温速率 ℃/min	动作时间下限		动作时间上限					
	各级		1 级		2 级		3 级	
	动作时间		动作时间		动作时间		动作时间	
	min	s	min	s	min	s	min	s
1	29	0	37	20	45	40	54	0
3	7	13	12	40	15	40	18	40
5	4	09	7	44	9	40	11	36
10		30	4	2	5	10	6	18
20		22.5	2	11	2	55	3	37
30		15	1	34	2	08	2	42

测试定温探测器以及差定温探测器的定温部分，应以升温速率<1℃/min 升温至 50℃，然后以<0.2℃/min 升温速率继续升温。其动作值下限应>54℃；

动作值上限应：

1 级<62℃；

2 级<70℃；

3 级<78℃。

2)探测器灵敏度分类：

1 级灵敏度较高，2 级次之，3 级较差，分别用绿色、黄色和红色标记表示。

探测器除了主要性能要符合以上规定外，还必须通过规定的各种船用环境条件试验，具体要求应符合船检局海船规范和船用电工电子产品型式认可试验规则，并参考 BS5445，Part5 的规定。

不可恢复使用型的感温探测器，由于不便于定期试验，在船用中势将逐步淘汰。在换新感温探测器时，应不再采用易熔金属熔断作为定温的元件。

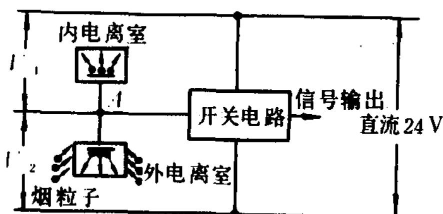


图 7.6.3—9 离子感烟探测器工作原理图

2.2 感烟探测器

通常应用较为普遍的为离子感烟型和光电感烟型两种。

2.2.1 离子感烟探测器

这种探测器的主要敏感部件是两个互相串联的电离室，一个与外界基本不相通称为内电

离室或叫补偿电离室，另一与外界相通称为外电离室或叫检测电离室。内外电离室各有一块放射源镅 241(Am241)片，不断放射出 α 粒子，使电离室内空气部分电离。当电极电压恒定时，则电流也是恒定的；当电压增值超过规定时，后面的开关电路动作，便送出报警信号，它的工作原理如图 7.6.3—9 所示。

离子感烟探测器的电路原理如图 7.6.3—10 所示。

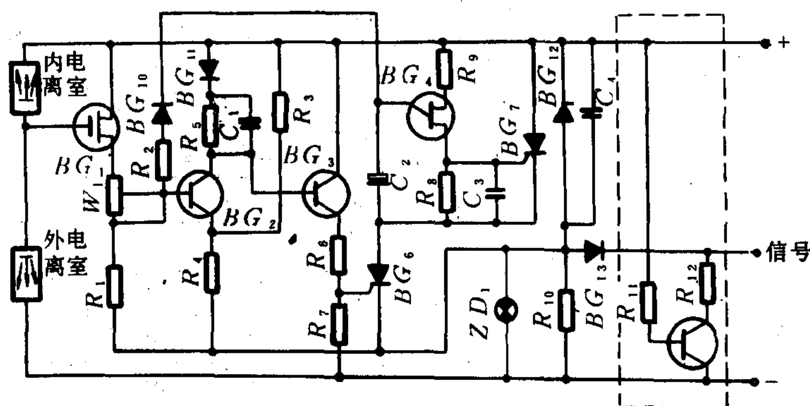


图 7.6.3—10　离子感烟探测器电路原理图

当火灾产生的烟雾粒子进入外电离室后；粒子被吸附，使外电离室等效阻抗增大，离子电流减小，而内电离室阻抗仍保持不变，于是使场效应管 BG_1 的栅报电位升高。当烟雾浓度达到预定的数值，BG_2、BG_3 组成的开关电路动作，可控硅 BG_6 开启，同时由 BG_4 组成的延时复核电路也开始工作，经过一定的延时后，如果外电离室的烟雾浓度继续保持或增加，便产生一个触发脉冲开启可控硅 BG_7，这时确认灯发亮，并输出报警信号。

Am241 的半衰期为 458 年，每片 Am241 的源强(3.7～7.4)×10^4Bq，国外应用 Am241 每片的源强也有小于 3.7×10^4Bq 的。这类探测器具有灵敏度高，寿命长的优点；且目前各生产厂对防止镅粉脱落已采取有效工艺。

2.2.2　光电感烟探测器

它利用火灾产生的烟雾改变光敏元件受光的强弱而发出报警信号。通常分为散射型和遮光型两种。散射型的光敏元件因平时见不到光，元件不易老化，故采用较多。

1)散射型烟探测器：

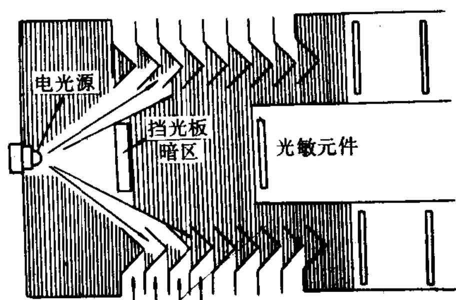
它的结构原理见图 7.6.3—11。

探测器的外面有一个多孔道的暗盒，能阻止外部光线和内部电光源的光照射到光敏元件上，一旦烟雾粒子进入暗盒并达到一定的数量后，电光源发出的光经烟粒反射或散射到光敏元件，则产生光敏电流，经放大电路放大即发出报警信号。

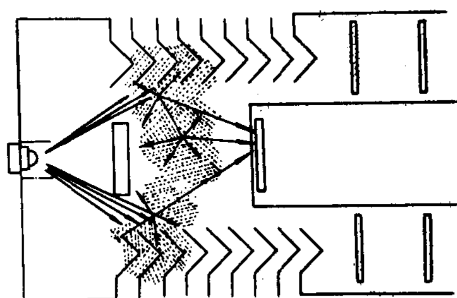
2)遮光型烟探测器：

它的结构原理见图 7.6.3—12。

它的主要部件是电光源(发光二极管)和相对应的光敏元件。平时电光源的光通过透镜聚成一定亮度的光束照射到光敏元件上，当光源与光敏元件之间有烟雾存在时，使到达光敏元件上的光显著减弱，光敏元件输出的电信号随之变化，经放大电路放大即发出报警信号。



a）



b）

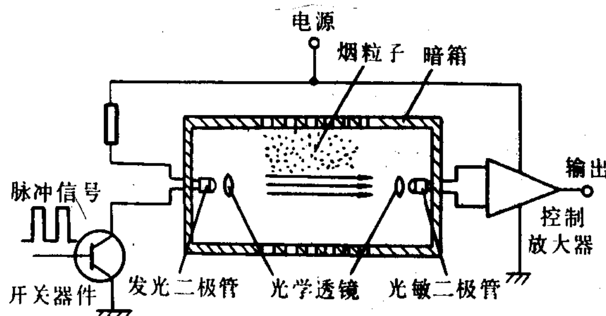


图 7.6.3—11　散射型光电感烟探测器原理图
a)为无烟状态;b)为有烟状态

图 7.6.3—12　遮光型光电感烟探测器原理图

2.2.3　感烟探测器的主要性能要求

感烟探测器动作和不动作的灵敏性试验应在专用的测试风筒上进行，专用测试风筒的风速和每分钟产生烟的浓度速率均有规定，可参考 GB4715——84 和英国标准 BS 5446 Part1。

各种不同材料燃烧时所产生烟的颜色，烟粒子的大小均不相同，因此烟的标准难以统一，74 安全公约中只对安装在梯道，走廊和脱险通道的感烟探测器提出性能要求，规定在烟密度未超过每米 2%的减光率之前不动作，但在到达每米 12.5%的减光率前必须动作，这是基于保证逃脱通道的视线而制定的。至于安装在其他处所的感烟探测器，只提出应在主管机关认为满意的灵敏度极限内进行动作，应考虑避免探测器不灵敏或过度灵敏的情况。由此可见 74 安全公约规定很原则，探测器的动作时间也未限制。船舶舱室用感烟探测器的性能标准，可参考 GB4715—84 和 BS5446 Part1。当探测器动作时，正常情况下，感烟探测器上装置的确认灯应在 5m 内可见。

2.3　火焰探测器

它利用火灾产生火焰的辐射光，实现火灾的探测。通常分红外火焰探测器和紫外火焰探测器两种。由于这种探测器对浓烟雾，特别是隐燃火灾，往往不能实现有效的探测，同时容易受到环境干扰，所以在船舶上应用不多，《74 安全公约》规定不允许火焰探测器单独使用，只能用作感烟或感温探测器的额外探测器。

2.3.1　红外火焰探测器

物质燃烧时，火焰辐射均有其相似的特定红外光谱，同时火焰的辐射具有一定闪烁频率，通常在 3～30Hz 之间。红外火焰探测器的电路是利用火焰闪烁特性与一般红外源辐射特性的差别，并尽可能排除其他红外源来的信号，用火焰闪烁产生一定振幅的一系列脉冲信号，使积

分电容充电达到触发电平，打开开关电路，送出报警信号。其电路方框图如图 7.6.3—13。

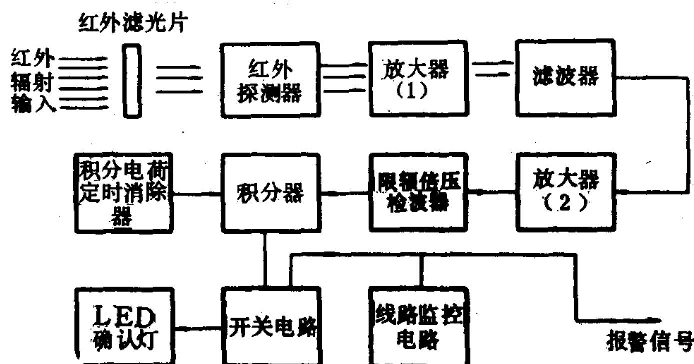


图 7.6.3—13 红外火焰探测器电路方框图

由于红外火焰探测器的灵敏度较高，为防止干扰产生误动作，有些制造厂将探测器的红外滤光片上加一片限位监视网罩(Limiting Area Monitored by Screen Aperture)，监视部位可以自由调节选定，这样将增加监视的有效性，并可减少误报，如图 7.6.3—14。

图 7.6.3—14 限位监视网罩应用示意图

2.3.2 紫外火焰探测器

凡易燃物质产生的火灾，一旦引燃即刻出现强烈燃烧火焰，其所发出的紫外光波长约在0.25μm左右。紫外火焰探测器的主要部件是紫外光敏管，只对0.19～0.29μm的紫外光起感应，管内有两根高纯度的钨或钼丝制成的电极，密封在石英玻璃窗口的玻璃外壳内，管内充有一定压力的氢和氦混合气体，其结构如图7.6.3—15所示。

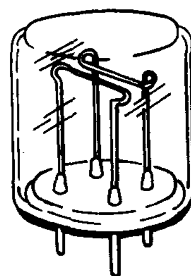


图7.6.3—15 紫外火焰探测器结构图

当电极接收到紫外光辐射时，即发射出电子，并在两电极间的电场作用下被加速。由于管内充入一定量的混合气体，所以当被加速而具有较大动能的电子同气体分子碰撞时，将气体分子电离，电离后产生的正负离子又被加速，这样使更多的气体分子电离。于是在极短时间内造成"雪崩"式的放电过程，使紫外光敏管由截止状态变成导通，从而发出报警信号。紫外火焰探测器的灵敏度稍低于红外火焰探测器。

2.3.3 火焰探测器的主要性能要求

以液体燃料在小于30cm²的盘内燃烧，能在5m距离使探测器动作。视场角一般为90°×90°，被监护区域的底面积直径为探测器安装高度的两倍。对于红外火焰探测器如用于机器处所，要防止机器运转产生光线辐射形成的"闪光"，必要时可采取遮档闪光光源，或用限位监视网罩等措施。

2.4 组合式探测器

各种火灾探测器的敏感元件，均有它的特性，由于使用的环境条件不同，必然使产生火灾探测的效果不同。为了达到早期报警的作用，同时又要保证探测器的功能可靠性，不至于漏报，所以生产厂往往把两种敏感元件组合在一只探测器内，故称为组合式探测器。组合最普遍是差温和定温，即为本章内所述的差定温型探测器。

散射型光电感烟探测器具有很多优点，但烟粒子大则光的散射效应好，但如液体燃烧或木材开放燃烧形成的烟粒子很小，其直径在0.1μm以下，则感烟的效果较差，因此有些散射型光电感烟探测器内组合一只双金属片式的定温元件，成为烟温组合式探测器，可增强探测器的可靠性。

2.5 手动报警按钮

手动报警按钮与火灾探测器的功能基本相同，探测器是自动报警，而手动报警按钮是人工手动报警，两者输送的报警电信号都传输给报警指示设备，发出火灾报警信号。

手动报警按钮安装于经常有人出入的通道、走廊、控制站、公共舱室等场所。当巡逻员或附近人员发现火警，可取下小锤或用其他物体击碎玻璃，该手动报警按钮即自动向报警指示设备发出报警信号，同时按钮上确认灯发亮，表示信号已送出。通常虽称为按钮，实际上不用按，只需击碎玻璃即自动动作。手动报警按钮外形如图7.6.3—16所示。

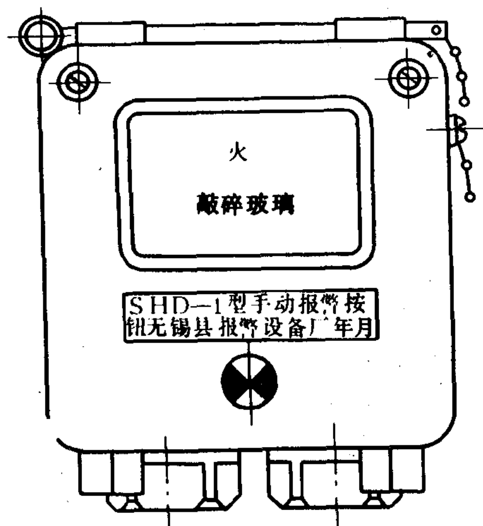


图 7.6.3—16 手动报警按钮外形图

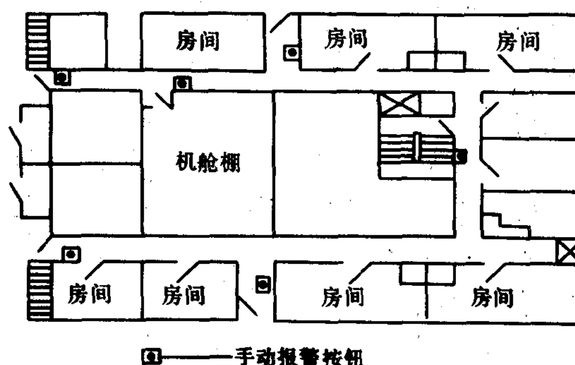


图 7.6.3—17 手动报警按钮的安装位置图

74 安全公约规定每一通道出口应装一只手动报警按钮。每层甲板的走廊内，手动报警按钮安装地点应便于操作，并使走廊任何部位与手动报警按钮的距离不大于 20m。具体安装时应尽可能与应急照明灯靠近，距甲板的高度约 1.4m。

手动报警按钮在舱室起居处所的安装位置如图 7.6.3—17 所示。

2.6 探测器的线路监控

探测器至报警指示器之间的电线，如有损伤，则失去报警功能。为此所有探测器至报警指示器之间的电线，在系统中全部自身监控，如有断线即报出故障声、光信号，并显示出故障出处。

探测器出线一般分二线制或三线制两种，有些探测器生产厂也有用四线制的，由于船上尚很少应用，故在本章内不另介绍。

2.6.1 二线制线路监控

1)分路末端的一只探测器用电阻监控，其他并联探测器不监控如图 7.6.3—18 所示。

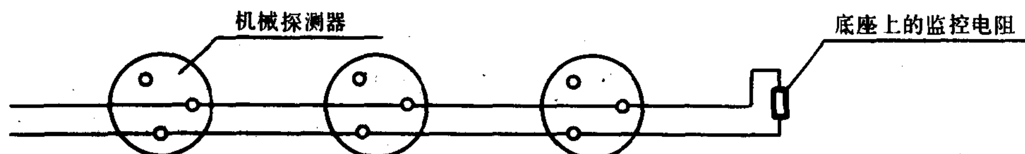


图 7.6.3—18 二线制分路末端一只探测器用电阻监控

2)分路线路和每一只探测器均监控如图 7.6.3—19 所示。

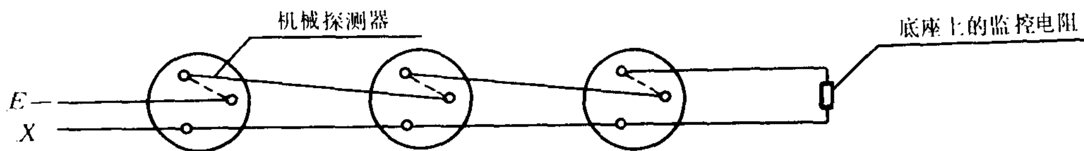


图 7.6.3—19　二线制分路每一只探测器均监控

3)二线制分路监控的方式，有用环路监控(Loop Monitoring)或在分路终端装 1 只稳压二极管的，也有在分路终端装 1 只普通二极管作手动检测时电源反接检查之用的，但以用端点电阻监控较多。

2.6.2　三线制线路监控

1)三线制分路的末端一只探测器设有端点监控，如图 7.6.3—20 所示。

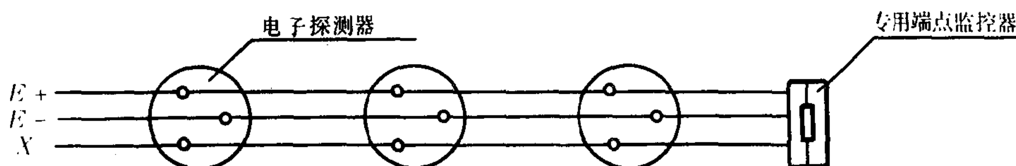


图 7.6.3—20　三线制分路末端一只探测器端点监控

2)三线制分路端点监控电路原理图见图 7.6.3—8 中的虚线部分。正常工况时 BG4 处于导通状态，如探测器三根引出线中任一线断掉，BG4 立即截止，报警指示器即发出故障信号。

3)三线制分路和每一只探测器如均需监控，只要按 2.6.1 中 2)所说原理将探测器多做几只脚，即增加几个过桥的触点即可。

3　报警指示设备

它的作用是将火灾探测器从监护现场发送来的火灾信号，用声、光发出火警报警信号，并显示出火警的部位，以便船员及早采取灭火措施。报警指示设备的功能如图 7.6.3—21。

3.1　主 要 功 能

1)发出火警声、光信号，并指示出火警来源的部位；声响可手动切除，但不得影响下一次火灾报警。

2)对报警指示设备输入和输出的线路能进行断路监控，包括主电源失电，副电源欠压等，均能自动发出故障声、光信号，并显示出故障部位。火警声、光信号与故障声、光信号有明显的区别，消声功能与火警相同。

3)火警与故障信号有记忆功能，只有在火警和故障已消除、并经人工复位后方能恢复正常。

4)具备手动模拟测试条件，以便检测设备是否正常。

5)每一分路单元可以切断，以便对某一分路进行检查维护，但切断后应有切断的光指示。

6)主、副电源可以自动转换，保持不间断地供电。

7)具备担负某些辅助功能。

8)满足船用环境条件试验要求。

具体要求可参考GB4717—84和BS3116 Part4的规定。报警指示设备的电路设计，有用分列电子原件和继电器组合，也有用集成电路，前者体积大，功能较可靠；后者体积小，设备先进，但要注意防止其他电缆和电机设备的干扰。

失火报警系统的技术，正有利用微机向智能化发展的趋势，即建立“智力系统”(Intelligent System)，主要优点是能迅速探测火灾地点、范围、火灾强度并能减少误报。

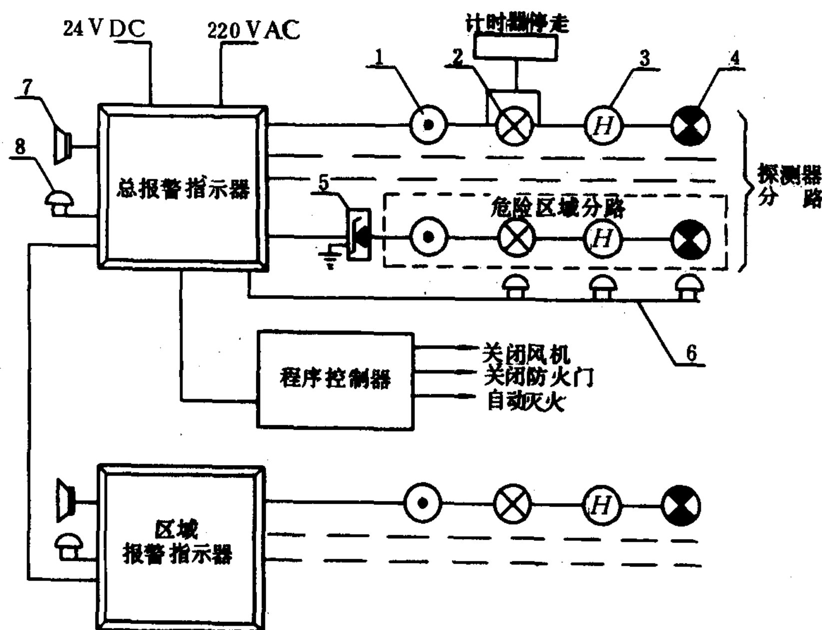


图 7.6.3—21 报警指示设备功能图

1—手动报警按钮；2—感烟探测器；3—感温探测器；4—火焰探测器；5—本质安全隔断器；6—二次声响报警(在初次声响报警发出后2min内如未引起值班人员注意，则二次声响报警动作)；7—故障蜂鸣器；8—初次声响报警

3.2 其他功能

根据设计需要，在报警指示设备发出火警信号时，可以担负下列一种或几种其它功能。

1)关闭风机或切断某些设备的电源。

2)关闭防火门。

3)释放自动灭火药剂。

4)总报警指示器发出火警声、光信号后，如在2min内未引起值班船员注意，则能向所有船员起居住所、服务处所、消防控制站和机器处所等处自动发出显著的二次声响报警。

3.3 声光显示

1)火警声响信号一般用铃通过振荡器发出间断的铃声，例如响1±0.5s；停1±0.5s。初次声响器的声压级应大于65dB。

故障声响信号一般通过音频振荡器发出蜂鸣器的音响，以便与火警声响信号有所区别。

2)光显示信号通常用发光二极管，如用钨丝灯泡，应做到断丝监控或采用双灯泡并联。要求在光线明亮的室内，距光源3米仍清晰可见，火警光信号应用红色，闪光频率为110±30次/min，亮/熄时间比约为3：1。故障光信号一般为黄色，主电源正常工作为绿色。

3.4 总报警指示器和区域报警指示器

总报警指示器和区域报警指示器在结构上并无区别，主要是安装地位和接线上加以区分。船用报警指示器一般有10、20、30分路三种，小船也有少于10分路的。

区域报警指示器只是总报警指示器的一个分路单元，它的安装地位更接近监护现场，一般均不担负其他辅助功能：如监护现场系属危险区域则应用隔爆型的火灾探测器，或在通往报警指示器之前的分路上安装一只本质安全隔断器(Intrinsically Safe Barrier)，使该分路上的手动报警按钮和探测器达到本质安全的要求。如图7.6.3—21所注明的危险区域分路部分。

船规上并无火警计时器的要求，但不少报警指示设备装有计时器，主要作用是当第一次报出火警时，计时钟停走，记录出火警发生的时间。通常计时器安装在总报警指示器或区域报警指示器上与其报警联动，或仅与某一分路的感烟探测器联动，以免其它分路有误动作时，使计时器停走。图7.6.3—21所示的计时器系仅与某一分路的感烟探测器联动。

安装于驾驶室的总报警指示器，应对光信号有减光调暗的装置，以免夜间影响驾驶员视线。

报警指示器除了基本功能要符合以上规定外，还必须通过规定的船用环境条件试验，具体要求应符合船检局海船规范和船用电工电子产品型式认可试验规则，并参考GB4717—84和BS3116 Part4的规定。

3.5 电　源

总报警指示器和区域报警指示器，包括复示器，可用统一电源，也有用分开供电的，一般：

主电源为　220V　AC　50Hz

备用电源为　24V　DC　由蓄电池组供电

报警指示器在下列电源电压和频率变化范围内应能正常工作：

主电源(交流)：

稳态变化：额定电压+10%～-15%

额定频率±5%

瞬态变化：额定电压±20%

额定频率±10%及瞬态恢复时间为3秒时。

备用电源(直流)：电压偏离额定电压为+30%～-25%

当主电源断电时，能自动转换到备用电源，当主电源恢复后能自动转换到主电源。备用电源的容量应能在静态监视状态下工作24h后，尚能担负报警指示1/3的负载(不少于4个分路同时报警)正常工作30min。

4 舱室自动探火及报警系统

4.1 安装和布置

1)总报警指示器一般安装于驾驶室或消防控制站内，区域报警指示器安装于防火分区的值班室内，如果总报警指示器安装在消防控制站内则驾驶室应有一套复示器。

2)应在船上所有梯道、走廊和起居处所内的脱险通道安装感烟探测器，如在通风管道内安装感烟探测器，则探测器上应有特殊的档风罩，使探测器承受的风速小于 8m/s。

3)不允许在起居处所、服务处所和控制站内的一个分区超过一层甲板(包含围蔽梯道的区域除外)，且不允许一个分区多于 50 个围蔽处所。

4)客船上的一个分区尽可能不包括左右两舷，不多于一层甲板，也不超过一个防火主监区。

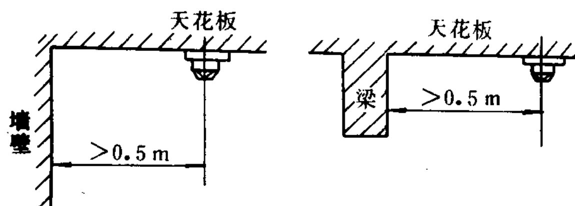


图 7.6.3—22 探测器安装距离

5)探测器的安装部位，一般距舱壁或梁的距离应大于 0.5m，如图 7.6.3—22。

探测器与风口的距离，应尽量远离送风口，如图 7.6.3—23。

室内如有高度超过 0.5m 的倒挂梁，则应视为两个保护区，如图 7.6.3—24。

旅客舱内的探测器，如有可能被人手触摸，则应加保护网罩。

6)每一分路并联的探测器和手动报警按钮数目应视其需要和电流负载的大小而定，一般每一分路的长度不超过 30m，静态电耗(包括终端监控)不超过 20mA。

探测器的并联总数建议不超过 10 只。

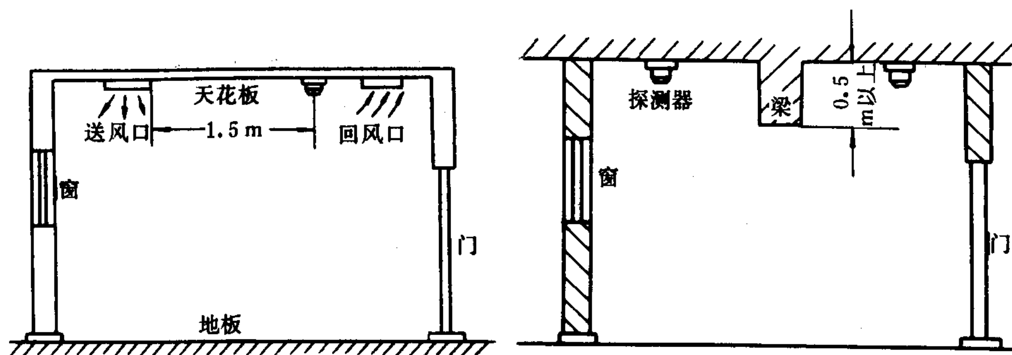


图 7.6.3—23 探测器与通风口的安装　　图 7.6.3—24 室内有倒挂梁时探测器的安装

4.2 探测器保护面积和选用

1)安装在船上的探测器保护面积和最大间距见表 7.6.3—3。

表 7.6.3—3 探测器安装在船上的保护面和最大间距表

探测器类型	每一探测器的最大保护面积	两只探测器中心最大间距	距舱壁的最大距离	附　　注
感温式	37m²	9m	4.5m	由于船舶层高较小，故房间高度可不作规定
感烟式	74m²	11m	5.5m	

火焰探测器的保护面积按视场角大小而定，一般安装高度为 5～10m，如安装高度低，被保护的面积缩小，但灵敏度高，反之则灵敏度低。

2)按照监护区域的不同特点，选用合适的探测器，并加以合理分布，对于有效地探知火情有很大关系；同时还可减少误报。各类探测器是否适合选用的区域如表 7.6.3—4。

表 7.6.3-4 **各类探测器是否适合选用的区域表**

探测器类型	适合选用的区域	不适合选用的区域
定温型	适宜温度变化较大的处所，如厨房、配膳间、锅炉间，如室内顶板温度较高，应选用标定温度大于顶板最高温度30℃的定温探测器，适合失火时温升较快的区域	天花板高于7.5m，可能产生隐燃的火灾，希望获得早期报警的监护区域
差定温型	灵敏度要求较高，温度变化不大的舱室，如起居处所、服务处所、净油机间、储藏室、被服间，一般的灰尘和雾气不会误报，适合失火时温升较快的区域	温度变化大，可能产生隐燃的火灾，天花板高于7.5m厨房间
离子感烟型	机器处所、配电板顶部、梯道、走廊、起居处所内的脱险通道、生活公共处所	经常有人居住和办公的舱室，易产生灰尘的被服间、行李间，可能产生蒸汽、烟和湿度较大的处所、厨房、经常有碗碟放在柜上的配膳间，舱室顶板温度较高的处所
光电感烟型	机器处所、配电板顶部，梯道、走廊、起居处所内的脱险通道、生活公共处所、船员及旅客舱室	易产生灰尘的被服间、行李间，可能产生蒸汽、烟和湿度较大的处所，舱室顶板温度较高的处所，环境太脏的处所
红外型*	可能产生无烟的火灾区域，房间顶高大于5m	无火焰的隐燃火灾，在火焰发生前先有浓烟，由于机械转动产生光辐射闪烁的区域
紫外型*	可能产生无烟的火灾区域，房间项高大于5m	无火焰的隐燃火灾，在火焰发生前先有浓烟，避免荧光和电焊光

* 船舶不允许单独使用火焰探测器。

4.3 管理和维护

舱室自动探火及警报系统是船上重要的防火安全设备，应有专人管理和维护，并应定期检查，船上应建立舱室自动探火及报警系统检查记录簿制度，有关定期检查中的情况，和在运行中经过检修的项目均应在记录簿上记载备查。

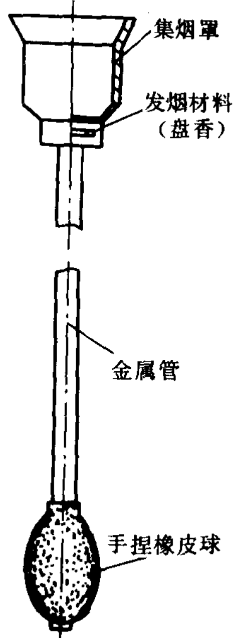


图 7.6.3-25 加烟试验工具

4.3.1 月检

1)检查系统的说明书和有关文件保管情况，并按文件规定进行检查试验。

2)手动检测按钮，检查模拟火警和故障声、光信号报警功能是否正常，检查消声功能。

3)检查各分路监控和切断功能。

4)检查各分路的探测器是否短缺，手动报警按钮是否完好。

5)检查区域报警指示器、复示器与总报警指示器的连接情况。

6)检查辅助功能情况。

如在检查中发现灯泡熄灭，探测器或声响器损坏，应及时更换备件。

4.3.2 年检

1)内外观察检查所有报警指示器有无损坏情况。

2)检查报警指示器、复示器、探测器、声响器及电缆的固定情况。

3)进行 4.3.1 款 1)～6)项的检查,并在 1 年中做完各分路中能复位探测器的全部效用试验。

在船上进行探测器的效用试验,只能用模拟火情的方法,差定温探测器可用电吹风加热。感烟探测器可用加烟试验工具如图 7.6.3—25。

火焰探测器可将液体燃料放在小于 $30cm^2$ 盘内使其产生闪烁火焰进行试验(特别要注意防火,以防因试验而引起火灾)。

探测器损坏,须送回原制造厂检修,不得自行拆开,特别是离子感烟探测器,要防止放射性污染。

4.3.3 两年一次保养

1)由设备制造厂代表参加下对系统的功能进行一次全面检查。

2)所有能复位探测器应在专用测试风筒上校验一次,不能复位的探测器应至少抽验 5%,损坏的探测器应予换新。

3)检查备用电源的电池,必要时予以换新。

5 货舱自动探火及报警系统

很早以前船舶干货舱就应用自动探火及报警系统,应用的型式主要是管道抽烟式,因为货舱装货后人员不易进入,空舱时舱深很大,人员又不易接近顶部,如装载危险品则又成为危险区域,故一般不采用点型探测器。滚装船装货处所因载车辆,需要检测可燃气体浓度,故装有可燃气体探测及警报系统,其型式可用扩散式,也有用管道吸气式。

5.1 干货舱的抽烟式自动探火及报警系统

5.1.1 系统的主要部件

系统主要由抽风机及其管道,烟探测装置和报警指示设备等部分组成,如图 7.6.3—2。

1)抽风机及其管道。抽风机共两台,装在驾驶台顶部露天甲板上,平时用一台,另一台备用。探烟报警指示器装在驾驶室内,各货舱均有管道通至探烟报警指示器,货舱起火产生的烟雾,通过吸烟口和管道抽吸至报警指示器内的烟探测装置而报警。干货舱如采用 CO_2 或 1211、1301 灭火系统时,通常将抽取烟样的管道兼做灭火管路,这时灭火控制站灭火剂施放管路与报警指示器的下部汇集管连通,并由此通至各货舱,待确认某一货舱失火时,可在驾驶室将分配旋塞开通至失火货舱,然后由驾驶室用电话通知消防控制站释放灭火剂,达到灭火目的。

2)烟探测装置,多用光电感烟型,应能连续工作或连续扫描工作。

3)火灾警报指示设备,基本上与舱室报警指示器相似。如在工作时报警,可将排气控制阀转向驾驶室排气,以便值班人员嗅闻,判别是否真发生火灾。

5.1.2 工作原理

货舱内空气不断的被抽风机吸入管道,并送至烟探测装置,然后排入大气,因光敏管放置在光线垂直的上方,无烟时,光源射出的平行光束,射不到光敏管上,如有烟雾时平行光束受到烟粒的反射及散射而到达光敏管上,光敏管将光信号转变为电信号,经放大后使报警器动作,发出声、光报警。它的装置原理如图 7.6.3—26。

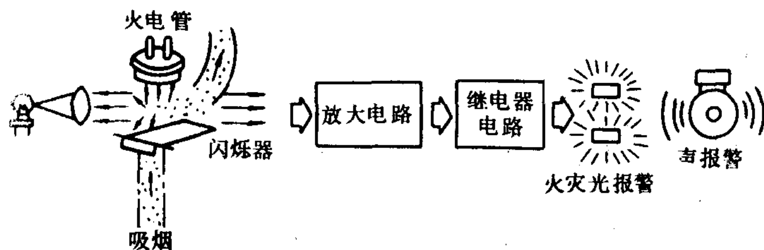


图 7.6.3—26 干货舱抽烟式自动探火及报警系统工作原理图

5.1.3 设计和安装要求

1)该系统除应符合船用环境条件外,应防止任何有毒或可燃气体、灭火介质泄漏至货舱以外的处所,并避免点燃或引爆可燃气体的可能性;

2)烟探测装置的灵敏度应在烟气密度超过每米 6.65%的减光率之前报警;

3)安装在驾驶室的报警指示设备应能观察到各个取样管内的烟气;

4)取样管的内径不小于 12mm 并能用压缩空气吹洗;

5)吸烟口(聚烟器)一般装在货舱顶部避免遭受机械损伤处,吸烟口距货舱四周不超过 12m,连接到每个取样点的吸烟口不超过 4 个。

5.2 滚装船装货处所可燃气体探测及报警系统

5.2.1 扩散式可燃气体探测及报警系统

它是固定安装式,,采用气体扩散原理来收集监护现场气样,本身不带任何电动吸气泵,因而系统简单、体积小、反应时间约 30s,稍长于强吸式气体探测及报警系统。功能基本上与扩散式便携测爆仪相似。

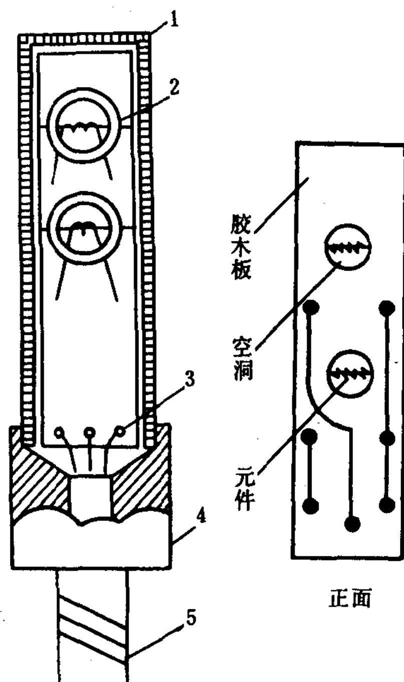


图 7.6.3—27

扩散式探头剖视图

1—隔爆网罩;2—元件板;3—导线;

4—底座;5—金属软管

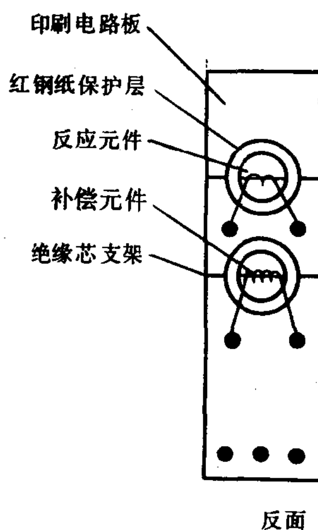




图 7.6.3—28 扩散式探头元件板

5.2.1.1 系统的组成

扩散式可燃气体探测及报警系统，主要由报警指示器和探头两部分组成。报警指示器安装在驾驶室，除了能发出注意报警和可燃性气体浓度报警外，还担负探头断线的故障报警。功能与一般报警指示设备相仿，不再详细叙述，重要的元件是探头，现例举英制西格(Sieger)的一种扩散式探头如图 7.6.3—27，其元件板如图 7.6.3—28。

它的检测原理为接触燃烧方式，石油蒸发的可燃气体较空气重，故探头均安装于舱室墙壁的下部，距地面约 0.3m 左右。由于探头安装于危险区域，所以探头必须有隔爆网罩达到隔爆的要求。反应元件是铂丝，表面涂有催化剂(主要是铝和钯的氧化物)，补偿元件是镍丝，这两元件一并装在隔爆的不锈钢网罩内，外加防碰撞的保护罩壳，形成一只探头，探头与报警指示器用电缆连接。

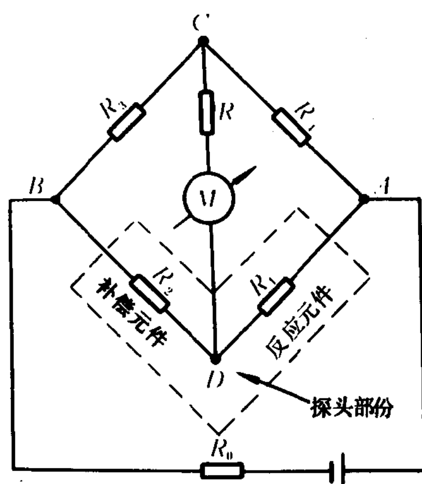


图 7.6.3—29 扩散式可燃性气体探测报警指示器检测原理示意图

5.2.1.2 检测原理

报警指示器内部电路基本上应用电桥的原理，如图 7.6.3—29 所示。探头内的反应元件和补偿元件是电桥的二个桥臂，当有可燃性气体存在时在催化剂作用下，可燃性气体在反应元件表面燃烧，温度升高，从而反应元件电阻增大，电桥失去平衡，检流计指示出读数。检流计指针的偏转量随可燃性气体的浓度增加而增大，当指针指到 100%时即表示可燃性气体的浓度已达到爆炸下限值(L.E.L)。报警点可随使用人员的需要设定，一般定在 25% L.E.L。

5.2.2 管道吸气式可燃性气体探测及报警系统

它用固定管道引伸至监护现场，报警指示器内有一台吸气泵，轮流抽吸各监护现场的气体，使其通过装有反应元件的隔爆燃烧室后，再排入大气。另有一台吹洗泵，用来吸入新鲜空气，吹洗隔爆燃烧室，其动作程序是“吹洗”—“监护现场 A 气体接触反应元件”—“吹洗”，再继续使监护现场 B.C.D 依次接触反应元件，这一系列的动作由既定程序和电磁阀来完成。

它的检测原理为接触燃烧方式，电路原理也是应用电桥，反应元件一般由铂丝涂催化剂，管道吸气式的基本工作原理类似强吸式测爆仪，仅结构较为复杂。国外这类产品以瑞典色尔威柯(Salwico)生产的气体报警系统(Gas Alarm System)比较有代表性。国外生产的可燃性气体探测器，也有在每只探头上装有电动吸气泵的，这些探头都属防煤结构，但价格高，民用船舶很少采用。

5.3 管理和维修

货舱自动探头及报警系统对防止船舶货舱火灾起着重要作用。平时应有专人负责管理和维护，并应定期检查、试验并做好记录。

5.3.1 月检

1)检查本系统的说明书和有关文件保管情况并按文件规定进行检查、试验。

2)手动检测测试按钮，检查模拟报警和故障声、光信号功能是否正常，检查消声功能。

3)抽烟式自动探火及报警系统要注意光源灯管损坏和光敏元件清洁。

4)扩散式可燃气体探测及报警系统的探头不能油漆，不能有其他物件阻挡。管道吸气式不

得吸入液体，过滤器每月应清洗，反应元件均不可接触含有硅酮和铅的气体，以免引起涂有催化剂的反应元件钝化，并且缩短使用寿命。

5)用标准气样检测可燃气体及报警系统的指示值与气样浓度是否一致，如有偏差，可调整灵敏度旋钮使其一致，如认为该系统失灵，则应由专门人员或制造厂维修，不应乱动。

5.3.2 年检

1)外观检查报警指示器、探头、吸气管道及抽烟管道是否损坏。

2)检查外接声响器及电缆有无损坏。

3)检查 5.3.1—1)～5)项的内容，不正常或损坏的元件应予更换，并尽可能有制造厂人员参加下检查修理。

4)抽烟式自动探火及报警系统的抽烟管道如兼做灭火管路，则应检查分配旋塞是否活络，通往各货舱的铭牌标志是否齐全。

6 自动化机舱自动探火及报警系统的功能和安装的特殊要求

自动化机舱的机器处所首先要符合舱室自动探火及报警系统的要求，但自动化机舱因经常无人值班，又是火灾多发性的区域，再加上机舱的形状不规则，通风气流也大，因而不能用探测器一般所能保护的面积来布置。系统的探火功能必然要适应机器处所无人值班的某些特殊要求。

6.1 功能的特殊要求

1)探火系统的设计和探测器的安置应在机器处所正常工况和保持环境温度范围内所需的通风变化下，能使探测器发挥最佳功能，同时不发生误报。

2)除了个别适宜用感温探测器处所，如机修间等可选用外，不允许在自动化机舱仅使用感温探测器的探火系统。

3)报警系统所发出的声、光信号应不同于非火灾系统的报警信号，应有明显的区别。这些报警信号的设置地点要合理，以保证驾驶室和负责的轮机员能听到和看到该报警信号。当驾驶室无人值班时，应能在负责值班船员的处所发出警报。

4)机炉舱出入门的外侧、机舱主控制站和驾驶台应设有火警手动报警按钮。

5)在系统安装以后，应能在机器运转和通风变化的情况下进行模拟试验。

6.2 自动化机舱内探测器的选择和安装

机器处所选用探测器的种类、数量和安装地点，根据易发生火灾的部位和燃烧物质确定，以便在刚开始发生火灾时即能迅速探出火灾的征兆。

1)机器处所易发生火灾征兆的部位，一般为：

辅锅炉平台；主锅炉喷油嘴前端；燃油泵；发电机组；主柴油机燃油泵和喷油嘴；燃油净油机；润滑油净油机；燃油驳运泵；机修间；配电板；储物间；污油舱底。

2)机器处所探测器的选用和安装部位：

图 7.6.3—30a)、b)、c)表示中小型船舶机器处所探测器选用种类和安装部位。

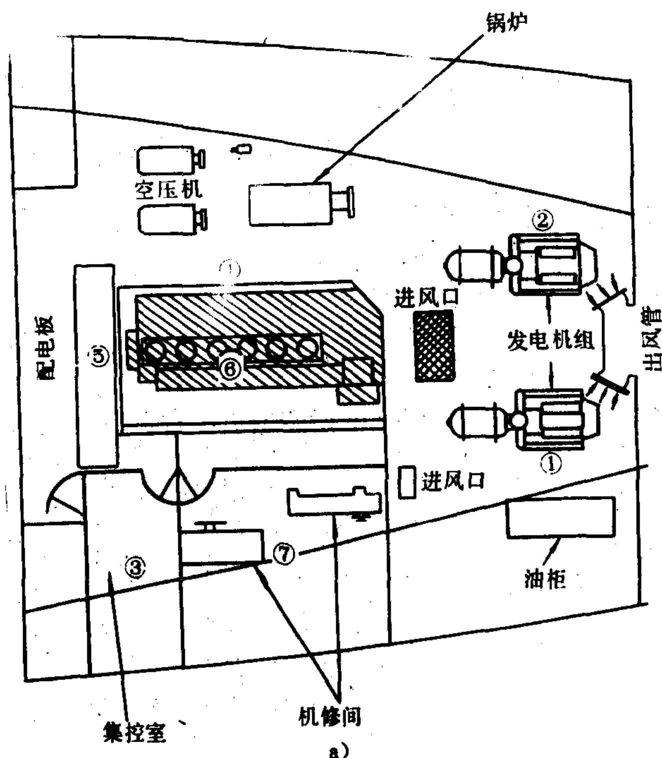


图 7.6.3—30a） 机舱平面图—二层甲板

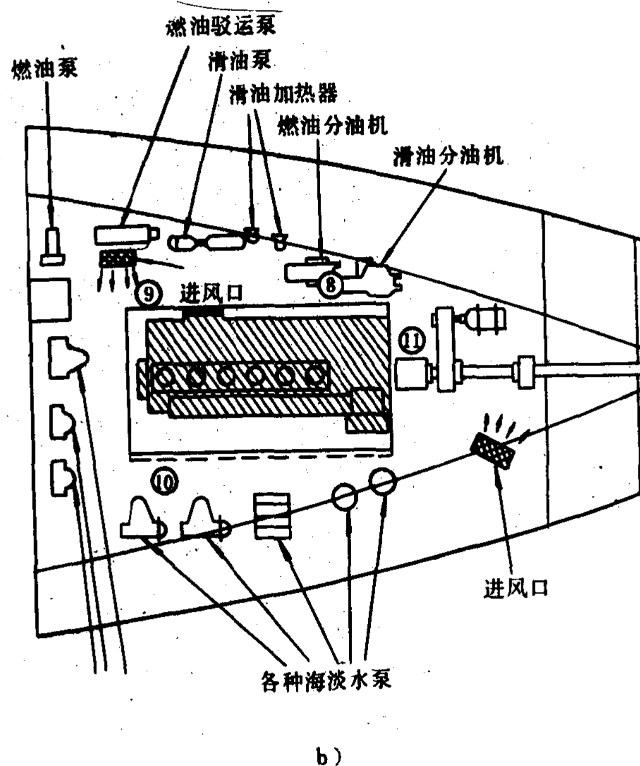


图 7.6.3—30b） 机舱平面图—底平面（图上圈号表示探测器的号码和安装的部位）

图中探测器①和②为感烟探测器，主要监护发电机组，安装部位略偏于机组的外侧，对周围区域起到监护作用。

探测器③监护集控室，宜用光电感烟型或差定温探测器；大型船舶集控室的配电板后面人员不常进入的区域可用离子感烟型探测器。

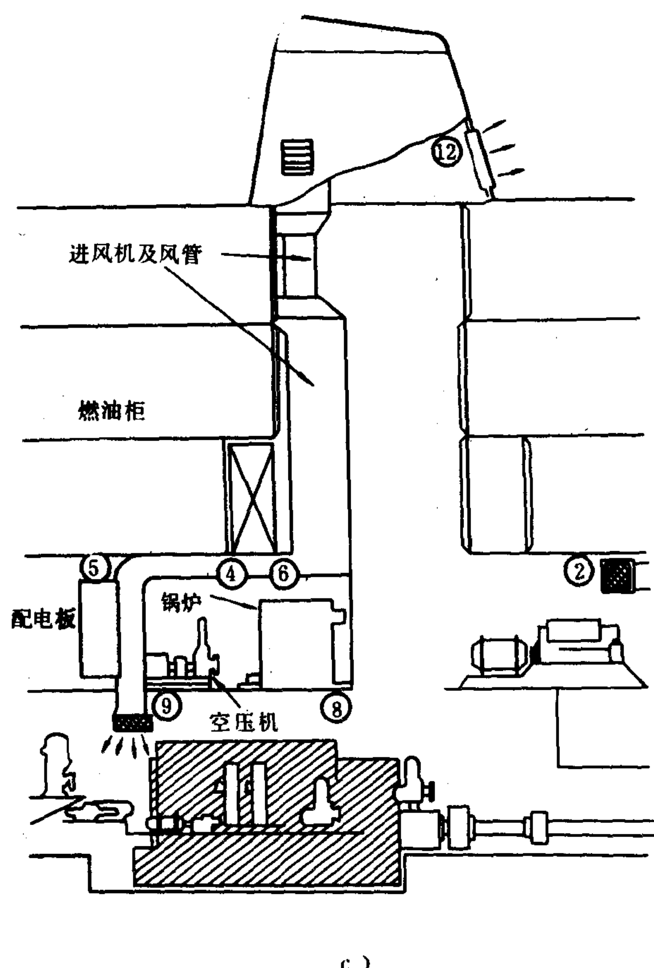


图 7.6.3—30c） 机舱剖面图

探测器④监护锅炉及空压机，安装部位宜接近锅炉喷油嘴和机舱棚烟气必经之处，因火灾发生时烟气流上升，极易促使探测器动作，离子感烟探测器和光电感烟探测器均可应用。大型船舶的类似部位，探测器数量可以增加，如在锅炉前加装一只火焰探测器，会起到更有效地监护作用。

探测器⑤监护配电板，可用离子感烟或光电感烟探测器。

探测器⑥监护主机气缸顶部，大型船舶探测器的数量可增加，由火焰探测器和感烟探测器连用最适合。

探测器⑦监护机修间，感烟或差定温探测器均可应用，如在机修间需燃烧物品或需烧焊，则以用差定温探测器为宜。

探测器⑧、⑨、⑩及⑪监护机舱底平面各种泵和辅助设备，探测器可用感烟式，安装部位应靠近二层甲板开口的边缘，因火灾时烟气将通过开口边缘冲向机舱棚。大型船舶由于二层甲板的高度增大，同时有深度较大的纵向悬臂梁阻挡烟气的流动，故探测器的数量应适当增加。

探测器⑫监护机舱棚顶部，因此处一般烟灰较多，环境温度变化较大，故以装定温式探测器为宜。

每种探测器的性能有它的优缺点，因而因地制宜选择适合的探测器并加以组合应用，使其发挥最佳功能，减少误报，特别在自动化机舱探火及报警系统中这点更加重要。

第 4 章　消防设备及供应品

1 灭　火　器

目前，常用的船用灭火器有泡沫、清水、干粉、CO_2、1211 等五种类型。

1.1　泡沫灭火器

它通过筒内酸性溶液（硫酸铝的水溶液）与碱性溶液（碳酸氢钠的水溶液）混合后发生化学反应，喷射出泡沫，覆盖在燃烧物的表面上，隔绝空气，起到灭火效果。

泡沫灭火器适用于扑救油脂类、石油产品及一般固体物质的初起火灾。

船用手提式泡沫灭火器有 MPZ 型手提舟车式、MPT 型推车式两种。

1.1.1　MPZ 型舟车式手提泡沫灭火器

1)构造：

它主要由筒体、瓶胆、筒盖、提环等零部件组成。筒身内悬挂有玻璃或聚乙烯塑料制的瓶胆；瓶胆内装酸性溶液；筒体内装碱性溶液。筒体上装有瓶盖机构，以防止车辆或船舶航行时震动和颠簸而渗出药液。筒盖用塑料或钢板压制，装有滤网、喷嘴。筒盖与筒体之间有密封垫圈，筒盖用螺栓固定在筒体上。MPZ 型舟车式手提泡沫灭火器的构造见图7.6.4—1。

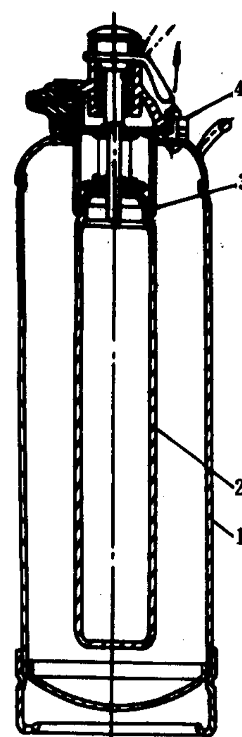


图 7.6.4—1　MPZ 型舟车式泡沫灭火器构造

1—筒体；2—瓶胆；3—瓶夹圈；4—垫圈；5—筒盖

2)规格性能：

MPZ 型手提式舟车式泡沫灭火器的主要技术性能应符合表 7.6.4—1规定。

表 7.6.4—1　　**MPZ 型舟车式泡沫灭火器技术性能表**

型号		药液总量 (L)	喷射时间 (s)	射程(m)		筒身耐压试验压力 (MPa)	质量 (kg)		外形尺寸 (长×宽×高) (mm)	发泡倍数	泡沫持久性
新	旧			集中点	最远		装药液	不装药			
MPZ8	MP21	8.3	60	8	10	2.5	12.6		174×163×575	8	30 分钟泡沫消失量不超过 50%
MPZ10	MP21A	9.55	60	8	10	2.5	15.39	4.85	173×199×630	8	30 分钟泡沫消失量不超过 50%

3)使用：

使用时先将瓶盖机构向上扳起，中轴即向上弹出开启瓶口。然后颠倒筒体，酸碱两种溶液混合，生成泡沫，从喷嘴喷出。灭火器存放地点的环境温度应在－8°～－45℃之间。

4)维护保养和检查：

(1)每年换药一次；

(2)每两年筒体须经 2.1MPa 的水压试验，并检查筒体的腐蚀情况；

(3)检查在船舶航行途中，由于横摇或颠簸和震动时有无药液渗出现象；

(4)检查瓶盖机构在向上板起后，中轴能否正常弹出。

1.1.2 MPT 型推车式泡沫灭火器

1)构造：

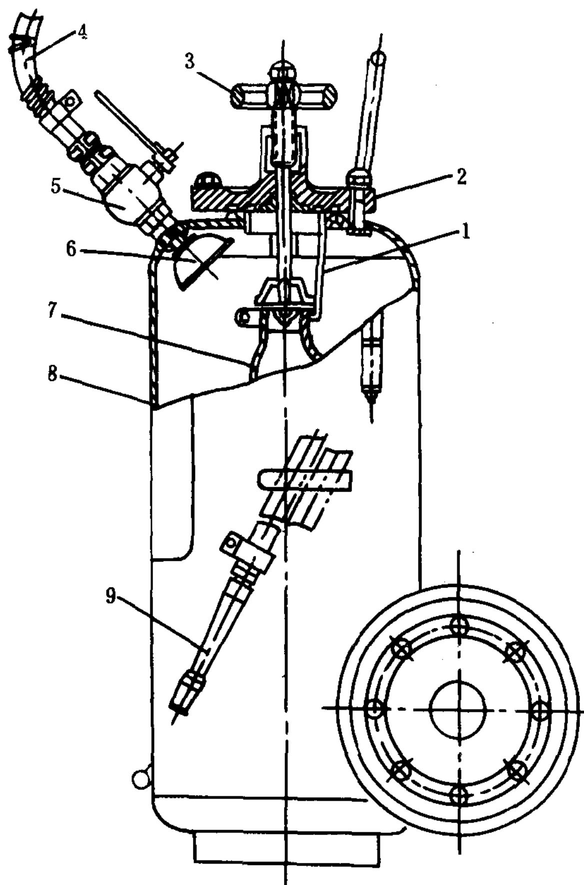


图 7.6.4—2　MPT 型推车式泡沫灭火器构造图

1—吊篮；2—筒盖；3—手轮；4—喷管；5—旋塞；6—过滤器；7—瓶胆；8—筒体；9—喷枪

筒体用钢板制成，内装碱性溶液。瓶胆悬挂在筒体内，内装酸性溶液。按顺时针方向转动手轮，胆塞在手轮丝杆作用下将瓶口封闭，以防止两种药液混合。筒盖由螺母和螺栓紧固在筒体上。筒盖内装有密封垫圈和油浸石棉绳；筒盖上还装有安全阀。如灭火喷射系统堵塞，泡沫无法喷出，当筒内压力超过 1.0MPa 时，安全阀自动开启，可以防止筒体爆破。喷射系统由滤网、旋塞(直通阀)、喷射管、喷枪等组成。筒体固定在筒架上，筒架，装有胶轮，便于移动，如图7.6.4—2 所示。

2)规格性能：

MPT 型推车式泡沫灭火器技术性能应符合表 7.6.4—2 规定。

表 7.6.4—2　**MPT 型推车式泡沫灭火器技术性能表**

型　号	容　量(L)	喷射时间(s)	射　程(m)		内药液(kg)		外药液(kg)		质　量(kg)	
			集中点	最　远	药　粉	清　水	药　粉	清　水	未装药液	装药液
MPT65	65	170	≥15	≥17	6.3	7	4.55	42	73	133
MPT100	100	175	≥16	≥18	9	10	6.5	60	85	170.5

注：① 筒身强度试验压力为 2.5MPa。

②安全阀开启压力为 1.0～1.25MPa。

3)使用：

一人施放皮管，双手握住喷枪对准燃烧物；另一人按逆时针方向转动手轮，开启胆塞。然后将筒体倒转，使拖杆触地，立即将旋塞手柄扳直，使泡沫喷射出。

4)维护保养和检查：

(1)灭火器存放地点的环境温度应在 0～45℃之间。

(2)每月检查一次喷枪、皮管、滤网及安全阀有无堵塞,瓶口是否盖紧,橡皮是否腐蚀,推车是否转动灵活。并注意筒身是否有锈蚀腐烂,筒盖螺母是否旋紧。

(3)使用两年以后换药剂时,应进行 2.0MPa 的耐压试验。

(4)每年应进行两次药剂检查,若变质严重应更换。

1.2 干粉灭火器

干粉灭火器以高压 CO_2 气体为驱动干粉的动力,适用扑救石油及其产品,易燃气体和电器设备的初起火灾。

干粉灭火器有 MF 型手提式、MFT 型推车式和 MFB 背负式三种。船上不采用 MFB 型背负式。

1.2.1 MF 型手提式干粉灭火器

1)构造:

灭火器在筒体外或在筒体内设置高压 CO_2 的钢瓶。钢瓶与筒体由瓶头上的螺母通过筒盖相连接,在瓶头阀上有一穿针。当打开保险销,拉动拉环时,穿针即刺穿钢瓶口的密封膜,使钢瓶内的高压 CO_2 气体沿进气管进入筒内,筒体内装有干粉,并有一出粉管,在出粉管下端安装一防潮堵。干粉由 CO_2 气体的压力,能沿出粉管经喷管喷出。其构造如图 7.6.4—3 和图 7.6.4—4 所示。

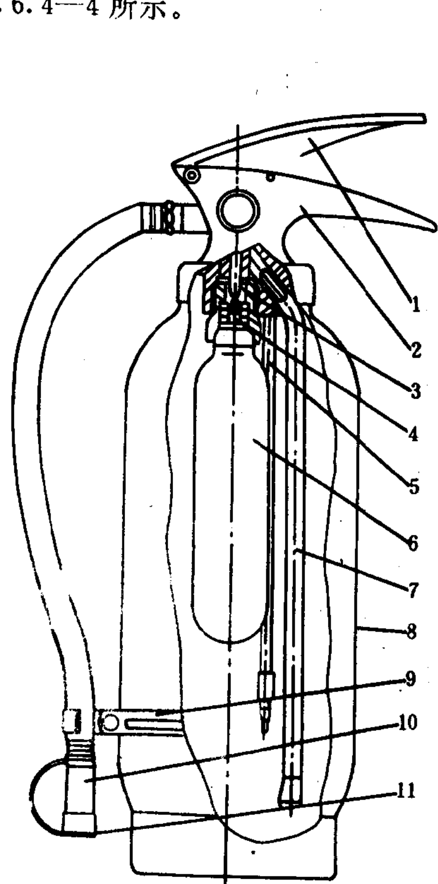


图 7.6.4—3 MF4 型内置钢瓶式干粉灭火器构造图

1—压把;2—筒盖固定把手;3—框子;4—膜片;5—进气管;6—钢瓶;7—出粉管;8—筒体;9—固定带;10—喷枪;11—胶堵

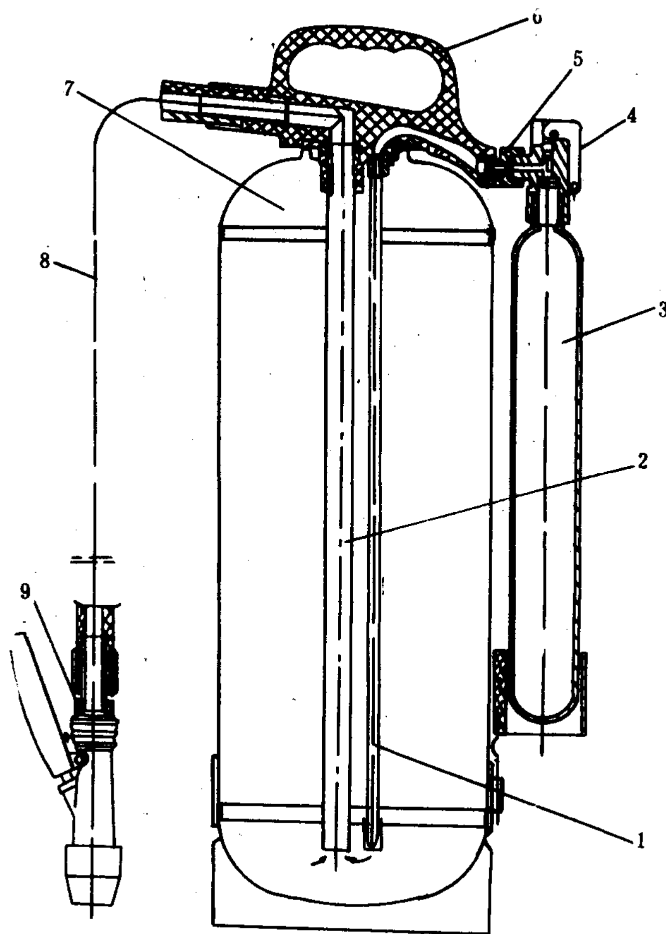


图 7.6.4—4 MF8 型外置钢瓶式干粉灭火器构造图

1—进气管;2—出粉管;3—钢瓶;4—拉环;5—钢瓶螺母;6—提盖;7—筒体;8—喷粉胶管;9—喷枪

2)规格性能：

MF 型手提式干粉灭火器的主要技术性能应符合表 7.6.4—3。

表 7.6.4—3　**MF 型手提式干粉灭火器技术性能表**

型式	型　号	灭火剂量 (kg)	有效喷射时间 (在 20±5℃时) (s)	有效喷射距离 (在 20±5℃时) (m)	喷射剩余率 (%)	灭火级别		使用温度范围(℃)	绝缘性能 (V)
						A 类 (代号)	B 类 (m^2)		
贮气瓶式	MF1	1±0.05	>6	≥2.5	≤10	3A	0.4	－10～55 或 －20～55	≥5000
	MF2	$2^{+0.05}_{-0.10}$	≥8	≥2.5		5A	1		
	MF3	$3^{+0.05}_{-0.10}$	≥8	≥2.5		5A	1.4		
	MF4	$4^{+0.05}_{-1.10}$	≥9	≥4		8A	2		
	MF5	$5^{+0.10}_{-0.15}$	≥9	≥4		8A	2.4		
	MF6	$6^{+0.10}_{-0.15}$	≥9	≥4		13A	2.8		
	MF8	$8^{+0.10}_{-0.20}$	≥12	≥5		13A	3.6		
	MF10	$10^{+0.10}_{-0.20}$	≥12	≥5		21A	4		

3)使用

打开保险销，把喷枪口对准火源，拉动拉环，干粉即被喷出。

4)维护保养和检查：

(1)存放地点的环境温度应在－10～45℃范围内，通风良好，环境干燥。

(2)每年检查一次 CO_2 的贮气量。检量方法是将钢瓶拧下(切勿将铜阀体与钢瓶脱离，以免造成危险)，进行称重 CO_2 质量如减少$\frac{1}{10}$应予补充新气。

(3)检查瓶头阀内穿针及活动部件是否灵活，穿针位置是否正确。

(4)每年检查一次干粉是否有结块，如有结块应予更换。

(5)检查出粉管和进气管、喷管有无粉块堵塞，出粉管上防潮堵内薄膜有无破裂。

(6)检查灭火器头螺母是否拧紧，以免漏气造成干粉结块。

1.2.2　MFT 型推车式干粉灭火器

该型灭火器与手提式干粉灭火器的灭火原理相同。

1)构造：

国内目前生产的推车式干粉灭火器，全部是贮气瓶式，因此，对密封性能要求高，对制造质量要求严，生产成本高。这种灭火器按照贮气瓶的安装位置不同，分内置式和外置式两种。内置式具有结构紧凑，美观大方的优点；外置式则检查、更换和维修较方便，内置式构造如图 7.6.4—5 所示。

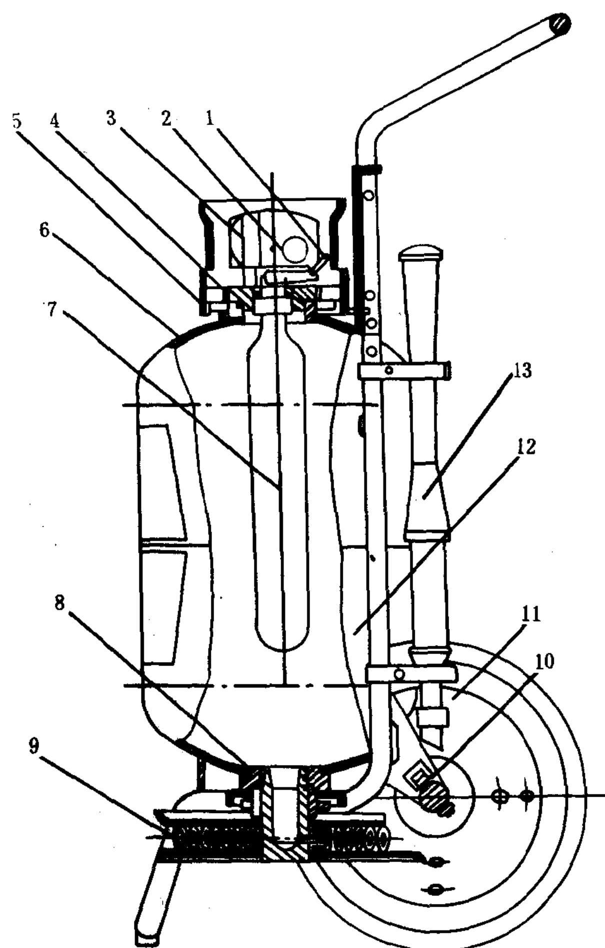


图 7.6.4—5 MFT 系列干粉灭火器构造图

1—进气压杆提环；2—进气压杆；3—压力表；4—密封圈；5—护罩；6—筒体；7—贮气瓶；

8—出粉口密封圈；9—出粉管；10—轮轴；11—车轮；12—车架；13—喷粉枪

2)规格性能：

MFT 型推车式干粉灭火器的主要技术性能如表 7.6.4—4 所示。

表 7.6.4—4 **MFT 推车式干粉灭火器技术性能表**

型号	灭火剂量(kg)	工作压力(MPa)	喷射时间(在 20±5℃时)(s)	喷射距离(在 20±5℃时)(m)	灭火级别(m′)	使用温度范围(℃)	喷射胶管尺寸(内径×长度)(mm)	外形尺寸(长×宽×高)(mm)	总质量(kg)
MFT25	25	0.8～1.1	≥12	≥8	7	−10～+45	25×6000	528×520×1040	90
MFT35	35		≥15		9				
MFT50	50		≥20	≥9	13		25×8000	645×520×1225	121
MFT70	70		≥25		18		25×10000	645×520×1225	145

3)使用：

遇火灾时，将灭火器推至失火地点，后部向着火源。这时，先取下喷枪，展开出粉管(切不可与扭折现象)，再提起进气压杆，使 CO_2 进入贮罐。当表压升至 0.7～1.1MPa 时放下压杆停止进气。接着，两手持喷枪，双脚站稳，枪口对准火焰边沿根部，扣动扳机(开关)，将干粉喷出，由

近至远将火扑灭。如扑救油火，干粉气流不要直接冲击油面，以免油液溅出引起火灾蔓延。灭火后，将管内、枪内余粉认真清除干净。不可泄气留粉，以防堵塞胶管。

4)维护保养和检查：

(1)检查存放地点的环境温度是否在－10°～45℃范围内。

(2)每年一次检查 CO_2 的贮气量，当缺少量达$\frac{1}{10}$时应补充新气。

(3)检查拖曳转动部位是否转动正常。

(4)检查干粉有无结块现象，如发现结块，须即更换。

(5)检查安全阀装置是否正常，如发现故障应即修理。

(6)每隔三年，干粉贮罐需经 2.5MPa 水压试验，CO_2 钢瓶需经 22.5MPa 的水压试验。

(7)经常检查各种密封部位是否严密。

1.3 CO_2灭火器

它主要用于扑救贵重设备、档案资料、仪器仪表、600V 以下的电器及油脂等火灾。

1.3.1 MT 型手提式 CO_2 灭火器

1)构造：

手提式 CO_2 灭火器的结构型式分为下列四种：

(1)按喷筒和阀门的连接方式分为刚性连接和软管连接。

(2)按气瓶底部结构型式分为球形不带底座、底凸起不带底座和镶底座式。

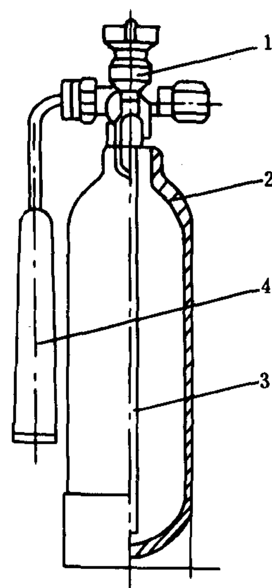


图 7.6.4—6 MT2、MT3 型手提手轮式 CO_2 灭火器

1—阀门；2—瓶体；3—虹吸管；4—喷筒

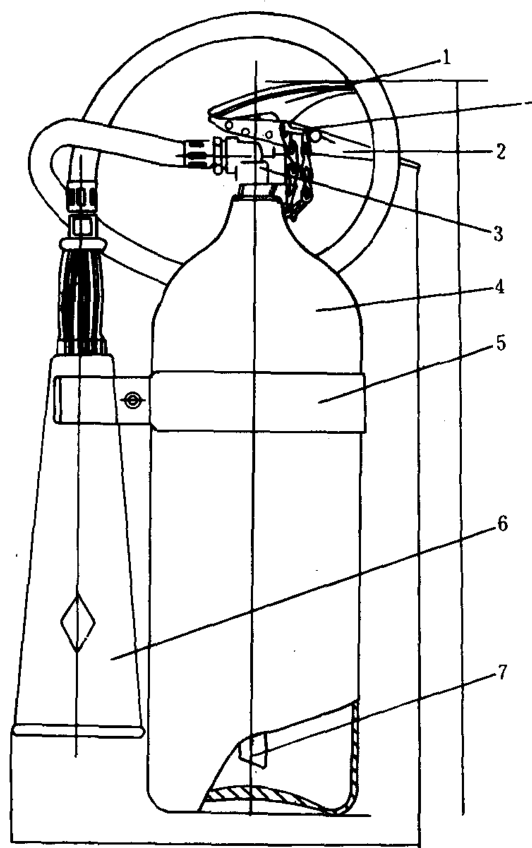


图 7.6.4—7 MT5 型手提鸭嘴式 CO_2 灭火器

1—压把；2—提把；3—阀体；4—筒体；5—连接带；6—喷筒；7—虹吸管

(3)按放置方式分为悬挂式和立置式。

(4)按开启方式分为手动开启(手放开即自动关闭又称鸭嘴式)和旋转(手轮)开启式。因旋转开启速度慢,使用不便,将逐渐淘汰。

手提式 CO_2 灭火器由筒体、阀门、喷筒(喇叭)和虹吸管等主要部件组成。

筒体为无缝结构,肩部打有气瓶的重量、CO_2 重量、瓶的编号、出厂年月等钢印字样。

阀用黄铜制成,附有提把和压把,阀门上有安全膜片,当压力超过允许限度时,即自行爆破,以确保安全。旋转开启的有手轮而无压把。喷筒,用耐寒橡胶制成,通过喷管连接在启闭阀门上,其作用是使喷射时定向,提高灭火效果。

虹吸管连接在阀门下部,伸入筒体底部,距瓶底 3～4cm 处切成 30°斜口,以保证在使用时气瓶内的 CO_2 能连续喷完。

手提式 CO_2 灭火器的构造如图 7.6.4—6、图 7.6.4—7 所示。

2)规格性能(见表 7.6.4—5):

表 7.6.4—5　　**手提式 CO_2 灭火器主要性能表**

<table>
<tr><th>型　式</th><th>灭火剂量
(kg)</th><th>充装系数
(kg/L)</th><th>灭火剂
纯度
(%)</th><th>有效喷
射时间
(s)</th><th>有效喷
射距离
(m)</th><th>喷射剩
余率
(%)</th><th>灭火级别
(m²)</th><th>使用温
度范围
(℃)</th></tr>
<tr><td>MT2</td><td>2—0.15</td><td rowspan="4">≤0.67</td><td rowspan="4">≥98</td><td>≥8</td><td>≥1.5</td><td rowspan="4">≤10</td><td>0.2</td><td rowspan="4">—10+55</td></tr>
<tr><td>MT3</td><td>3—0.15</td><td>≥8</td><td>≥1.5</td><td>0.4</td></tr>
<tr><td>MT5</td><td>5—0.2</td><td>≥9</td><td>≥2</td><td>0.6</td></tr>
<tr><td>MT7</td><td>7—0.2</td><td>≥12</td><td>≥2</td><td>0.8</td></tr>
</table>

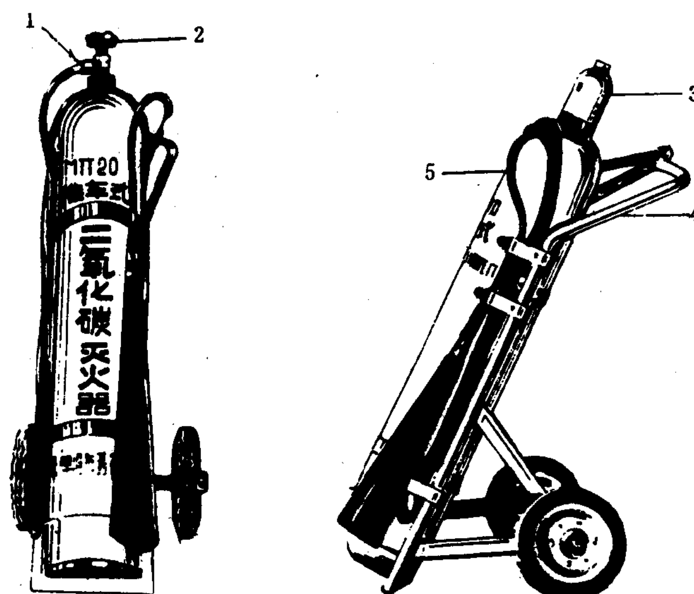


图 7.6.4—8　推车式 CO_2 灭火器

1—胶管接头;2—手轮;3—安全帽;4—推车;5—胶管及喷嘴管

3)使用：

对于手轮式，先将铅封去掉，手提提把，翘起喷筒。再将手轮按逆时针方向旋转开启，高压气体即自行喷出；另一种对鸭嘴式开启方式则去掉铅封，一手持喷筒把手，另一手紧压压把，高压气体即自行喷出。

4)维护保养和检查：

(1)每年称重一次，如 CO_2 气体减少$\frac{1}{10}$即应补充。

(2)每隔三年，钢瓶应经 22.5MPa 水压试验，启闭阀应经 1.50MPa 气压或水压试验。

(3)存放灭火器地点的环境温度范围为－10°～＋55℃。

1.3.2 推车式 CO_2 灭火器

推车式 CO_2 灭火器由钢瓶、虹吸管、阀门、手轮、安全帽、胶管、喷筒和推车组成。系列规格分为 20、25、30kg 三种。钢瓶为无缝结构。阀门用旋转开启，并附有胶管接头和虹吸管，其构造示意图如图 7.6.4—8 所示。

1)技术性能：

这种灭火器主要技术性能见表 7.6.4—6。

表 7.6.4—6　**推车式 CO_2 灭火器技术性能表**

型号	灭火剂量(kg)	充装系数	充火剂纯度(%)	喷射时间(s)	喷射距离(m)	使用温度范围(℃)	灭火级别(m^2)	胶管长度(m)	外形尺寸(长×宽×高)(mm)	总质量(kg)
MTT20	20±0.5	≤0.67	≥98	40～45	5	－10～＋55		5	560×490×1240	96
MTT25	25±0.5			50～55				5	560×490×1390	106
MTT30	28±0.5			60～65				6	560×490×1540	120

2)维护保养和检查：

推车式 CO_2 灭火器的维护保养和检查与手提式 CO_2 灭火器相同。

1.4 1211 灭火器

1211 灭火器是一种轻便、高效的灭火器材，适用于扑救油类、精密机械设备、仪表、电子仪器设备及文件、图书、档案等贵重物品的初起火灾。它的绝缘性能好，灭火时不污损物品，灭火后不留痕迹，并有灭火效率高、速度快的优点。

1211 灭火器有手提式和推车式两种。还有悬挂式 1211 自动灭火器。

1.4.1 MY 型手提式 1211 灭火器

1)构造：

这种灭火器由喷嘴、压把、保险卡、提把、筒盖头、密封机构 、筒体和吸管等零部件组成，如图 7.6.4—9 所示。

筒体由镇静钢板制造，除充装 1211 灭火剂外，还充以氮气作为驱送动力。筒盖头采用铜合金、铝合金、不锈钢或工程塑料制造，4kg 规格以上的，应具有间歇喷射机构和喷射软管。

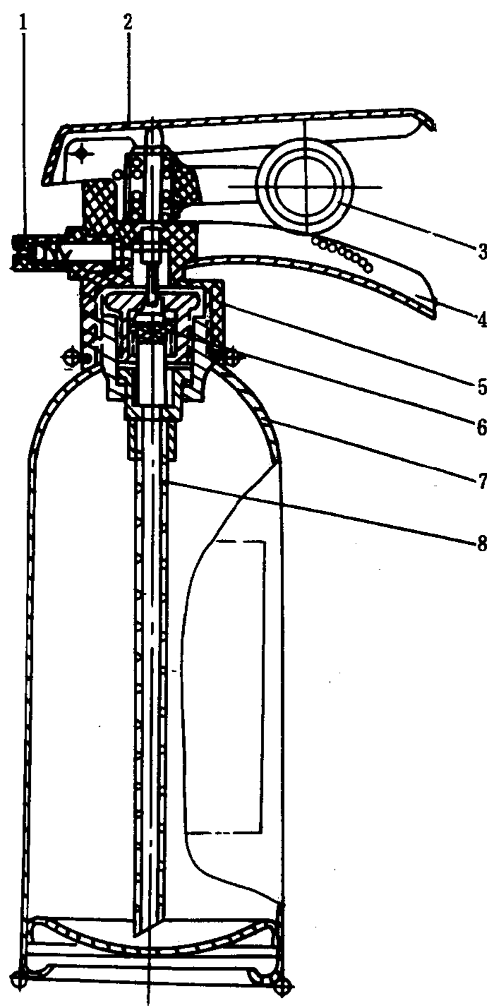


图 7.6.4—9 手提式 1211 灭火器构造图

1—喷嘴；2—压把；3—保险卡；4—提把；

5—筒盖头；6—密封机构；7—筒体；8—吸管

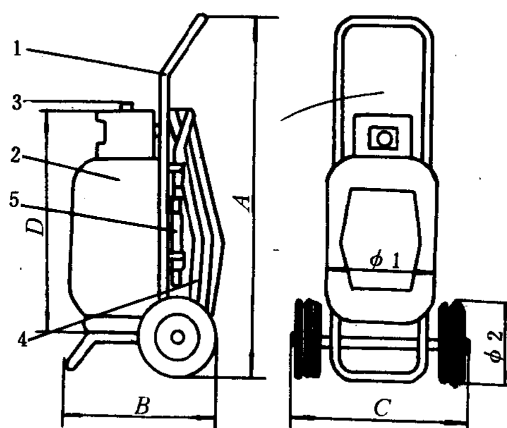


图 7.6.4—10 推车式 1211 灭火器示意图

1—推车；2—气瓶；3—阀门；

4—胶管；5—伸缩喷管和喷嘴

2)规格性能：

灭火器的主要技术性能见表 7.6.4—7。

表 7.6.4—7 **MY 型 1211 灭火器技术性能表**

型号	灭火剂量 (kg)	充装系数 (kg/L)	充氮气压力 (20℃) (MPa)	密封性试验压力(20℃) (MPa)	适用温度范围 (℃)	有效喷射距离 (m)	有效喷射时间 (s)	灭 B 类火级别 (m^2)
MY0.5	0.5−0.02	≤1	1.5	2.5	−20～55	≥1.5	>6	0.2
MY1	1.00−0.02					≥2.5	>6	0.4
MY2	2.00−0.04					≥3.5	≥8	0.8
MY4	4.00−0.08					≥4.5	≥9	1.6
MY6	6.00−0.12					≥5	≥9	2.4

3)使用：

使用1211灭火器时，首先拔掉安全销，然后握紧压把开关，压杆使密封阀开启，于是1211灭火剂在氮气压力驱动下，通过虹吸管由喷嘴射出。当松开压把时，压杆在弹簧作用下，恢复原位，阀门关闭，便停止喷射。使用时，应垂直操作，不可放平和颠倒使用，喷嘴要对准火源根部，并向火源边缘左右扫射，快速向前推进，要防止回火复燃。如遇零星小火可点射灭火。

4)维护保养和检查：

1211灭火器应放置在取用方便的地方，不应放在取暖或加热设备附近，也不应放在阳光强烈照射的地方。每半年检查一次灭火剂的总重量，和测量驱动气体压力有否降低。如果灭火剂重量减少$\frac{1}{10}$以上，应补充药剂和充气。驱动气体压力有降低时应充气。

1.4.2 MYT型推车式1211灭火器

1)构造：

推车式1211灭火器由推车、钢瓶、阀门、喷射胶管、手捏开关、伸缩喷杆和喷嘴等组成。推车由车架和车轮构成。在钢瓶上装有护栏和压力表，阀的开启为手轮式。喷射胶管为耐压胶管。伸缩喷杆拉长时可达2m，便于使喷嘴接近火源或扑救高处火灾。喷嘴有两种，一是雾化型，另一是直射型。前者喷雾面积大，后者喷射距离远。其外形如图7.6.4—10所示。

2)规格性能：

灭火器的主要技术性能见表7.6.4—8。

表7.6.4—8　**MYT型推车式1211灭火器技术性能表**

型　号	灭火剂量(kg)	氮气贮压(MPa)	喷射时间(s)	喷射距离(m)	使用温度范围(℃)	喷雾面积(m^2)	外形尺寸(长×宽×高)(mm)	总质量(kg)
MYT25	25	1.2	≥25	7～8	−20～+55	2.5	465×520×1000	67
MYT40	40		≥40				465×520×1600	84

3)使用：

灭火时，取下喷枪，展开胶管，先打开钢瓶阀门，拉出伸缩喷杆，使喷嘴对准火源，握紧手握开关，将药剂喷向火源根部，并向前推进。将火扑灭后，只要关闭钢瓶阀门，则剩余药剂仍能继续使用。

4)维护保养和检查：

推车式1211灭火器应放置在被保护对象的附近并取用方便、安全的地方，环境温度为−20°～+55℃。每隔三个月检查一次压力表，发现低于使用压力的$\frac{9}{10}$时，应重新充气。每隔半年检查一次重量，如低于标明质量的$\frac{9}{10}$时，应重新灌充。按照气瓶安全规程的有关规定，每三年还应对气瓶进行一次全面检查。

表7.6.4—9　**悬挂式1211自动灭火器技术性能表**

型　号	灭火剂量(kg)	充氮气压力(MPa)	喷射时间(s)	感温元件动作温度(℃)	全充保护容积(m^2)	外形尺寸(直径×高)(mm)	质量(kg)
ZYW8	8	0.8	10～12	75	35～50	253×397	11
ZYW10	10					306×360	15

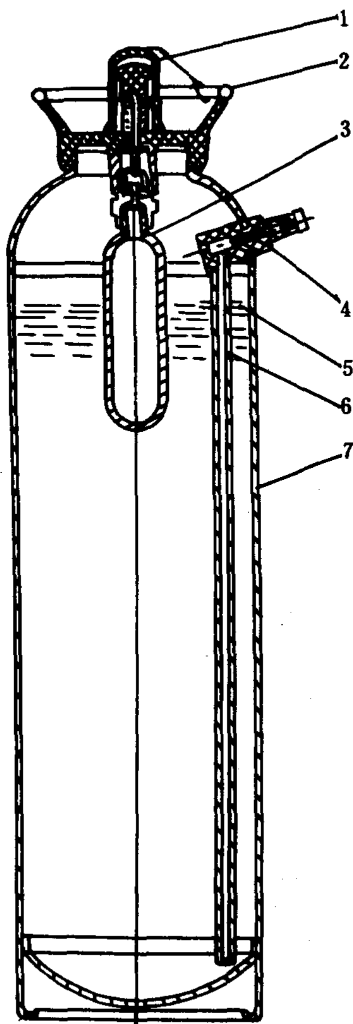


图 7.6.4—11　手提式清水灭火器构造图

1—安全帽；2—手轮；3—钢瓶；4—喷嘴；5—水位；6—吸管；7—筒体

1.4.3　悬挂式 1211 自动灭火器

灭火器形状如灯笼，一般悬挂在室内；利用定温探测器原理，只要温度达到预定值，便自动喷射灭火剂，具有灭火速度快、安装简便、外形美观等优点。

这种灭火器适用于经常没有人而又容易发生火灾的处所，作全浸皮保护。

现将几种悬挂式 1211 自动灭火器的技术性能列表 7.6.4—9。

1.5　清水灭火器

灭火器内装清水，适宜扑救初起 A 类火灾。不适用于油脂、石油产品、电器设备和轻金属等的火灾。

1)构造和使用：

手提式清水灭火器由筒体、筒盖、贮气瓶、喷嘴和吸管等组成。筒盖中央装有一个弹簧的打击机构，下面连接一只 CO_2 贮气瓶。使用时，将筒盖上的安全帽取下，用力打击一下凸头，刺穿贮气瓶口的密封片，CO_2 气体就喷到筒体内，产生压力，使清水经吸管从喷嘴射出灭火，其构造见图 7.6.4—11 所示。

2)技术性能：

清水灭火器的主要技术性能见表 7.6.4—10。

表 7.6.4—10　**手提式清水灭火器技术性能表**

型式	灭火剂量 (L)	有效喷射时间 (s)	有效喷射距离 (20±5℃) (m)	喷射滞后时间 (s)	喷射剩余率 (%)	充装系数 (kg/L)	灭火级别 A类 (代号)	使用温度范围 (℃)
MSO9	9−0.2	≥50	≥7	≤5	≤10	≤0.8	8A	4～55

2　手抬机动消防泵

手抬机动消防泵(简称手抬泵)是船舶的应急消防设备。一般在没装有固定式应急消防泵的船上配置。目前生产用汽油发动机的有 BJ7、BJ10、BJ15、BJ20、BJ22 和 BJ25D 型等六种，用柴油发动机的有 R170F 型一种。

2.1 构　造

BJ型手抬泵虽有各种不同型号和技术性能，但它们的结构大体相同。一般都是由汽油发动机、单级离心泵、排气引水装置和手抬装置等部分组成。并配备吸水管、水带和水枪等必要的附件。BJ25D型手抬泵的外形见图7.6.4—12。

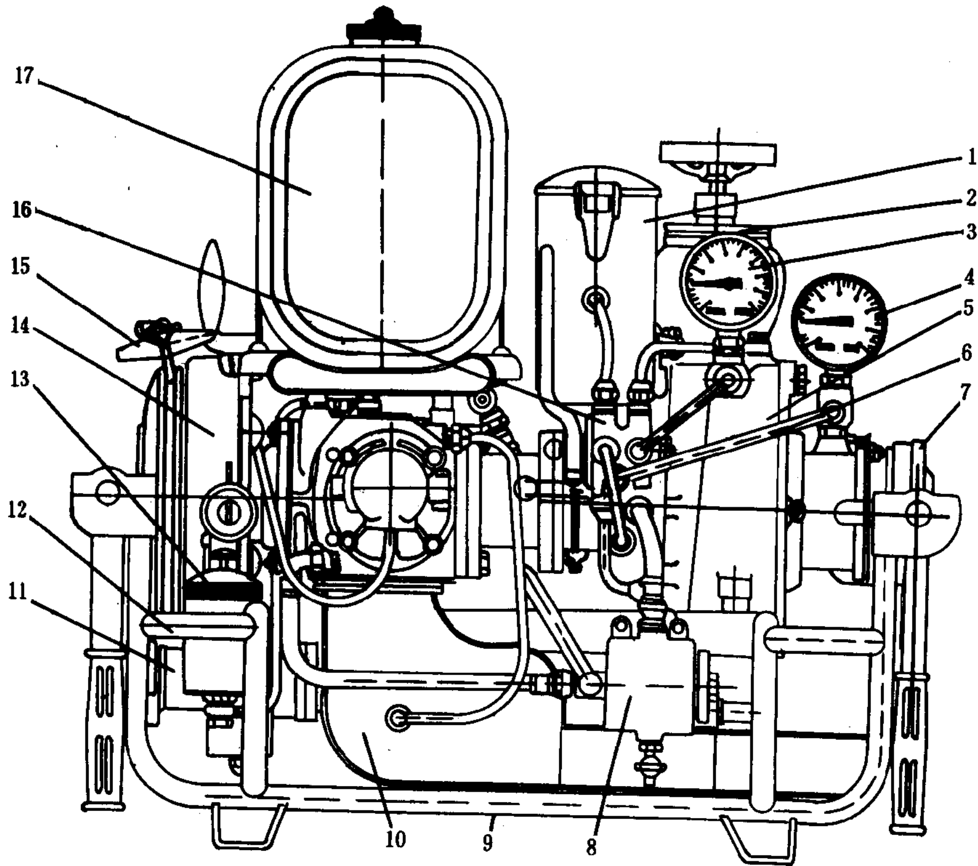


图7.6.4—12　BJ25D型手抬泵外形图

1—初级箱；2—65mm出水阀；3—出水压力表；4—进水压力表；5—泵体；6—泵管路；7—泵盖；8—冷却水滤清器；9—燃料滤清器；10—发动机管路；11—化油器；12—底架组；13—燃料泵；14—磁电机；15—启动盘；16—交换器；17—燃料箱

2.2 技术性能

BJ型手抬泵的主要技术性能列于表7.6.4—11。

表7.6.4—11　**BJ型手抬机动泵的主要技术性能表**

项目		型号						
		BJ7	BJ10	BJ15	BJ20	BJ22	BJ25D	R170F
汽油、柴油发动机	型式	四冲程化油器式	同左	二冲程化油器式	四冲程化油器式	二冲程化油器式	同左	
	冷却方式	风冷	风冷	风冷	风冷	水冷	水冷	风冷
	缸数和排列	单缸	单缸	单缸	双缸，水平对置	双缸	双缸	单缸

续上表

项目		型号						
		BJ7	BJ10	BJ15	BJ20	BJ22	BJ25D	R170F
汽油、柴油发动机	缸径×行程(mm)	76.2×82	75×70	75×65	75×70	75×64	75×64	70×70
	压缩比	6.2	7~7.2	7.5	7	6.1	6.1	20
	最大功率(kW)	5.2	7.46	11.2/10	14.9/13.4	16.4	18.6	3.7
	最大功率时转速(r/min)	3200	4000	5000/4700	4200/3800	3900		3000
	燃油箱容量(L)	5.5	4		7	18	21	
	燃油混合比(汽油:机油)			15:1		10:1	15:1	
	起动方式	手拉绳轮	自复起动及手拉绳轮	手拉绳轮	自复起动及手拉绳轮	手拉绳轮	电动或手拉绳轮	手动
水泵	型式	单级离心泵	同左	同左	同左	同左	同左	自吸式(离心泵)
	进水口径(mm)	65	65	75	75	90	90	
	出水口径(mm)	50	65	65	65	65	65	
	水轮口压力(MPa)	0.48	0.5	0.55	0.6	0.6~0.7	0.64~0.85	0.45
	出水量(L/min)	370	510	560	750	600/960	660/1000	250
	吸程(m)	3.5		3.5		3.5	7	
一般数据	外形尺寸(mm)(长×宽×高)	475×540×580	530×490×620	510×485×595	640×700×600	700×610×700	700×610×700	540×540×640
	总质量(kg)	61	60	64	80	65	84	100
备注		总重不包括燃润料、工具及附件	总重不包括燃润料	总重不包括燃润料、工具及附件	总重不包括燃润料			

2.3 新泵拆封试车须知

1)手抬泵出厂时，在汽油机气缸内曾注入少量防锈机油。发动前应拆下火花塞，转动曲轴若干次，借活塞环刮除气缸壁上的机油。然后将火花塞洗刷擦试干净后装上。

2)出厂时发动机内汽油、机油均已放尽，在正式使用时应加足汽油和机油。

3)试车时，先按生产厂规定的磨合期试运转，再进行负荷运转。

4)待磨合期完毕后，再进行一次全面检查，尤其对油路、电路和水路必须认真检查，保证性能良好。对各连接部分的螺栓、螺母应重新拧紧一次；汽油缸盖上的螺栓、螺母应待冷却后再拧紧。

2.4 使用前的准备工作

1)迅速将手抬泵、附件、工具等移至火场，在靠近水源处放好。

2)将吸水管与水泵进水口连接，并将吸水管另一端放入水中。

3)检查汽油箱是否有足够的汽油。并检查汽油管及接头等处是否漏油，如有外溢的汽油应擦干净，以免失灭。

4)检查机油盘中是否有足够的机油，如果油量不足或油质不好，将会使汽油机的重要机件加速磨损，影响使用寿命。

5)安装吸水管时，其弯曲处不应高于水泵进水口，以免出现空气囊，影响水泵性能。

2.5 操作方法和要求

2.5.1 汽油机的起动

1)将汽化器上的阻风门完全关闭，并稍开油门。

2)将起动绳绕在盘槽内，用手平稳而快速地抽拉起动绳，汽油机即可起动。若抽拉三、四次仍未起动，可将阻风门开启$\frac{1}{4}$或略多些，以免气缸内因吸进过多汽油而难以起动。

3)汽油机起动后，先将阻风门开启$\frac{1}{2}$左右，待运转1～2min后，才将阻风门完全开足。

4)调整汽化器主量孔针阀，使汽油机在高、低转速下均能平稳运转。

2.5.2 水泵的引水

1)开启水泵出水阀，打开引水管开关。

2)待引水器出水口处有水雾喷出时，水流即将出水阀顶开，并流向水带及水枪，再关闭引水管开关，将引水手柄打开，即可正常供水。

3)引水时间一般在35s以内，如超过时间还不能将水引上来，即应停止汽油机运转。检查各连接处和阀门有否松动、漏气。待修整后再作引水；否则会造成气缸故障。

4)应经常检查水泵密封环的密封情况，若有泄漏应即修整或换新。

2.6 维护保养和检查

1)手抬泵应存放在清洁、干燥处，防止电气受潮和机件锈蚀。

2)每次使用后，应做好清洁工作，清除外部和气缸散热片间的积垢和泥沙，检查零件是否完整，连接部分是否紧固，发现问题及时修整。

3)吸水管不可过分弯曲和被笨重的物件碰压，以免折裂或压扁。吸水管接口中的密封垫圈

不应遗失和损坏。

4)油箱应加满燃油,以确保急用。油箱盖应拧紧。

5)油底壳中应加满机油,汽油机运转4～5h后必须补充新机油。一般运转25h后,应将油底壳中的机油换新。

6)一般工作经25h后,空气滤清器应加清洗并重新加油。

7)运转50h后,或发现汽油机有断火现象或起动困难时,应将火花塞拆下,清除积炭,调整跳火间隙为0.6～0.7mm。

8) 使用100h后,应拆下气缸盖,清除燃烧室内的全部积炭。

9) 定期进行运转试验,以确保随时处于可用状态。

10) 如长期停止使用,在封存前应将汽油箱、汽油管和汽化器内的汽油彻底放尽,并在气缸内注入少许优质机油;水泵中的存水放尽;油底壳中机油应放尽并清洗干净。

3 其他消防设备

其他消防设备包括手提消防工具、呼吸器及消防装备品等,是救火及人员救助的重要装备。

3.1 手提消防工具

手提消防工具主要有消防腰斧、消防平斧、消防尖斧、尖形杆钩、万能铁铤等。

3.1.1 消防腰斧

它是一种轻便破拆工具,是消防员个人装备之一,用于火场破拆障碍物。

腰斧外形见图7.6.4—13,技术性能见表7.6.4—12。

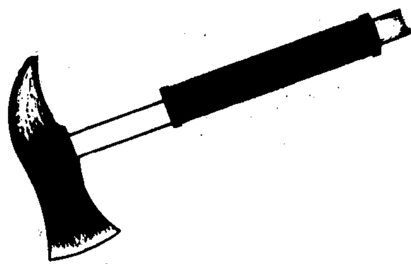


图7.6.4—13 消防腰斧

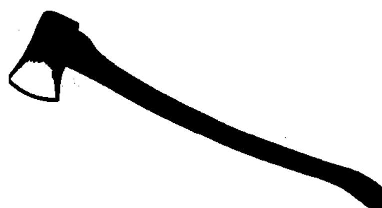


图7.6.4—14 消防平斧

表7.6.4—12

消防腰斧技术性能表

型 号	材 质	刃口硬度HRC	外形尺寸(长×宽×高)(mm)	质量(kg)
GFK285	优质钢		285×160×10	1.2
GF285	45#钢	48～54	285×160×25	0.8～1.0
GF325	45#钢	48～54	325×160×25	0.9～1.1
A631—400		48～53	320×120×25	0.72～0.8

3.1.2 消防平斧

平斧是一种破拆工具,用于灭火时劈破门窗等木质结构和消防障碍,以便救人或防止火灾蔓延。

平斧外形见图7.6.4—14,技术性能如表7.6.4—13。

表 7.6.4—13　　消防平斧技术性能表

型　　号	材　　质	刃口硬度 HRC	外形尺寸(长×宽×高)(mm)	重量(kg)
GFP890	优质钢头、木把		890×185×32	3.5
A601—3ibs	45#钢头、木把	48～56 53～58	711×174×30	1.4
A601—4ibs	45#钢头、木把	48～56 53～58	813×184×32	1.8

3.1.3　消防尖斧

尖斧亦是破拆工具，用于灭火时劈破门窗等木质结构，也可凿洞、拆墙。

尖斧外形见图 7.6.4—15，技术性能如表 7.6.4—14。

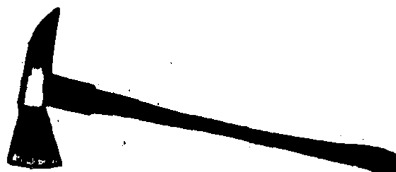


图 7.6.4—15　消防尖斧

表 7.6.4—14　　消防尖斧技术性能表

型　　号	材　　质	刃口硬度 HRC	外形尺寸(长×宽×高)(mm)	质量(kg)
GFJ817	优质钢头、木把		817×330×46	3.5
A602—41bs	45#钢头、木把	48～53	711×300×28	1.8
A602—61bs	45#钢头、木把	48～53	812×330×31	2.7

3.1.4　万能铁铤

万能铁铤是火场破拆工具。

铁铤外形见图 7.6.4—16，技术规格见表 7.6.4—15。

表 7.6.4—15　　万能铁铤技术规格表

型　　号	外形尺寸(长×宽×高)(mm)	质量(kg)
GT1	1000×120×42	4.5

3.1.5　尖形杆钩

尖形杆构也是火场破拆工具，可在较远距离钩拉燃烧物。

尖形杆钩外形图 7.6.4—17，技术规格见表 7.6.4—16。

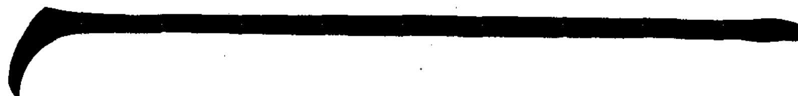


图 7.6.4—16　万能铁铤



图 7.6.4—17　尖形杆钩

表 7.6.4—16　　　　　　　　尖形杆钩技术规格表

型　　号	外形尺寸(长×宽×高)(mm)	质量(kg)
GG378	3780×217×60	4.5
GG4	3780×217×60	3.5

3.2　空气呼吸器

空气呼吸器是自给、开放式呼吸器具，使用压缩空气，可不依赖环境空气而能维持人体正常的呼吸、呼出的气体由呼吸阀排入大气中。呼吸器佩带者适合在浓烟、毒气或缺氧的各种环境下安全有效地进行灭火抢救作业。

3.2.1　构造

空气呼吸器主要有气瓶、瓶阀、面罩、供气调节器、背托、背带、压力表、警报器和供气软管等组成。使用时，开启瓶阀，高压气流顺着橡胶软管迅速通供气调节器内。随着人体的呼吸、调节器内的弹性膜片上下移动，带动阀杆形成间隙开闭供气。减压后的气体进入面罩，供人体呼吸之用。当气瓶贮气量不足时，安置在背架上的报警器发出哨音。提醒使用者尽快撤离现场。另外，设备上配有压力表，供使用者充气和检查气瓶存气量之用。整套装具结构紧凑，采用球面眼窗的全面罩，视野开宽，并且密封性能良好。

3.2.2　性能

空气呼吸气的主要技术性能如下：

总重(未充填空气)　12kg
气瓶最高工作压力　20MPa
气瓶容积　7L
最大储气量　1400L
最大使用时间　46min
(按中等劳动强度每分钟耗气 30L 计算)
外形尺寸(长×宽×高)　556×356×256mm

3.3　消防员装备

3.3.1　组成

每艘船舶均应配备消防员装备，配备数量视船舶种类不同而异，消防员装备品的组成如下：

1)个人配备：

(1)防护服，其材料应能保护皮肤不受火焰的热辐射，并不受蒸汽的灼伤和烫伤。衣服的外表应是防水的。

(2)消防靴和手套，由橡胶或其他不导电材料制成。

(3)一顶能对撞击提供有效防护的消防头盔。

(4)一盏认可型的电安全灯(手提灯)，其照明时间至少为 3 小时。

(5)一把认可的消防员腰斧。

2)一具认可型呼吸器，每一呼吸器应有一根足够长度与强度的耐火救生绳，此绳应能用弹簧卡钩系在呼吸器的背带上，或系在一条分开的腰带上，使在拉曳救生绳时防止呼吸器脱开。

3.3.2　配备数量

1)所有国际航行船舶至少配备两套消防员装备，此外，还应设置：

(1)当客船时：

按旅客处所和服务处所的合计长度，每 80m 及其零数应备有 2 套消防员装备。

(2)当油船时：

另设两套消防员装备。

2)国内航行客船上的消防员装备和个人配备上可适当减少。

第 5 章　防　　爆

1　易燃气体的特性

易燃气体是指石油及石油产品易燃蒸气的总称，它具有易燃、易爆的特性。船舶营运和修理时，防止易燃气体的燃烧和爆炸是很重要的。

1.1　石油蒸气的成分

石油蒸气是多种碳氢化合物的混合物。船舶燃油舱、货油舱的石油蒸气成分在不同温度下各不相同。表 7.6.5—1 所示为油船货油舱内油蒸气的平均成分（装运原油时）。这些气体都是危险的易燃气体。

表 7.6.5—1　　　　油船满载和空载时货油舱内油蒸气成分表

取样状态 / 蒸气成分（%）	卸油前	卸油后	洗舱前	洗舱后
	容积浓度（无空气）			
甲烷	25	20	6	5
乙烷	22	18	11	9
丙烷	30	30	26	23
丁烷	16	20	27	28
戊烷	6	8	18	20
已烷	1	4	12	15

装载柴油、重柴油和重油等油舱或货油舱，在一定条件下（油舱加温至闪点以上时）亦可能产生危险的易燃蒸气。

1.2　易燃蒸气和气体的爆炸极限

易燃气体的燃烧、爆炸是一种化学反应现象，在反应的瞬时放出大量热量同时产生大量体积的气体。易燃气体与空气混合至一定比例的条件下，处于有限制的区域内，点燃即引起爆炸，这种爆炸威力很大，后果严重。如油船货油舱内的易燃蒸气与空气混合的比例达到爆炸范围时，即处于危险状态，遇到火源立即爆炸。

易燃气体与空气混合后可能引起爆炸的比例范围称为爆炸极限，其下限称爆炸下限（LEL）和上限称爆炸上限（UEL），因此，如易燃气体与空气混合的比值低于下限和高于上限时，即使遇到火源亦不会引起爆炸。

每一种易燃气体都有各自的爆炸极限，并随着环境温度和压力而变化，通常表示的爆炸极限是指在 20℃和一大气压下的爆炸极限。

1.2.1　常见易燃气体的爆炸极限

各种易燃气体的爆炸极限见表7.6.5—2。

表7.6.5—2　**各种易燃气体的爆炸极限**

序号	名称	分子式	爆炸极限(体积%)		最大爆炸压力(MPa)
			下限	上限	
1	甲烷	CH_4	5.0	15	0.70
2	丙烷	C_3H_8	2.37	9.5	0.84
3	丁烷	C_4H_{10}	1.7	8.5	0.84
4	戊烷	C_5H_{12}	1.5	7.5	0.85
5	己烷	C_6H_{14}	1.0	7.0	0.85
6	氨	NH_3	15.7	27	0.43
7	丙酮	CH_3COCH_3	2.5	13	0.87
8	苯	C_6H_6	1.2	8	0.88
9	丁醇	C_4H_9OH	1.4	11.2	0.73
10	氯乙烯	$CH_2=CH$	4	29	0.67
11	甲醇	CH_3OH	5.5	26.5	0.73
12	一氧化碳	CO	12.5	74.2	0.62
13	醋酸乙酯	$CH_3COOC_2H_5$	2.5	11.5	0.85
14	乙醇	C_2H_5OH	3.5	15	0.74
15	乙烯	C_2H_4	2.75	28.6	0.87
16	乙醚	$C_2H_5OC_2H_5$	1.7	36	0.90
17	城市煤气	H_2 58%	5.5	35	0.78
18	水煤气		6	70	0.70
19	汽油		1.4	7.6	
20	氢	H_2	4.1	74.2	0.73
21	乙烷	C_2H_6	3.12	15	1.01
22	二硫化碳	CS_2	1.0	60	0.76
23	石油		1.1	6.4	

1.2.2　可燃粉尘与纤维的爆炸极限

可燃粉尘在一定范围内亦可引起爆炸，可燃粉尘的爆炸极限见表7.6.5—3。

表7.6.5—3　**可燃粉尘与纤维的爆炸极限**

序号	名称	爆炸下限(mg/L)	最大爆炸压力(MPa)
1	镁粉	20	0.48
2	铝粉	35	0.60
3	炭粉	35	0.30
4	淀粉	65	0.48
5	松脂	15	0.37
6	粉醛树脂	25	0.41
7	烯丙醇树脂	35	0.45

续上表

序号	名称	爆炸下限(mg/L)	最大爆炸压力(MPa)
8	聚乙烯	25	0.55
9	硬质橡胶	25	0.38
10	硫磺	35	0.27
11	石碱	45	0.40
12	甘油三酸脂	15	0.41

1.2.3 油舱测爆

油舱内油气爆炸主要是油舱内具备了爆炸条件，根据上述可知油气浓度低于爆炸极限，即使有火源也不会爆炸。因此油舱如需进行热工工作，首先必须检测油舱内的油气浓度并处于安全范围内并符合“船舶清除可燃气体检验规则”的规定方可动火。

测爆工作应有国家规定的安全监督部门来执行，此外，进行热工工作的单位亦应配备合格的专业人员在现场执行监督，并建立严格的管理制度。

2 测 爆 仪

测爆仪是用来测定舱内混合易燃气体是否达到危险程度的可携式仪器，而不能测定易燃气体的具体含量。常见的测爆仪分强吸式和扩散式两种型式，强吸式使用较多。

2.1 工作原理

仪器的主要部件由一“反应元件”的一“补偿元件”组成，这两元件组成电桥的两臂，另两臂为电阻 R_3 和 R_4，电路原理见图 7.6.5—1。

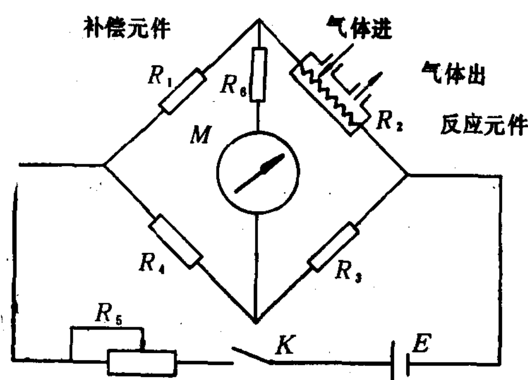


图 7.6.5—1 测爆仪电路原理图

R_1—补偿元件；R_2—反应元件；R_3、R_4—电阻；R_5—灵敏度调节电阻·R_6—测试电压兼调零电位器；E—干电池；M—检流计；K—开关

反应元件中的 R_2 由铂丝制成，外层涂有催化剂，催化剂是铝或钯的氧化物，反应元件通电加热至工作温度后，如遇有易燃气体，便在反应元件中无焰燃烧，因而引起铂丝温度升高，致使 R_2 的阻值增大，破坏了电桥平衡，于是检流计有电流通过，指示出读数。检流计指针的移动量和易燃气体的浓度成一定的比例关系，当指针指到 100%时，即表示易燃气体的含量达到爆炸下限。

补偿元件 R_1 一般也由铂丝制成，但不涂催化剂。有的测爆仪所用的补偿元件是一只特制的小灯泡，也有用线绕电阻。

强吸式测爆仪附有一只内装单向阀的吸气泵或橡皮球，将被检测气体吸进仪器内部，使其通过一只隔爆型的燃烧室，如有易燃气体，则即在反应元件中(燃烧室内)燃烧。扩散式测爆仪主要是利用气体的吸附扩散作用。

2.2 测爆仪使用的注意事项

测爆仪必须正确使用才能维护安全，其主要注意事项如下：

1)测爆仪的内部电路为安全火花型，在有易燃气体的舱室内使用是安全的，但仪器本体的外壳和电池盒(无论是干电池还是充电电池)严禁在工作现场打开。

2)仪器的精度，由于需要测试多种混合的可燃气体，而测爆仪在制造厂仅以单种易燃气体作为标定气样，这样在测试混合可燃气体时，必然产生误差，各种测爆仪出厂时，一般均表明误差范围或附有校正曲线。另外，仪器本身也有制造误差，故在仪器的指示表盘上，往往在60%以上即标以红线，列为危险区。

3)测爆仪的反应元件如在接触含硫化氢和铅的气体，则会发生“钝化”现象，使灵敏度下降，因此，应定期验证仪器的正确性。

4)测爆仪上的“安全”、“注意”、“危险”等字样是从有无着火和爆炸的安全观点出发的。

另外，测爆仪不能指示空气中是否缺氧，不能作为测氧仪使用，以防人员盲目下舱因缺氧而发生危险。

5)任何情况下，不能使测爆仪的取样管抽吸易燃液体进入仪器，否则会损坏仪器。

2.3 测爆仪的操作

测爆仪有多种型式，通常应按制造厂的说明书进行操作，大致的操作步骤如下：

1)接上取样管，手握吸气球(或用吸气泵吸气)，按仪器上标明的方向，将旋钮旋至最大，使指针向满刻度方向旋至顶端，这时仪器内部电路已接通，气门已被打开。

2)挤压吸气球或开动吸气泵吸气，让新鲜空气吸入仪器内，调节零位旋钮，使仪表的指针在满刻度范围内走动几次后，将指针调节在零位上。

3)如果零位调节旋钮沿顺时针方向已旋至尽头，仍不能使指针到达零点时，则说明电池不足，应予以换新或充电。

4)测试前，应检查仪器是否处于正常状态。可将汽油或其他易挥发的可燃液体洒在棉花或纱布上，由远逐渐靠近取样管吸口处，挤压吸气球，此时指针向右偏转，如发现指针不转 动，或摆向极右或摆向极左不能调零，说明仪器已损坏。

5)测试时，应将取样管伸进要测定的部位，打开仪器，抽进易燃气体，直至指针不再上升为止，读取数值。在抽气时，指针略有轻微波动，这是正常现象。取样管不宜过长，通常在10m以内，如用手挤气球吸气，至少每米取样管长度抽吸三次，如用泵气式吸气，一般要抽吸不少于30s。

6)测爆仪的刻度以易燃气体的爆炸下限值作为100%来分度。如测爆时在仪表上读得读数为50%，仅说明该环境中的易燃气体或蒸气已达到爆炸下限值的50%。

仪器使用中出现的问题见表7.6.5—4。

表7.6.5—4 测爆仪读数的几种情况表

序 号	指针所处状态	危险程度
1	在爆炸下限值1%以下	安全
2	在爆炸下限值20%以下	危险，应引起注意
3	超过爆炸下限值100%	随时有爆炸危险

续上表

序　号	指针所处状态	危险程度
4	指针左右大幅度摆动不止	在爆炸上下限间最危险
5	指针先向右至最大，再回到左边	超过爆炸上限

7）仪器用完后，应在新鲜空气中抽吸一段时间，以去除残留在测爆仪燃烧室内的气体。

测爆仪外形和使用时的携带方式见图7.6.5—2及图7.6.5—3。



图7.6.5—2　测爆仪外形图

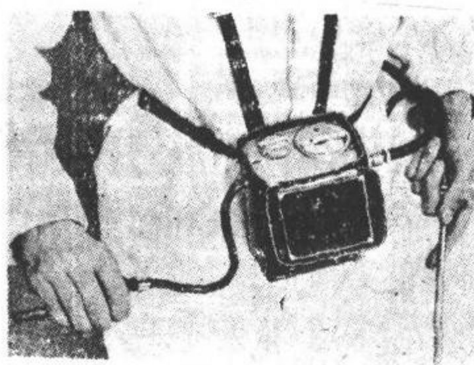


图7.6.5—3　测爆仪使用时的携带

3　人员进入货油舱的条件

3.1　易燃气体对健康的危害

油船的货油舱以及各类船舶的燃油舱内存在着大量的易燃气体（或蒸气），此类气体不仅易燃易爆且有毒性，如果人员进入此类舱室内，即使是短时间也会有不同程度的中毒，时间过长，有致命危险。因此，工作人员不能随意进入此类舱室。

在现场缺乏测量舱内石油气含量和有毒气体仪器的情况下，必要时也可借助于精度高的测爆仪临时代用，即当测爆仪读数指示在爆炸下限的7%时，舱内石油气含量约为mg/L浓度，人员在此浓度下工作8h，对人体无害（相当于美国TLV对戊烷的标准）。

石油及其产品都含有碳氢化合物及少量硫化物，这些物质达到一定浓度时对人体会产生不同程度的毒性反应，主要表现为：

1）人体吸入一定量的石油蒸气，健康会受到危害；

2）当石油气中H_2S的含量在0.5%以上就有明显的毒性；

3）当空气中油蒸气的含量达到3.5%mg/L时，就能迅速使人失去知觉。

石油气中毒的症状，轻者头痛、眩晕，重者甚至死亡。

3.2　人员下舱注意事项

为维护人员身体健康，下舱人员除应防止上述危及健康的情况外测爆中应注意如下事项：

1）不能盲目下舱，在货泵舱及货油舱内工作时间不能太长，在舱内稍感不适就立即出舱换

气。下舱时舱口外面应有值班人员守护，必要时下舱应戴防面具。

2)隔离空舱等类似的长期密闭的舱室应在足够通风后方能进入，防止缺氧窒息。

3)为防止意外的起火引爆，在舱内不准拆装仪器或更换电池，舱室里使用的电筒应为安全型，电筒应开启后下舱，不要在舱内时开时关。

4)要穿戴抗静电工作服和耐油防滑鞋，身上不携带钥匙等物件。

4 油船热工工作条件

热工工作是指工作中会产生火焰火花或温度，其热量足以使易燃气体燃烧爆炸，如焊接、气割、使用喷灯、喷沙、燃热工具、非防爆型电动、气动工具等工作。

4.1 申请热工工作的船舶应具备的条件

船舶应根据其申请检验的目的，分别符合下列要求：

1)全船货油舱(包括管系)已进行有效的洗舱，并清除易燃气体，保持通风，管系、阀门均已关闭，泵舱及隔离空舱已清除易燃气体，保持通风。

2)需进行热工工作的货油舱(包括邻舱和可能传导热量的邻近舱室)在有效洗舱后已清除可燃气体及舱内锈垢和油泥，舱内的加热盘管、货油管、扫舱管等已用蒸汽或其他有效方法冲洗，有关管系的阀门均已关闭。

3)需进行热工工作的泵舱、隔离空舱及压载舱等，若舱底积有油污，应清理干净，清除易燃气体并保持良好通风(包括其邻舱，如燃油深舱、货油舱等)。

4)需进行热工工作的燃油舱(柜)，其要求与货油舱相同。

4.2 检查与测试

4.2.1 测点选择

应选好测点，使读数代表该舱的情况，具体方法为：

1)舱外探测：

将取样管或探头从洗舱孔或观察孔放入舱内，取样部位每舱尽可能选舱内的前后端各一处，每处一般取上、中、下三层。

2)进舱探测：

在舱外探测易燃气体的浓度不超过爆炸下限的5%时，并在一定的通风条件下应下舱进行测量，选通风较差的舱底、死角、油管口附近和“洗舱”死角处测量。

3)在舱室各点的读数中选大者为本舱记录。

4.2.2 外观检查

下舱检查舱壁、舱底及其构件、梯道、管路、阀件等，上述部位均无油泥和含油锈垢或其他可能产生易燃气体的物质，管系及阀件均无泄漏。

4.2.3 特别要求

应用两台测爆仪协同测量，工作结束后再次用汽油或酒精校核测爆仪是否动作，以证实测爆仪在测量的全过程始终处于正常状态，指示数据正确。

5 热工工作标准

5.1 油船进入一般港区标准

油船进入一般港区(非专用油码头)标准应符合下列条件：

1)全船各货油舱、泵舱、隔离空舱及压载舱易燃气体在爆炸下限的5%或以下时，可认为符合进入一般港区条件。

2)若船上个别货油舱或压载舱存有污油水，而其他各舱室易燃气体均在爆炸下限的5%或以下，则应驶往污油站或油区卸下污油并清除易燃气体。

5.2 热工工作(明火作业)标准

1) 需进行热工工作的舱室，连同其毗邻处所，应按4.2.1的规定探测。易燃气体应在爆炸下限的1%或以下，同时应按4.2.2作外观检查合格，并在保持适当通风条件下允许热工工作。

2)货油舱凡采用几舱共用的透气管，应有防止易燃气体进入需进行热工工作舱室的措施。

5.3 证　书

凡申请进厂修理的船舶，除进行修理的燃油舱柜外，全船应符合热工工作条件。

在取得船舶易燃气体清除证书后，应充分理解如下各点，并认真执行：

1)取得证书是指检测时被检测舱内的易燃气体处于相应的安全范围，但并不保证由于温度或其他影响，使该舱内的易燃气体在测检后不变。

2)允许热工工作的船舶或舱室，在施工前及施工过程中应由施工单位派员对施工区域包括其影响区，用测爆仪随时复测，并相应采取消防安全措施。

3)凡发现证书所指的舱室内在测检时业已关闭的管道和阀门被开启或损坏发生油类或易燃气体重新进入被测检的舱室，所发证书即行自动失效，并立即报告原发证单位。

参 考 文 献

[1]《防火检查手册》编委会，防火检查手册，上海科学技术出版社，1982

[2] 中华人民共和国船舶检验局，钢质海船入级与建造规范及其修改通报，人民交通出版社，1986

[3] 国际海事组织，国际海上人命安全公约(SOLAS)，1974公约、1978议定书、1981和1983修正案，中华人民共和国船检局译，1987年

[4] 董博义、周宗仪著：海船消防，北京人民交通出版社，1980年

[5] GB4715—84 点型感烟火灾探测器技术要求及试验方法，1984年

[6] BS5446 Part1 Point—type smoke defectors，1977

[7] BS 5445 parts Heat sensitive detectors—point

[8] GB 4717—84 火灾报警控制器通用技术条件，1984

[9] BS 3116 part 4 control and indicating equipment，1974

[10] Fire defection in unattended machinery/spaces, J. D. Bolding, Trans. I. Mar. E, 1975. VOL87

[11] AFA—Minerva, information on marine fire alarm control indicating equipment

第7篇　油船专用系统

第1章　货 油 系 统

1　货油装卸系统

货油装卸系统由货油泵、货油管路及管路附件组成，用来装卸油船的货油。

1.1　货 油 管 路

货油管路一般分为主货油管路和扫舱管路。主货油管路为装油、卸油时使用的大口径管路。扫舱管路主要是在卸油或排放压载水时用来卸除油舱和管路的残油或残水的小口径管路。

现代大型油船的主货油泵，大多装设自动扫舱系统，以代替专用的大排量扫舱泵，因而省去专用的扫舱管路，一般仅在货油舱内设置与主货油管路连接的小口径吸入管。图 7.7.1—1 所示是有专用扫舱管路的旧式油舱货油管路图，而图 7.7.1—2 则是无扫舱系统的现代大中型油船的主货油管路系统。

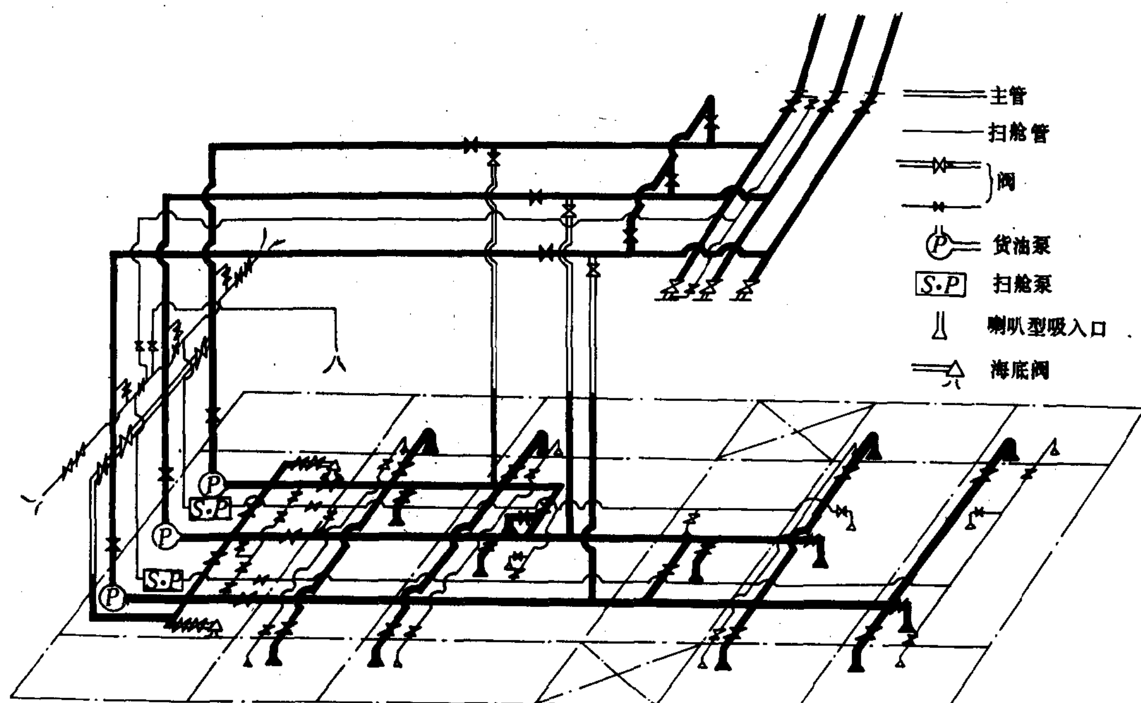


图7.7.1—1　旧式油船货油管路系统

图 7.7.1—2　现代油船货油管路系统

1.1.1 货油管路布置方式及要求

1)闭式管路：

闭式管路是货油通过舱内的固定管路进行装卸货油，且作业时将货油舱所有孔盖都封闭，只利用透气系统进行呼吸。

闭式管路可分为环式和线式两种。

(1)环式管路：

图7.7.1—3所示是双环式闭式管路，这种管路系统能同时装卸两种不同油类；而在主管内不会引起油类混杂现象。使用时机动性强，当任一主管及其支管发生故障时，可由另一主管及其支管代替。

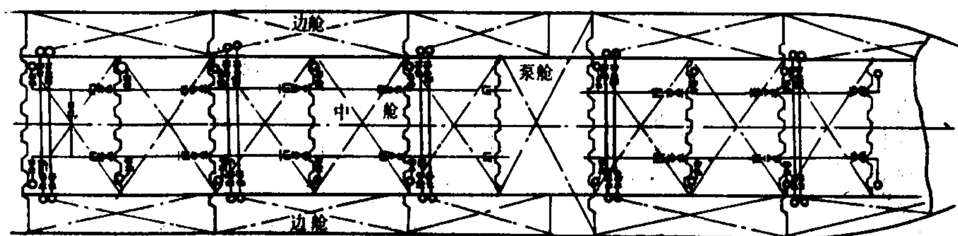


图7.7.1—3 双环闭式管路

图7.7.1—4所示是货油泵舱在尾部的双环式管路，该管路系统装设四台货油泵，由四条货油管及支管等构成首尾两个环形管路，将货油舱分成首尾两大组，同时装卸四种不同油类，主管内不会产生混油现象。

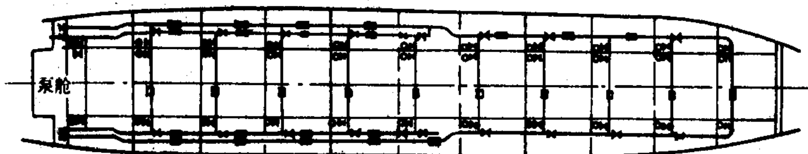


图7.7.1—4 首尾双环闭式管路

图7.7.1—5所示是多环式货油管路，此管路由两条主货油管及支管和附件组成，可同时装卸两种不同油类，而在主管内不会产生油类混杂现象。当任一主管发生故障时，可由另一主管代替。

环式管路机动性强，同时装卸多种货油，不易产生油类混杂现象。但支管及阀门附件较多，管路比较复杂。当油船的货油泵舱设在中部并在货油舱之间时多采用此种管路布置方式。

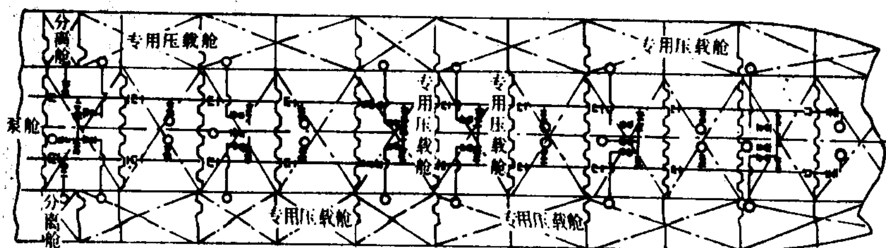


图7.7.1—5 多环式管路

(2)线式管路：

图7.7.1—6所示是小型油船双线式管路系统。只在主管上加设一条有吸入口的小口径的支管，作为扫舱管路。此种管路简单，布置集中，操纵方便，也可同时装卸两种不同油类；而不致发生混油现象。同样当一条主管及支管发生故障时，可由另一条主管及支管代替。

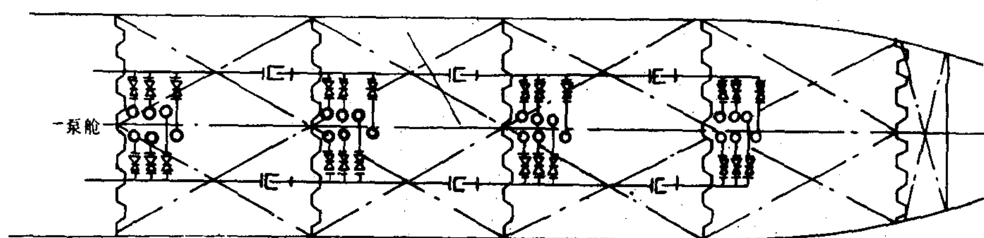


图7.7.1—6　小型油船线式管路

现代大型油船线式管路系统，其特点是没有单独扫舱管路，但设有专用压载管路。为提高管路机动性能，在各主管之间设置连通阀，以便某一主管发生故障时，由另一主管代替工作。图7.7.1—2 所示即是一典型现代大型油船线式管路系统。

线式管路主要用于货泵舱位于所有货油舱之后，并与机舱相邻的油船上。现代大型油船均采用此种型式管路。

2)货油泵舱管路：

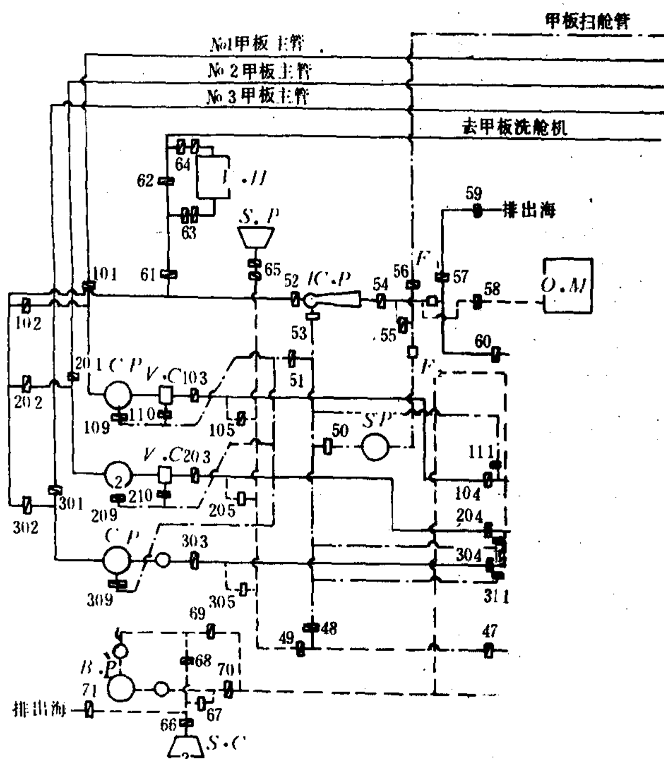


图7.7.1—7　货油泵舱管路

货油泵舱内管路布置应满足下列要求：

(1)各货油泵的吸入管应互相连通，以便任一台泵发生故障时，由其它泵代替工作。

(2)货油泵应能经海底阀吸入压载水，压入各货油舱，并能从各舱抽出压载水，排出舷外；对不符合排放标准的含油压载水应流至污油水舱，或经主货油管排至岸上接收设备。

(3)货舱压载水舷外排出口，应在最大压载吃水线以上。

(4)货油泵吸入端应装过滤器。

(5)离心式货油泵排出端应设排量调节阀和止回阀。

(6)有原油洗舱系统时，洗舱原油供给管应接在货油泵出口与排量调节阀之间，以便调节洗舱油压，通过洗舱加热器的管路，必须同时装设两只截止阀或一只截止阀一个“∞”型盲板法兰。

(7)专用压载舱的吸、排管路必须完全独立，单独设置海底阀。

图 7.7.1—7 是一典型原油油船货油泵舱管路布置图。

3)甲板货油管路：

甲板货油管路由泵排出端伸向甲板的垂直管、甲板水平管、接岸短管和绕过货油泵直接装油的下舱管等组成。接岸短管必须配有各种尺寸接头，以便与不同尺寸的港口输油管连接。接岸短管下面应装漏油接受槽，接受的漏油，可通过短管回流至货油舱内，甲板管路布置如图 7.7.1—8 所示。

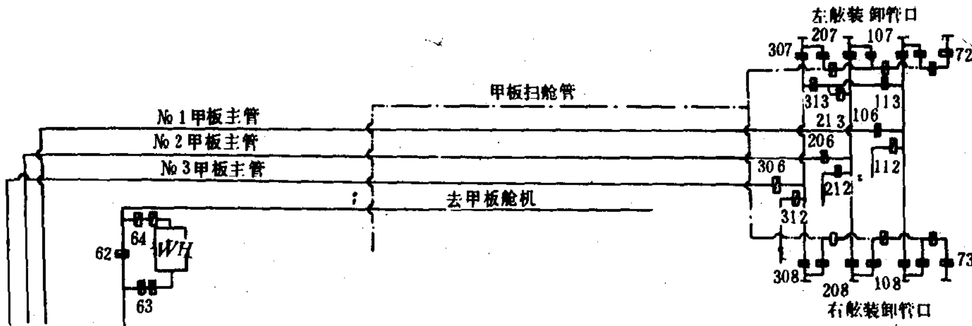


图7.7.1—8 甲板货油管路

1.1.2 货油管路尺寸的确定

货油管的内径依据货油泵排量、管内允许流速来选定。货油在管内的流速，应考虑可能产生静电的影响，一般限制在 4m/s 以下，各种油在管内允许的流速见表 7.7.1—1。

表 7.7.1—1　　各种油在管内的允许流速

油类品种	流速(m/s)	
	吸入管	排出管
原油	1.25～1.5	2.0
轻柴油及重柴油	1.25～1.5	2.0
燃料油	1.25～1	1.0
煤油及汽油	1.25～1.5	2.0～2.5

管壁厚度由强度要求，加上一定的腐蚀裕量来确定。按货油泵排量确定的实际各种载重吨的油船货油管尺寸，见表 7.7.1—2。

表 7.7.1—2　　油船主货油管尺寸实例

载重吨 (t)	货油泵排量	管径 (mm)
2400	850m³/h×2 台	100
60000	2000m³/h×3 台	400
74000	2000m³/h×3 台	445
100000	2500m³/h×3 台	550
220000	3500m³/h×3 台	550
270000	4500m³/h×4 台	700

1.2 管路附件

1.2.1 膨胀接头

为补偿由温度变化而引起管路的伸缩，消除船体变形所形成的应力，防止破坏管路连接处的密封性，以及不使附件和船体结构受到损坏，在整个管路中每隔适当间距应设置膨胀接头，其类型如下：

1)V 型弯管式，用 Ω 形弯管适应管路的伸缩，多用于小口径的管路。

2)填料函式，如图 7.7.1—9 所示，是常用的膨胀接头，这种接头伸缩量较大，不积存液体，安装方便，结构紧凑，适用于大管径、较长直管的管路中。其主要缺点是容易漏油，因此，必须经常检修更换填料函。另外安装时应注意使短管与压盖之间的间隙保持均匀，不得有明显偏差，内管与外管之间要有足够的伸缩量，使管路不受船体变形及管路热胀冷缩等因素影响。

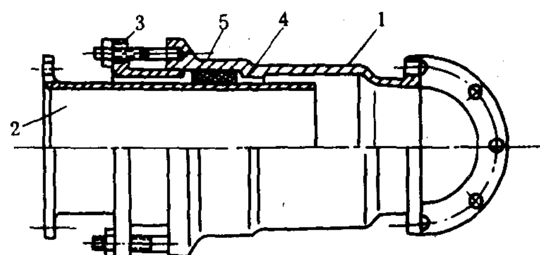
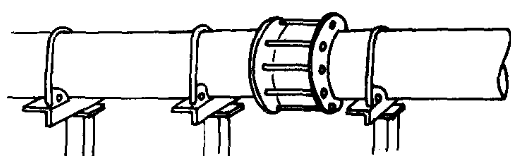


图 7.7.1—9 填料函式膨胀接头

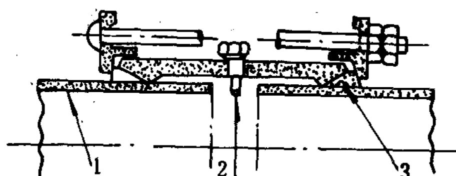
1—外管；2—内管；3—压盖；4—衬筒；5—填料

3)松套伸缩式：

管径很大的货油管、压载水管、透气管等用这种接头较为合适，其结构如图 7.7.1—10 所示。此种接头结构简单，安装方便，密封性能好并能减振。但在管内没有流体流动时，这种接头容易滞留残水，造成腐蚀。为防止腐蚀扩展，应定期使管路变位，一般每 4 年回转 90°。



a)



b)

图 7.7.1—10 松套伸缩型膨胀接头

a) 外型；b) 剖面图

1—钢管；2—止动螺栓；3—密封圈

1.2.2 吸油口

1)喇叭型吸油口，特点是：体积小、截面积大、至船底的距离较小。喇叭口一般均用 16mm 厚皮管制成，与吸入管连接，不准用法兰接头和膨胀接头。大型油船多用此种吸油口。

2)虎爪型吸油口，如图 7.7.1—11 所示。该种吸油口由钢板压制，同样具有喇叭型吸油口的优点，适用于小型油船。

各种吸油口的截面积均不得小于货油泵吸入管截面积的 1.5～1.75 倍，吸油口距舱底的距离，主货油管吸油口小于 100mm，扫舱管吸油口小于 30mm。

1.2.3 阀及操纵附件

1)阀：

货油管路中装设许多阀，按其使用目的和安装位置可分为：

①油舱吸入阀
②油舱分隔阀
③泵舱分隔阀
④泵吸入阀
⑤泵排出阀
⑥中间阀
⑦出口阀
⑧旁通阀
⑨下舱阀
⑩海水阀

各种阀在货油管路中的位置，如图 7.7.1—12 所示。

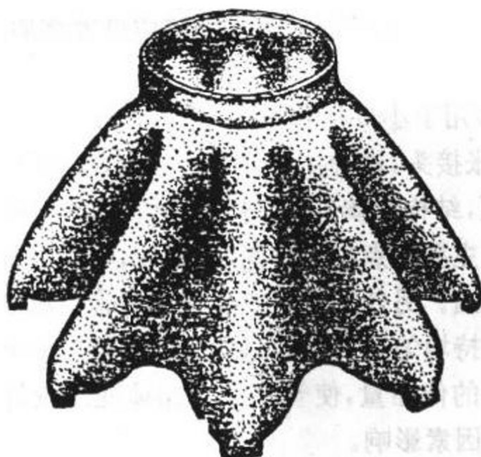


图 7.7.1—11 虎爪型吸油口

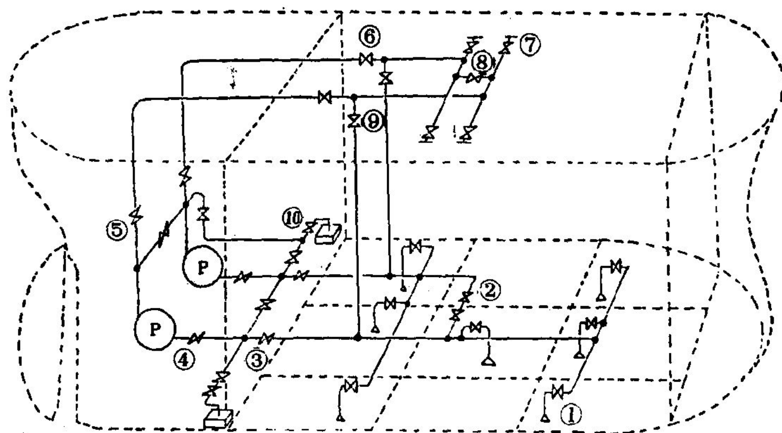


图 7.7.1—12 货油阀在管路中的布置

中、小型油船货油管路，一般采用阻力较小的闸阀；而现代大型油船 90%以上均采用蝶阀，这种阀易于实现液压驱动和遥控。当管径超过 200mm 时，从设备费用来看，采用蝶阀有利。其缺点是密封性较差。

2)操纵附件：

手动操作阀在甲板上必须装设操纵装置，其传动形式如图 7.7.1—13 所示。

操纵阀连杆应尽可能垂直安装，如受条件限制必须倾斜时，其斜度要小于 30°，要采用万向接头连接，并装设有铜套的支架，摩擦部分应采用有色金属制成，以防摩擦产生火花。

甲板操纵支架过去多采用铸钢制成，如图 7.7.1—14 所示。但这种支架笨重，加工复杂。因此，现改用管筒式支架，体积小，重量轻，结构紧凑，如图 7.7.1—15 所示。

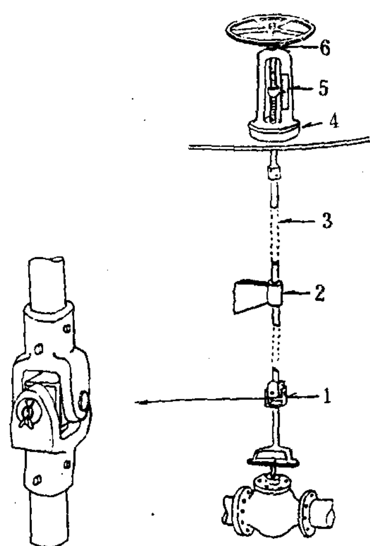


图 7.7.1—13 手动阀操纵装置
1—万向接头；2—导套；3—阀杆；4—填料箱；5—刻度盘；6—推力环

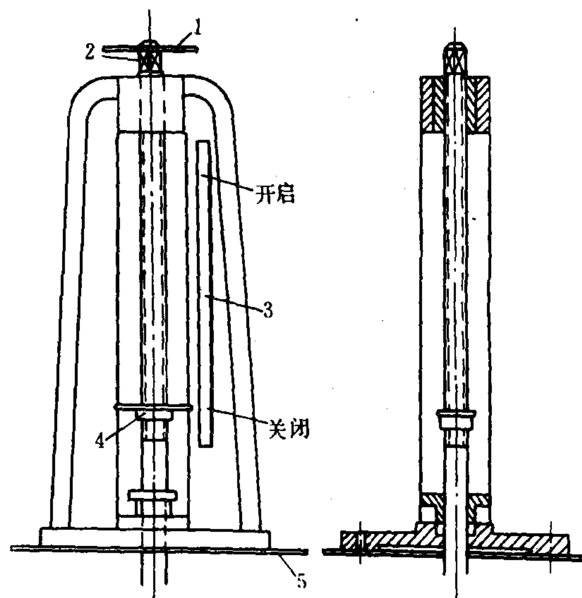


图 7.7.1—14 甲板操纵支架
1—名牌；2—传动杆方端；3—刻度盘；4—指针；5—甲板

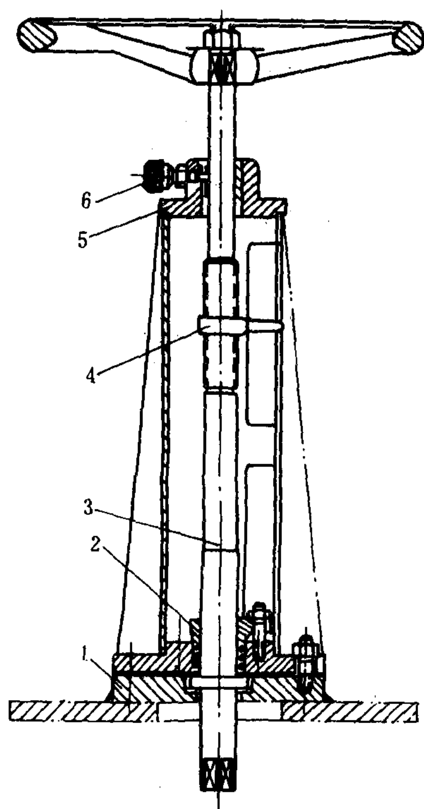


图 7.7.1—15 管筒式支架
1—座板；2—填料压盖；3—操纵杆；4—指针；5—支架上盖；6—油环

1.3 货 油 泵

1.3.1 货油泵分类

货油泵按工作原理分类，主要有三种：往复式货油泵、离心式货油泵、喷射泵。如按原动机分类，主要有五种：蒸汽直接作用往复式、汽轮机离心式、电动离心式、柴油机离心式、液压驱动潜液式货油泵。各种类型货油泵各有特点和使用场合。

1)蒸汽直接作用往复式货油泵：

这种泵结构简单，造价低，管理方便，安全可靠，可布置在任何地方，无需特别考虑防火、防爆措施。并具有干吸能力，能最大限度的将货油吸净，可代替扫舱泵使用。只要改变进汽阀的开度，泵的转速和排量即可调节。但这种泵排量小，供液不均匀，效率低，体积和重量大，而且不易实现自动化和遥控。因而蒸汽直接作用往复式泵，多用于中、小型原油油船货油泵，或作为大、中型原油油船扫舱泵。

2)汽轮机离心式货油泵：

用汽轮机作动力，安全可靠，可连续高速平稳运转，效率高，供液均匀。泵的构造简单，重量轻，体积小，故障少，排量大，可以调节排油阀的开度来控制排量。由于离心泵没有干吸性能，因此启动时泵壳内必须充液；对气体的吸入敏感性大，只要有气体吸入，几乎不能工作。汽轮机结构复杂，且须有中压辅助锅炉。所以这种泵适用于大、中型原油油船的主货油泵。

3)电动离心式货油泵：

电动离心式货油泵其泵的特点与汽轮机货油泵一样。但因电动机工作时可能产生火花，对防火防爆不利；因而电动机不能直接安装在泵舱内。另外泵排量不能太大，因电动机功率过大，一般船舶电站能量不易满足。电动离心泵适用于中、小型成品油船货油泵，或作为大、中型原油油船专用压载泵。

4)柴油机离心式货油泵：

通常，原动机利用柴油发电机的前端出轴直接带动货油泵可充分利用船舶能源，减少船舶动力设备。但原动机运转管理比较复杂，而且必须与泵舱隔开安装。适用于成品油船，泵也可以用齿轮泵、螺杆泵，罗茨泵或摇板泵。

5)液压驱动潜液式货油泵：

这种货油泵用液压油马达驱动，原动机与泵组成一体，直接安装在各货油舱底部。所以不需有货油泵舱，安全可靠，不同货油之间不会相互混杂。泵的吸入条件好，无吸入阀和吸入管，泵直接从舱底吸油，能最大限度地将货油吸净。其缺点是装置设备数量增加，成本较高，经济性较差，且泵发生故障时修理较困难。它适用于运载多品种油的成品油船。

1.3.2 货油泵选用要求：

1)安全性：由于货油泵是运送易燃、易爆的危险液体油类，因此，选择货油泵时，必须首先考虑安全性。泵在运转时应不产生可能引起油气燃烧、爆炸的火花、机械摩擦高温、静电等引火源。从安全角度看，蒸汽直接作用式货油泵最好，汽轮机离心式货油泵次之，但由于汽轮机多采用过热蒸汽和有减速齿轮装置，所以汽轮机不能直接装在货油泵舱内。

2)经济性：在保证安全的前提下，应能尽快将货油卸净，且残油量小。泵结构简单，原动机能充分利用船舶现有能源。

3)操纵性：操作、管理应简单方便，调速性能好。

4)泵排量：以满足总卸油时间的要求，选定泵总排量。用下式计算总卸油时间。

$$T = b \cdot \frac{G_w}{Q \cdot \rho_0} \quad h \qquad (7.7.1-1)$$

式中：G_w ——装卸货油重量，t；

ρ_0 ——油的质量密度，标准取 0.85t/m³；

Q ——货油泵总排量，m³/h；

b ——系数，取 1.3～1.35(包括扫舱时间在内的系数)。

一般要求的总卸油时间范围，见表 7.7.1—3。

表 7.7.1—3 **卸油时间范围**

泵型式	卸油时间 (h)	备注
往复式泵	10～28	一般在 15h 以上
离心式泵	8～20	一般在 15h 以下

大型油船安装的货油泵排量及台数，见表 7.7.1—4。

表 7.7.1—4 大型油船货油泵排量及台数

载(油)重量 DWT	排量 (m^3/h)	压头 (MPa)	台数	卸油时间 (h)	卸油率 (m^3/h)
50000～80000	2000	1.1	3	8.3～13.3	6,000
80000～120000	2750	1.1	3	9.7～14.6	8,250
120000～160000	3000	1.25	3	11.4～15.2	10,500
160000～200000	3500	1.25	4	13.4～16.7	12,000
200000～250000	3750	1.5	4	14.3～17.8	14,000
250000～300000	4000	1.5	4	15.6～18.7	16,000
300000～350000	4500	1.5	4	16.7～19.4	18,000
350000～400000	5000	1.5	4	17.5～20.0	20,000
400000～500000	6000	1.5	4	16.6～20.8	24,000

5)泵的压头:泵总压头一般为 0.8～1.5MPa。对有原油洗舱系统的原油油船的货油泵,排出压头应能满足洗舱机工作压力的要求,最低不应小于 1.2MPa。

2 扫 舱 系 统

2.1 自动扫舱系统

离心式货油泵的自动扫舱系统

2.1.1 真空式自动扫舱系统

图 7.7.1—16 是一典型真空式自动扫舱系统。

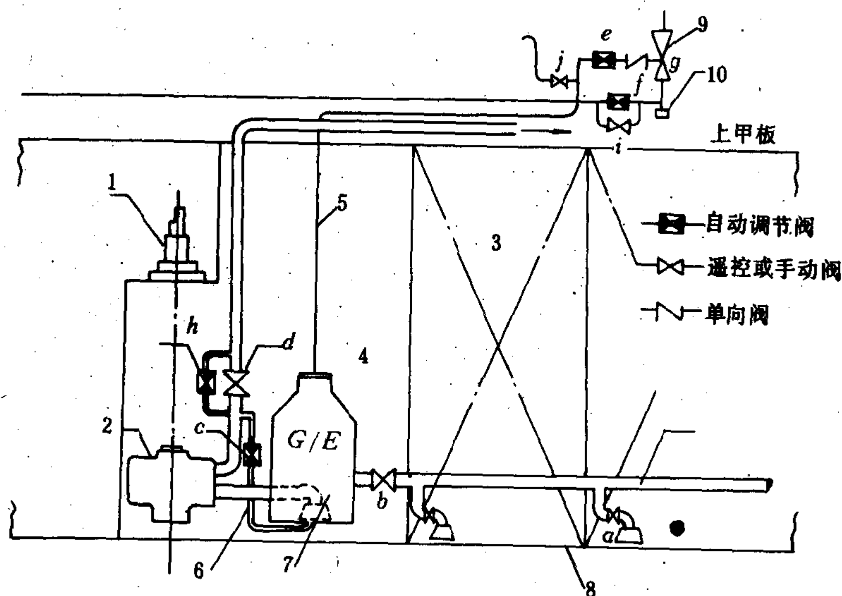


图 7.7.1—16 真空式自动扫舱系统

1—汽轮机;2—货油泵;3—货油舱;4—货油泵舱;5—抽气管;6—回流管;7—气液分离柜;8—船底;9—抽气器;10—放水旋塞

该装置主要由气液分离柜、流量控制阀、喷汽抽气器、回流阀、抽气阀、液位变送器、负压信号发送器、蒸汽阀和控制板等组成。

气液分离柜的结构特点是，即使在大流量情况下，阻力也很小，并能在吸入侧有效地进行气液分离。其进口处装有滤器，底部的侧面装有液位变送器。安装在排出侧旁通管路上的流量控制阀采用双阀座的气动活塞阀，它按液位变送器发出的液位信号，相应自动地进行开、关。

此外在泵的排出管上设有回流管 6，使液体能够在气液分离柜 7 与泵 2 之间回流。

为使气液分离柜内部保持负压，抽气管从气液分离柜的顶部一直延伸到甲板上，并由设置的喷汽 11 抽气器 9，不断地抽出气液分离柜内的气体。

装置的工作原理是：利用气液分离柜内的一定负压，将油舱内的液体和气体先吸到气液分离柜内，同时使货油泵以一定转速从气液分离柜内吸入液体，其排量依气液分离柜内液位高度由流量控制阀自动控制。多余的排油经回流管返回气液分离柜，可防止流量控制阀全关时，货油泵发热。当气液分离柜内的负压降到一定值以下时，喷汽抽气器会自动地工作，使负压提高，因而使气液分离柜内始终保持在规定的负压。这样自动控制气液分离柜内部的负压，并依气液分离柜内部的液位高度自动地控制泵的排量，可进行扫舱。

2.1.2 喷射式自动扫舱系统

喷射式自动扫舱系统主要利用喷射泵（抽逐器），不仅能抽吸液体，而且也能抽吸气体。

喷射式自动扫舱系统由有关的泵、阀、液位计、控制台等组成，它的布置及流程如图 7.7.1—17 所示。

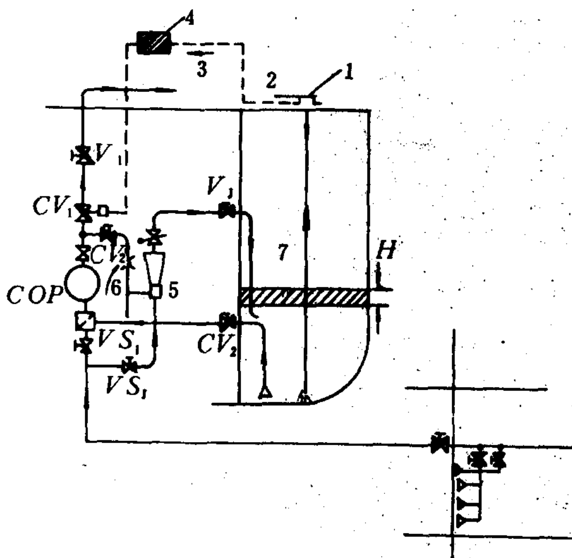


图 7.7.1—17 喷射式自动扫舱系统

1—吹气式液位计；2—供气管；3—空气信号管；4—控制箱；5—喷射泵；6—节流闭；7—污油水舱；H—控制液位

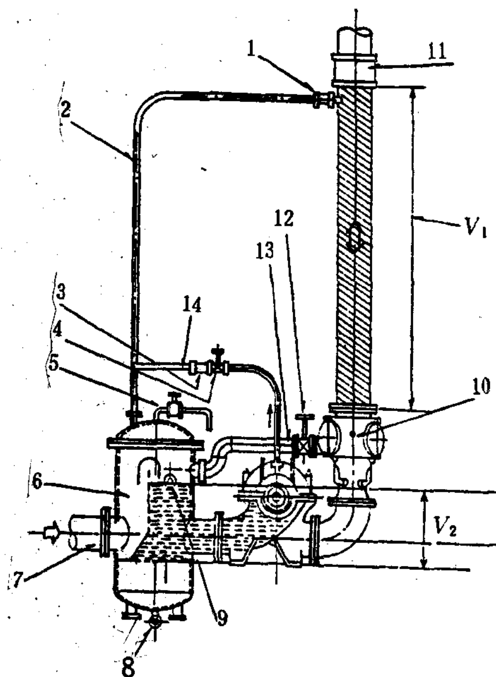


图 7.7.1—18 再循环式自动扫舱系统

1—抽气单向阀；2—抽气阀；3—单向阀；4—截止阀；5—放气阀；6—回流吸入箱；7—吸入管；8—泄放阀；9—液位检验旋塞；10—循环阀组；11—排出单向阀；12—回流阀；13—回流管；14—抽气管

其工作过程是,油和气体(或空气)由喷射泵抽送到分离柜中,使液体与气体分离,而货油泵从分离柜中吸入液体,同时货油泵排量的部分回流作为喷射泵的工作流体。为使分离柜中的液位保持在规定的高度上,由分离柜的液位计发出信号,自动控制排出阀 8 的开度。

操作时只要按下控制板上的按钮,则有关阀就会自动开、闭,并由指示灯指示。

2.1.3 再循环式自动扫舱系统

再循环式自动扫舱系统是货油泵有自动吸入机能的一种装置,它使卸油从开始直到扫舱结束,可用同一台离心泵来完成。

这装置主要由循环自吸阀组、回流吸入箱、吸入管、排出止回阀、抽气止回阀、泵抽气管止回阀以及抽气管路等组成,如图 7.7.1—18 所示。

该装置以循环自吸阀组为主,它能根据泵排量的变化而自动动作。不需其它辅助控制装置。虽然主要是为泵能自吸而加装的,但具有其它优点,例如,可防止由于空转和超速而造成金属密封件的损伤,以及泵在吸、排阀全闭下运转时所引起的损伤等。

循环自吸阀组由文丘里管、感压管、活塞式提升阀(循环阀)等组成,如图 7.7.1—19 所示。泵工作时,排出的液体流过文丘里管并在其喉部 6 流速增加,压力降低,经感压管 5 传递到循环阀控制活塞 8 的后面。液体通过文丘里管扩散部后,随着流速的降低,压力又回复到原来数值,并作用在循环阀控制活塞的前面。因此,在控制活塞的前后就会产生压差。

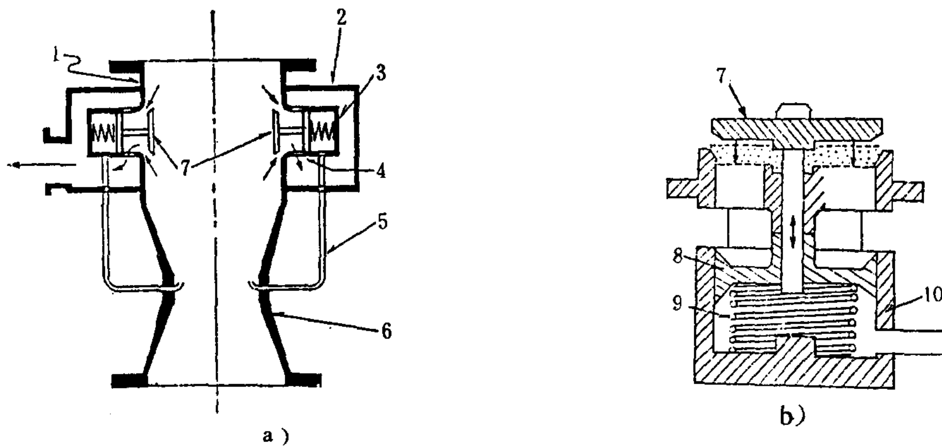


图 7.7.1—19 循环自吸阀组

a) 阀组;b) 活塞式提升阀

1—阀壳;2—循环阀罩;3—循环阀;4—阀口;5—感压管;6—文丘里管喉部;7—阀盘;8—活塞;9—弹簧;10—阀体

循环阀是常开型阀,内部装有弹簧,当液体流经文丘里管时,循环阀控制活塞的两侧就产生压差,此压差克服弹簧的张力,使阀关闭。因压差的大小与流经文丘里管的液体流量的二次方成比例,因此,泵的排量下降时,由于文丘里管的作用,活塞两侧的压差变小,当流量等于零时压差等于零。当泵的流量降到额定排量的 40%以下时,由于活塞两侧的压差力小于弹簧张力,循环阀就会开启,如图 7.7.1—19 所示状态,这时,液体按箭头所示方向,经阀口流入回流吸入箱中。

2.2 扫舱管路布置

2.2.1 独立扫舱管路

扫舱管路与货油管路并行装设，各货油舱都有扫舱支管与扫舱主管连接。各油舱支管都装有吸入阀和吸入口。扫舱主管与扫舱泵连接，因此，可独立进行扫舱工作，且可和卸油工作同时进行。图 7.7.1—1 是典型独立扫舱管路布置系统图。

扫舱管路的直径一般比主货油管小，但在某些大型油船上，为加快卸油速度，将扫舱管路直径加大，这样可同时和货油泵一起进行卸油。不同类型船舶扫舱管尺寸见表 7.7.1—5。

独立扫舱管路，可加快卸油速度，扫舱作业操作方便，扫舱干净。但管路增加，需大排量扫舱泵，一般扫舱泵排量约是主货油泵的 25%以上。

表 7.7.1—5　**扫舱管尺寸**

载重吨 (t)	扫舱管名义直径 (mm)
74000	200
100000	200
220000	200

2.2.2 用扫舱支管的扫舱系统

现代大型油船为节省货舱油管，简化货油管路，大多在货油舱不设专用扫舱管路，而在每个货油舱内装设管径较小的扫舱支管与主货油管连接。扫舱支管上设置阀和吸入口，在扫舱时关闭主货油阀，打开扫舱阀；吸入管仍用主货油管，管路的布置，如图 7.7.1—2 所示。这系统的扫舱泵吸入管，仅在货泵舱内与主货管连接。当货油泵装有自动扫舱装置时，扫舱泵只在卸油结束时，抽除管路内残油时使用，并兼作泵舱内污水泵用。此系统扫舱泵的排量比较小，约是主货油泵的 15%以下。

2.3 扫　舱　泵

扫舱泵主要应用自吸性能好的双缸蒸汽直接作用式往复泵，排量约是主货油泵的 15%～25%。另外还装设一台喷射泵，洗舱时使用。

3　货油系统遥控

3.1 液压遥控系统管路布置

现代油船货油系统中的阀类遥控一般都采用液压传动，它不受阀安装位置的限制，体积小、转矩大，操纵简单、阀的开闭速度容易调节，阀能停止在任意位置、防爆性好。

液压遥控系统按管路布置方式不同，可分为独立支管式；并联主管式两种。

3.1.1 独立支管式

独立支管式将液压油通过设置在控制室内的手动液压换向阀，分别输到各阀的油缸内，或通过设在非防爆区内的电磁液压换向阀，分别输到各阀的油缸内。如图 7.7.1—20 所示。

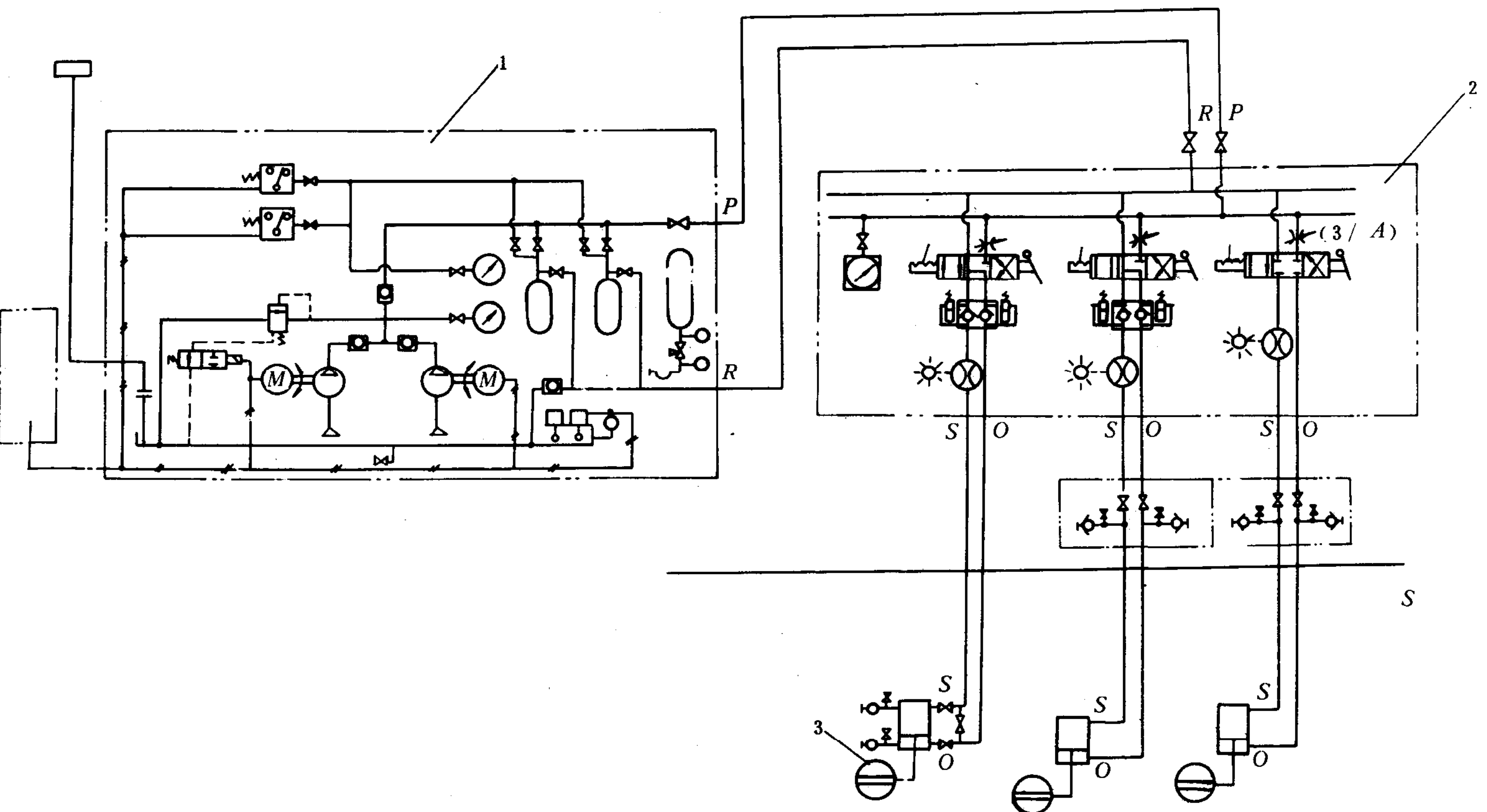


图 7.7.1—20　独立支管式液压遥控系统

1—油压泵站；2—甲板阀箱；3—货舱阀

独立支管损坏只影响个别阀的动作，电磁阀不需特别考虑防爆措施。缺点是大管径的主管路多且长，管路阻力损失大，影响阀的开闭速度，管路安装制造费用大。

3.1.2 并联主管式

并联主管式的液压换向阀，设置在各阀驱动油缸附近，液压油通过甲板上的主管分流到各液压换向阀阀体内，再经换向阀输到阀的驱动油缸内。换向阀可电磁控制，也可液压控制。其管路布置如图 7.7.1—21 所示。

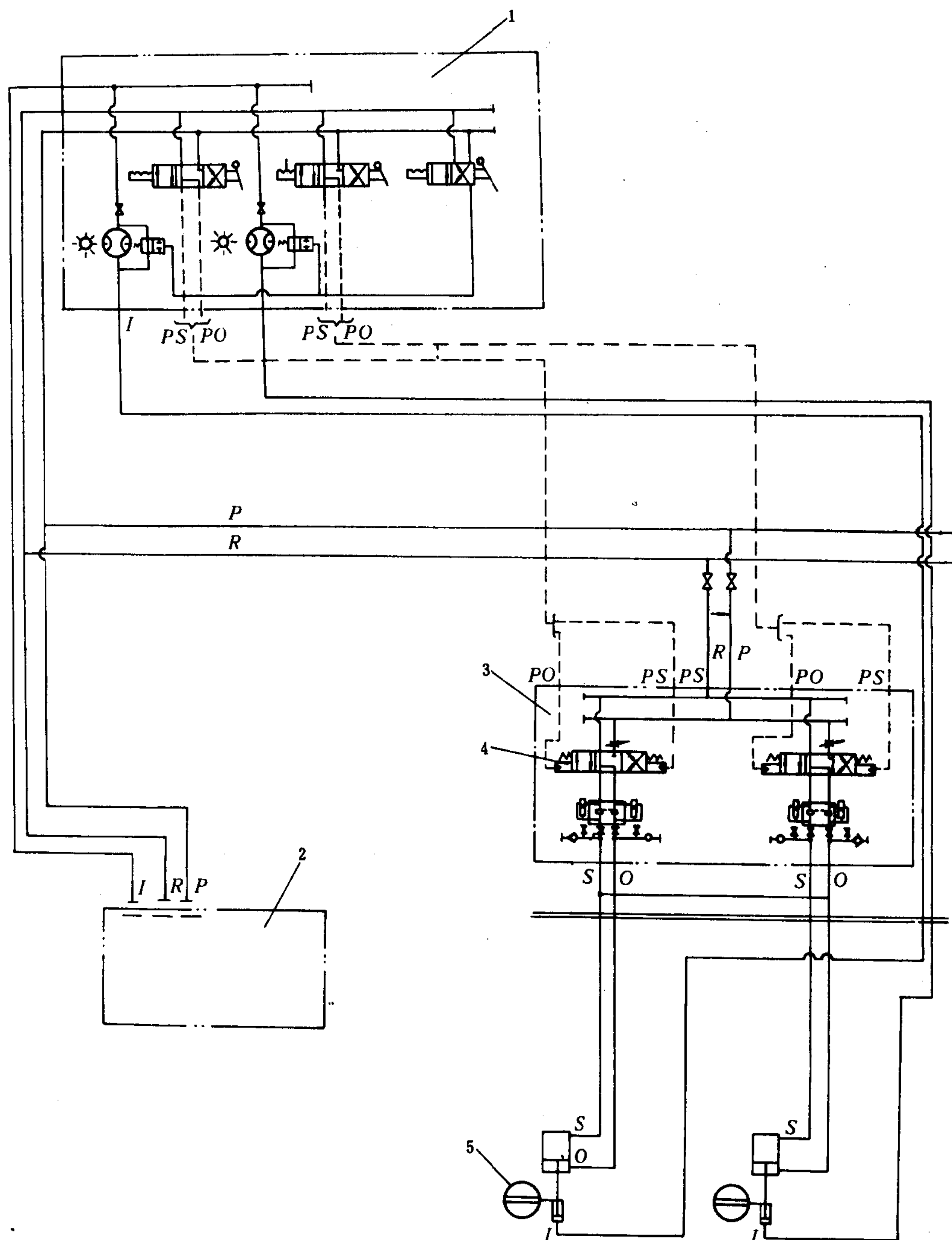


图 7.7.1—21 并联主管式系统

1—控制板；2—油压泵站；3—甲板阀箱；4—换向阀；5—货舱阀

并联主管式管路安装，检修，保养方便，经济性好。支管长度短，阻力损失小，油粘度变化对阀的开闭速度影响不大。但当主管损坏时，所有阀都不能动作，且电磁阀须充分考虑防爆措施。

3.2 液压遥控系统

液压遥控系统主要由以下六部分组成：

(1)液压泵站；

(2)换向阀及其附件；

(3)货舱阀及液压驱动机构；

(4)阀开度指示装置；

(5)应急手动装置；

(6)液压管路。

图 7.7.1—22 所示是电—液式系统管路布置原理图。

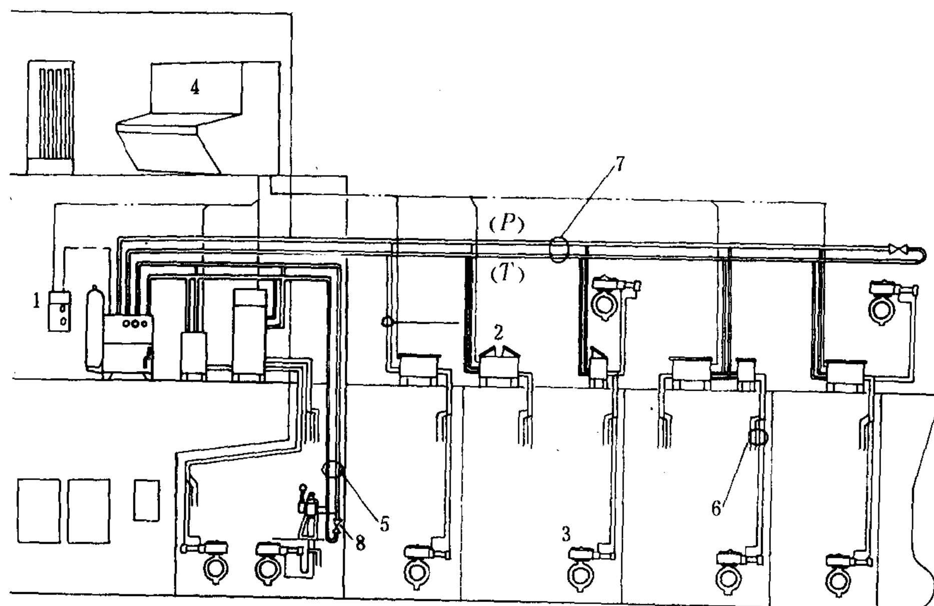


图 7.7.1—22 电—液式遥控系统

1—油压泵站；2—换向阀箱；3—货舱阀；4—控制板；5—泵舱主油管；6—支管；7—甲板主油管；8—旁通阀

液压泵站供给的压力油，直接由主甲板上的液压油管，经各阀支管输到甲板控制箱内的防爆型电磁换向阀。该阀由集中控制板上的按钮开关来操纵换向，以改变液压驱动机构内的油流方向，达到阀的开闭。阀的开度位置由转于流量计式位置指示计指示，它与液压驱动机构相连。当遥控系统发生故障时，只要将手摇泵的软管接到液压换向阀的自动封闭应急接头上，即可进行阀的开闭操作。

装在甲板控制箱内的液压换向阀，也可由集中控制板上的手动液压换向阀控制换向，这系统称为全液压遥控系统，参见图 7.7.1—22。

4　货油舱液位遥测装置

4.1　液位遥测装置形式

现代油船货油舱液位遥测装置，主要有吹气式、机械浮子式、电磁式、压力传感式等，各式比较列于表 7.7.1—6。

表 7.7.1—6　**各式遥测液位计特点**

特点 / 类型	原油洗舱中使用情况	最小测量深度	精度	温度传感器的安装	测量元件保护管	操作管理	成本
机械浮子式	不能使用	60mm	±20mm	不能安装	不需要	比较复杂	较低
电磁浮子式	可使用	200mm	±10mm	可安装	需要	简单	较高
吹气式	可使用	100mm	±35mm	不能安装	不需要	最简单	最低
压力传感式	可使用	150mm	±100mm	可安装	需要	简单	高
雷达式	可使用	0	±5mm	不能安装	不需要	比较简单	最高

4.2　机械浮子式液位计

机械浮子式液位计工作原理如图 7.7.1—23 所示，浮在液面上的浮子由绕在卷筒上的细钢缆吊住，并用一定的力拉紧，使其保持恒定张力。随着液位变化，浮子上下移动，同时卷筒转动，则对应卷筒的转数制成液位指示计，即可指示出液位的高度。图中用重物吊住浮子产生浮子的一定拉紧力，其他方法有：

①利用弹簧；

②使用能根据电压改变转矩的转矩电机；

③电机和弹簧并用；

④利用气动马达的回转力。

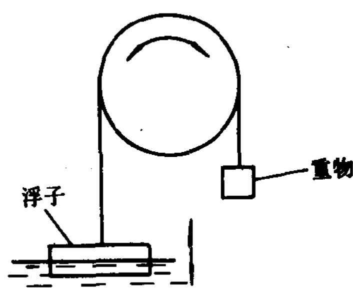


图 7.7.1—23　机械浮子式液位计工作原理

机械浮子式液位计用于货油舱时必需采用安全型结构，其系统如图 7.7.1—24 所示。

4.2.1　液位测定原理

如图所示利用气动马达产生回转力矩，给吊挂浮子的钢带一定的张力，使浮子与变动的液面经常保持平衡。

测量时，气动马达驱动钢带卷筒 2，但它所产生的回转力较浮子的重力小，所以不会将浮子卷起。在液位下降时，浮子的重力使气动马达逆转，产生制动力。另外在这种液位计中，还装有钢带张力检测机构，该机构与压缩空气调节阀连动，因此，随着液位的变化，钢带的伸出和卷入动作按如下过程进行：

液位下降→浮子的表观重量增加→钢带张力增加→滚轮向下压动针阀→气动马达进气量

减少→气动马达的回转力减少→在钢带的作用下气动马达产生逆转→浮子下降→链轮回转→指示新的液位。液位上升时，上述动作过程相反。

由于钢带上的洞孔与链轮的凸齿相啮合，则钢带的移动量能正确地转换成链轮的回转角度，从而在指示计上以数字形式示出液面的位置，同时发出液位遥测指示的脉冲信号。

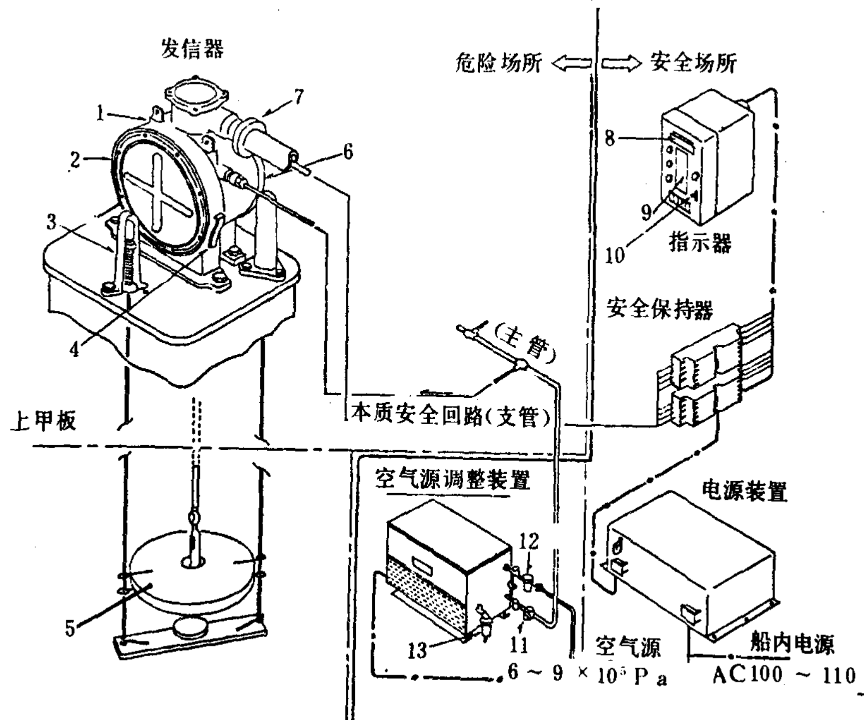


图 7.7.1—24 安全型浮子式液位计系统

1—指示器；2—气动马达卷筒；3—钢缆保护罩；4—浮子固定手柄；5—浮子；6—电控器；7—电线入口；8—数字型指示器；9—模拟指示器；10—浮子操作开关；11—减压阀；12—滤器；13—泄水分离器

4.2.2 液位的遥测指示

在发送器的电控器内，装有脉冲发生器，它可将链轮的回转角度转换成电气信号。当设置在发光元件和感光元件之间的遮光板由链轮带动回转时，相应于液位每变化 1cm 发出一个脉冲电气信号，指示器则由此产生相差 1/4 周期的两种脉冲信号，判别浮子上升或下降，再通过光电转换元件，传递到间接指示器，以数字形式指示出液位。

4.3 吹气式液位计

吹气式液位计是由水银压力计、吹气单元、吹气管、供气管、信号管和转换控制阀等组成，其系统如图 7.7.1—25 所示。

吹气单元是一个节流单向阀，它只允许压缩空气进入油舱，而不让油舱中油气倒流。测量时，从供气管 11 来的压缩空气，经吹气单元 6 中的节流孔，进入吹气管 13，将吹气管内液体从其末端挤出，使吹气管内压缩空气的压力与吹气管末端处的静电平衡，而多余空气从斜口冒出，呈气泡状上升到液面上部空间，此时，系统处于动平衡状态。通过信号管 10 将管内压力传送到水银计 2，则水银计所反映的压力，正好是吹气管末端的静压，该静压除从液体重度便可得到液面至吹气管末端的液位高度，再加上吹气管末端至舱底距离，便得到液位总高度。

这种液位计由于测量时，经常有空气从液面冒出，对充有惰性气体的油舱，会使氧气含量增加，达到爆炸范围。因此，现代油船的货油舱已不使用，只在专用压载舱和吃水深度测量中使用。

图 7.7.1—25　吹气式液位计系统

1—仪表板；2—水银液位计；3—转换阀；4—截止阀；5—泄放阀；6—吹气单元；7—吹气管集水箱；8—吹气单元；9—空气压力调节阀；10—信号管；11—供气管；12—透气管；13—吹气管；14—吹气管端口

第2章　货油舱透气系统

1　货油舱透气系统的作用

油船在航行或停泊时，由于大气温度、舷外水温度和货油加热温度的变化，引起气密货油舱内货油的体积膨胀或收缩，并出现油汽的挥发或凝结，从而产生舱内气压的升高或下降(甚至出现真空)。

另外在装油或压载水过程中，舱内气体必须排出，反之在卸油和排出压载水过程中，空气(或惰性气体)须填充进舱；否则舱内气压会出现高压或真空。

如果压力或真空超过设计限度，会导致船体结构的损伤或变形。

货油舱透气系统是使货油舱气体空间与大气相通的专用管系，其作用是防止货油舱内出现超过设计值的压力或真空。

货油舱透气系统的设计必须注意：

1)在任何情况下，由于货油舱内温度变化所产生的少量石油气、空气或惰性气体混合物能流过系统；

2)在装卸油或压载水过程中，大量的石油气、空气或惰性气体混合物能流过系统。

从货油舱透气系统排出的混合物中含有可燃的碳氢气体，另外外界火焰可能通过透气口进入货油舱；因而货油舱透气口的布置要消除碳氢气体和外界火焰对油船可能带来的危害。目前有两个基本措施，一是对透气口的布置位置有一定要求，见表7.7.2—1。这个措施使比空气重的碳氢气体在下沉到货油舱甲板面工前，能在空气中有效地扩散，不致形成可爆性气团。另一措施在透气系统中设有阻止外界火焰进入货油舱的装置。

表7.7.2—1　**货油舱透气出口布置要求**

透气口位置	因温度引起的气体排出口	装油或压载水时气体排出口
距货油舱甲板面的垂直距离	大于2m	自由排出式大于6m 高速排出式大于2m
离含有火源的围蔽处所的最近进气口或开口以及可能构成火灾危险的甲板机械和设备的水平距离	大于5m	大于10m

2　货油舱透气系统基本型式

货油舱透气系统有两种基本型式，即公用总管型和独立型。

2.1　公用总管型透气系统

从每个舱最高处引出的透气支管都汇集到一根纵向贯通全船布置的公用透气总管，该总

管的末端部分通常沿桅杆或柱向上引伸，其透气出口一般布置在货油舱甲板以上 9～12 米处。在透气桅管下部设置一只供温度变化引起的压力和真空释放阀—呼吸阀。当货油舱内气压超过规定值，呼吸阀中的压力释放阀自动打开，向大气排出混合气体泄压；当货油舱内真空超过规定值，呼吸阀中的真空释放阀自动打开，空气补进舱内降低真空度(在装有惰性气体系统的油船上不允许空气进舱以免破坏惰性，当舱内气压下降到一定值即向货油舱补充惰性气体增加气压)。在呼吸阀旁常设置一只旁通手动开闭阀，平时关闭，当装卸油和压载水时打开此阀，让大量气体排出或空气进舱(在装有惰性气体系统的油船上卸油和压载水时是向舱内输送惰性气体)。为防止外界火焰进入货油舱，一般在透气桅管顶部设置阻火装置，有时这种阻火装置设在透气管底部呼吸阀附近处。公用总管型透气系统的典型示例见图 7.7.2—1 和图 7.7.2—2。

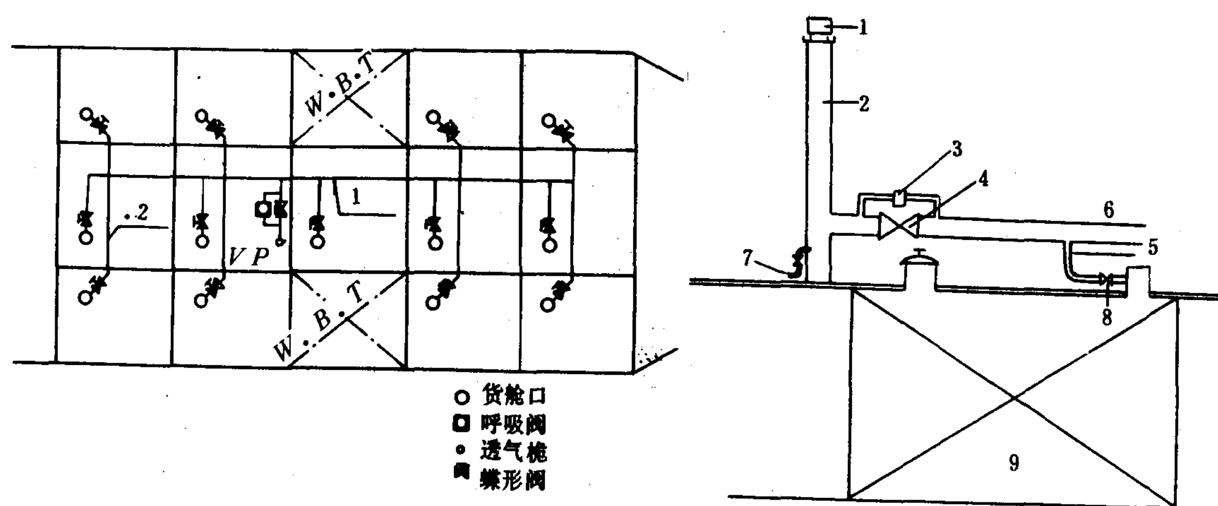


图 7.7.2—1　公用总管型透气系统

图 7.7.2—2　公用总管型透气系统
1—阻火装置；2—透气桅管；3—呼吸阀；4—旁通阀；5—透气支管；
6—公用总管；7—蒸汽管接口；8—截止阀；9—货油舱

有些油船同时装运几种油品，且不允许相互混杂。因而船上的货油舱分成几组，每一组的货油舱共用一根公用透气管，船上就有几根互不相通的公用透气管，每一组公用透气系统的结构与上述公用总管型透气系统相同。

随着油船吨位的增大，其最大吃水差不断增大，超级油船和巨型油船的吃水差可达 20～30m。装油码头和装油设备与桅管透气口的位置可能相平，影响油船周围空气流的畅通，从透气口以自由流通方式排出的大量碳氢气体在下沉过程中不能有效地扩散和被空气稀释，有可能在货油舱甲板上形成可爆性气团。为了避免这种潜在的危险，出现了一种高速透气型式，使油舱内气体以比火焰传播速度高得多的速度(大于 30m/s)排出。这种高速透气装置同时亦起到释放温度变化产生的气体的作用。采用高速透气方式后，公用透气总管可不必沿桅布置。高速透气型式不仅普遍使用在大型油船上，在中小型油船上也得到日益增多的应用。

2.2　独立型透气系统

每一货油舱设有独立的透气系统。有二种型式，一种型式是自由流通式排气，从货油舱顶部引出一根直到离甲板面一定高度的透气管，在管顶部设有一只呼吸阀和一只旁通阀。前者供温度变化引起的压力或真空释放之用，后者供装卸油和压载水时排气或进空气之用(在装有惰

性气体系统的油船上不允许空气进舱，吸阀一般情况下是不工作的)。有时用可启闭或带有阻火装置的透气口盖代替旁通阀。有时仅设有呼吸阀，当装油和压载水时用手动机构使呼吸阀的压力释放阀强制打开，让气体流通，这种方式仅适用于小型低装卸速率的油船，因为呼吸阀的流通能力是比较低的。自由流通式独立型选气系统见图 7.7.2—3。另一类型是高速排气型，在各货油舱的透气管顶部装一只高速透气阀，当舱内压力达到设定值，高速透气阀中的压力释放阀自动开启排气。

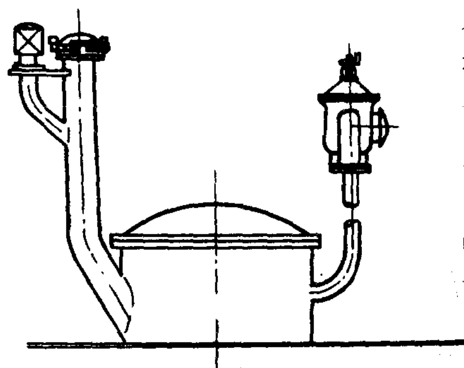


图 7.7.2—3　自由流通式独立型透气系统

独立型透气系统的特点是货油舱间彼此不相通，可避免货油舱间不同油品的相互混杂。另外《74 安全公约》第Ⅱ—2 章第 59 条 1.3.2 规定—任何隔离措施应使由于货油舱内温度变化所产生的气体能连续流通无阻，故独立型透气系统的应用得到船主的注意。

3　货油舱的油气清除和/或除气

货油舱的油气清除，指降低舱内碳氢气体浓度，使之减低到即使随后空气进舱也不能助燃的程度。在用惰性气体保护的油船上，先要用惰性气体来清除舱内油气，直至浓度低于 2%后才允许向舱内送空气进行除气。

货油舱的除气，指用空气来清除舱内有毒气体、可燃气体和/或惰性气体直至舱内气体氧含量达到 21%。

油气清除和/或除气的方式有抽出式和排出式两种。

3.1　抽　出　式

利用喷汽抽气器将气体从舱内通过货油管系抽出并排大气，其系统组成和气流运动如图 7.7.2—4 所示。这种方式的清除气体要流经输油管路，该管路必须清除掉油和水，否则影响工作，已很少使用。

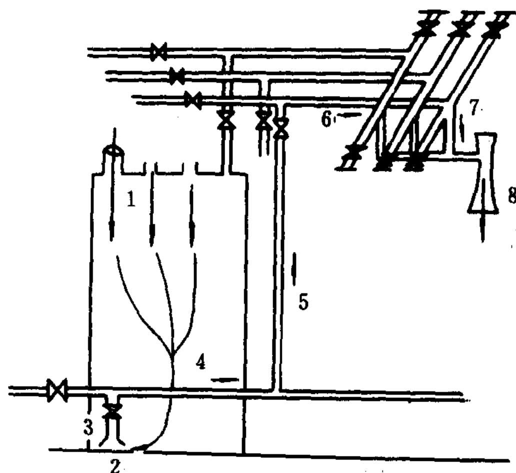


图 7.7.2—4　抽出式油气清除和/或驱气系统
1—舱开口；2—油吸口；3—吸入管；4—主管；5—立管；6—甲板油管；7—歧管；8—喷汽抽气器

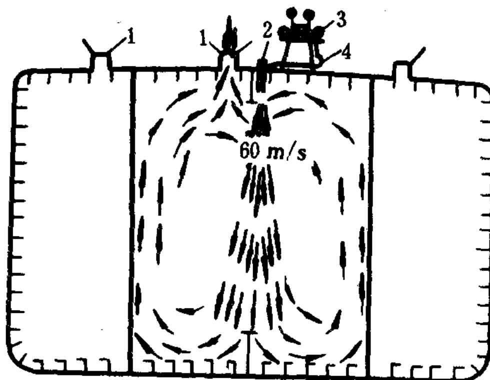


图 7.7.2—5　排出式清除油气和/或除气流程图
1—油舱舱口；2—喷气抽气器；3—蒸汽管道；4—软管

3.2 排 出 式

依靠机械方法将空气输入舱内，实现强制换气。一般可用气动、液动或蒸汽驱动的移动式或固定式风机或喷射器来清除油气和/或除气。图 7.7.2—5 是应用移动式喷汽抽气器进行油气清除和除气的流程图。蒸汽及空气流的射入速度达 60m/s，有较好的气流扰动，气体通过透气出口或专用换气管排出。近代油船上较多使用移动式风机代替喷汽抽气器，工作方式两者相同。风机的驱动方式有气动或液动。

在有惰性气体系统的油船上常用惰性气体系统中的固定式鼓风机进行油气清除和/或除气。按照《74 安全公约》第Ⅱ—2 章节 62 条规定，先向货油舱输送惰性气体以清除油气，直至碳氢气体浓度降到 2%（体积计）后，才允许向货油舱输送空气进行除气。

4 呼 吸 阀

呼吸阀的作用是当货油舱内气压达到一定值时将舱内的气体排出减压，而当负压升到一定值时将空气吸入舱内增压。它由压力释放阀和真空释放阀组成，在压力释放阀的排出端如果直接排大气则还设有阻火装置，真空释放阀侧设有阻火装置。

呼吸阀的开启压力值按船级社的规范设定，一般压力释放阀为＋14～20kPa，真空释放阀为－3.5～－7kPa。

呼吸阀的型式主要有弹簧式和重力式两种，前者的典型结构见图 7.7.2—6，后者见图 7.7.2—7。重力式高速透气阀的结构见图 7.7.2—8。

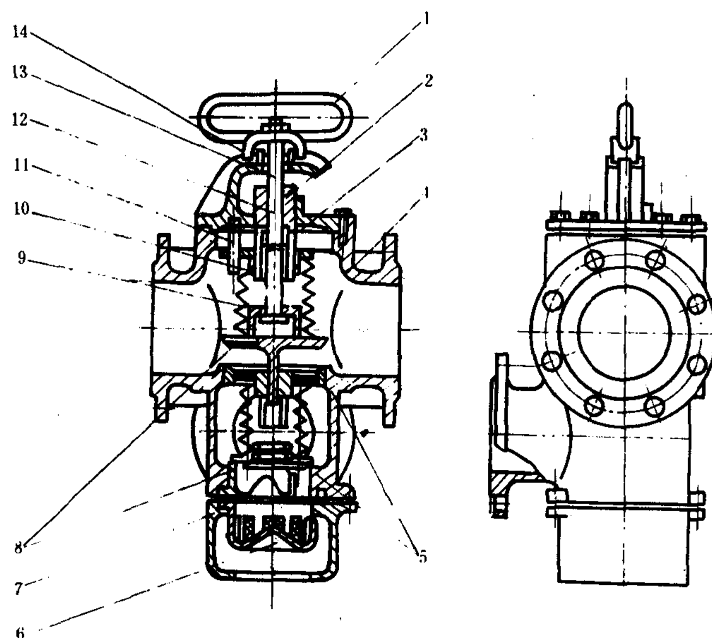


图 7.7.2—6 弹簧式呼吸阀

1—拉环；2—调节套；3—阀盖；4—阀体；5—阀座；6—阻火网；7—吸气口外罩；8—阀盘；9—弹簧；10—弹簧上盘；11—导杆；12—密封环；13—阀杆；14—衬套

弹簧式呼吸阀的特点是弹簧予紧度可以调节，因而便于调整压力设定值，但开启力不是恒值，随着弹簧变形量的增加而增大。重力式呼吸阀的压力设定值在制造后不能调整，当然可通

过更换重块来调整，但比较麻烦，然而它的开启力是恒值。

弹簧式和重力式呼吸阀只能用于在非装卸工况下因温度变化引起的舱内压力和真空释放。高速透气阀则不仅有因温度变化引起的压力和真空释放作用，还有在装卸工况下的大容量气体释放功能。

货油舱除气后，必须经检验取得《船舶可燃气体除气证书》，方可进船厂或靠港进行明火作业。关于油气清除和除气的检验标准、进入货油舱和明火作业等要求参见本卷第6篇第5章。

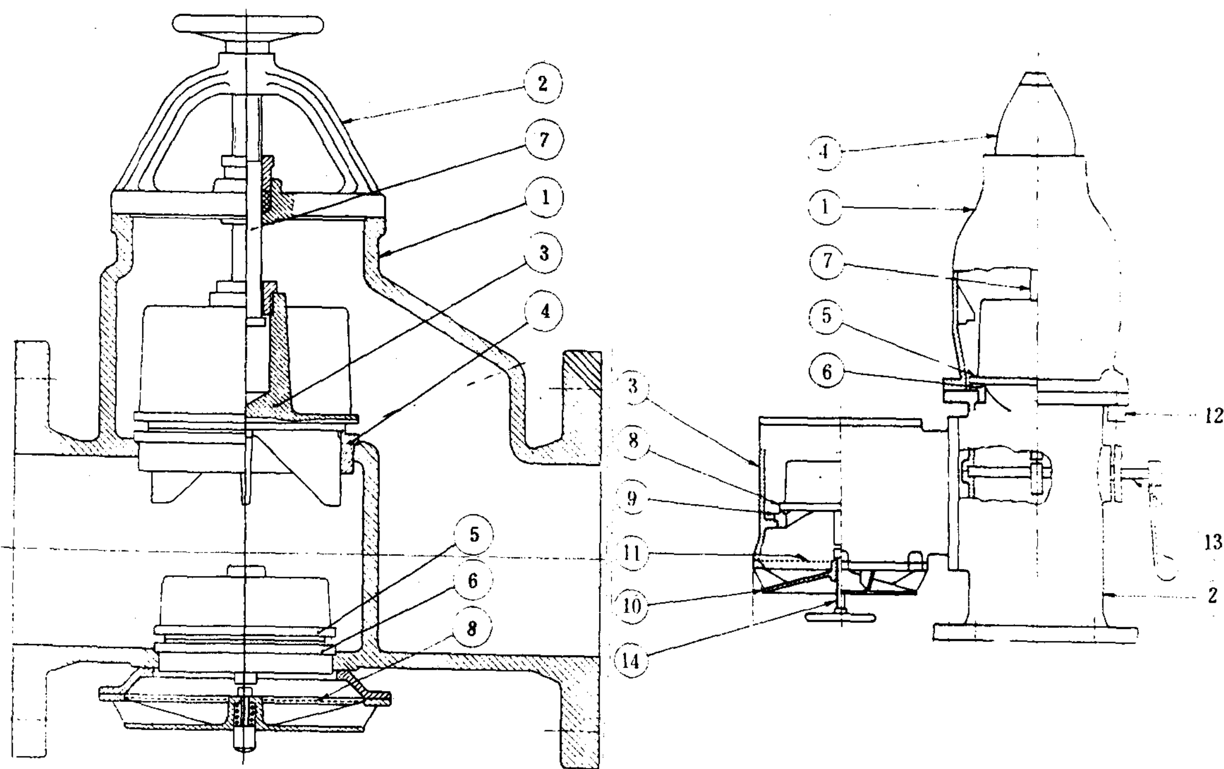


图 7.7.2—7　重力式呼吸阀
1—阀体；2—顶盖；3—压力释放阀；4—压力阀座；
5—真空释放阀；6—真空阀座；7—阀杆；8—阻火网

图 7.7.2—8　高速透气阀
1—上阀体；2—下阀体；3—真空阀体；4—阀顶端；
5—压力阀阀芯；6—压力阀座；7—杆；8—真空阀芯；9—真空阀座；
10—进气罩；11—阻火网；12—泄放塞；13—校验柄；14—校验柄

5　阻止火焰进入货油舱的装置

74安全公约规定透气系统必须装有阻止外界火焰进入货油舱的装置，且这种装置的设计、试验和安装应符合主管机关制订的各项要求。

目前有二种类型，机械式和高速阀式。机械式阻火装置的工作原理是不允许反应从一个区域向下一个区域传递，通过装置的金属将反应区域内的热量吸收掉，这种效应即称谓熄灭火焰效应。高速阀阻火装置建立在人为地在阻火装置内制造一个远高于火焰速度(约10m/s)的出口气流，使火焰不能进入受保护的区域。机械式阻火装置内的阻火结构有钢丝网、钢丝团、穿孔板、金属泡孔球、平列金属板条、粒状排列金属填床以及卷曲钢丝棒等，见图7.7.2—9。

金属网式阻火装置在油船上应用较多。装在透气桅管顶部的钢丝网式阻火装置结构见图7.7.2—10和图7.7.2—11，前者排气向下，后者排气向上。独立式透气系统的装油或压载水时排气口的网式阻火装置结构见图7.7.2—12。装在透气系统管道内网式阻火装置见图7.7.2—13。

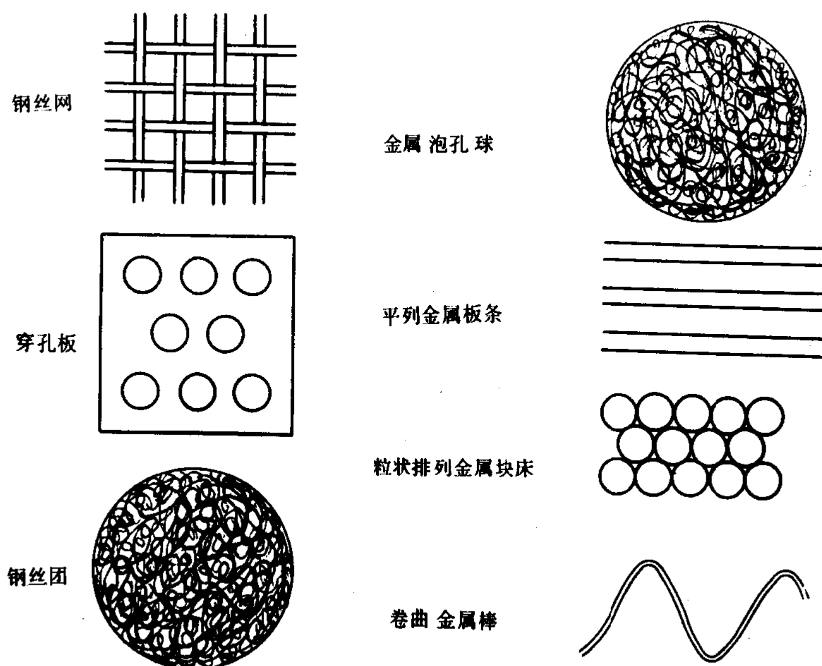


图 7.7.2—9　机械式阻火构件

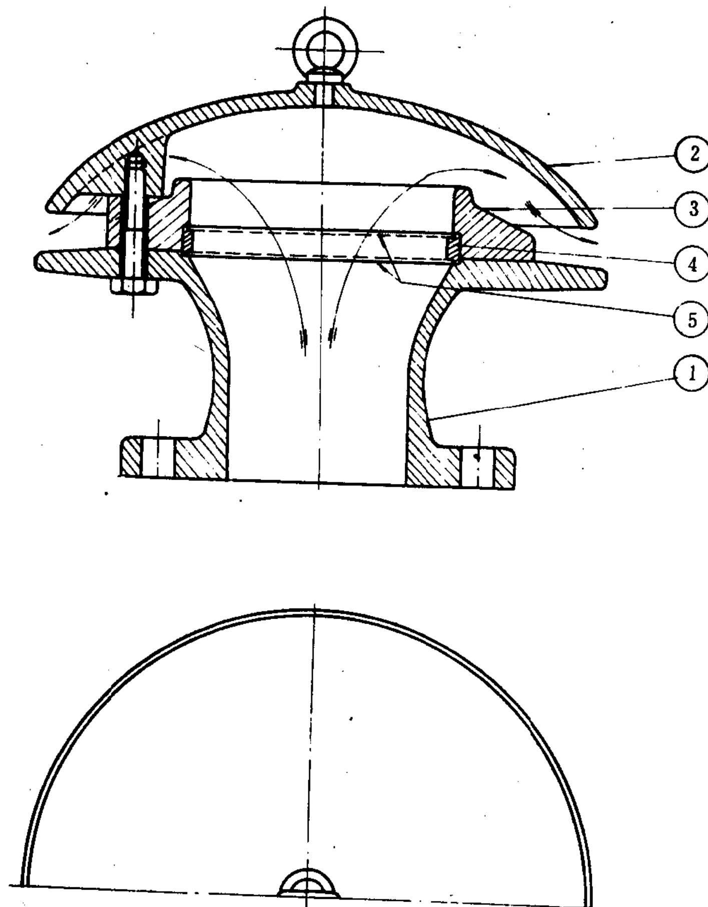
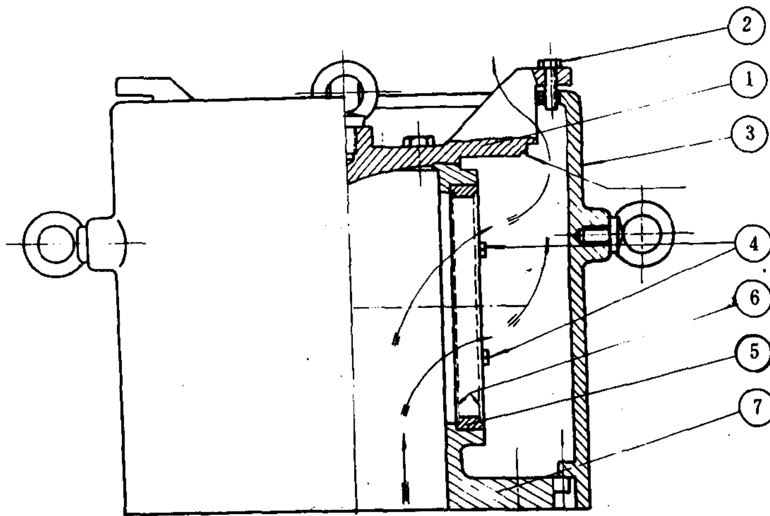
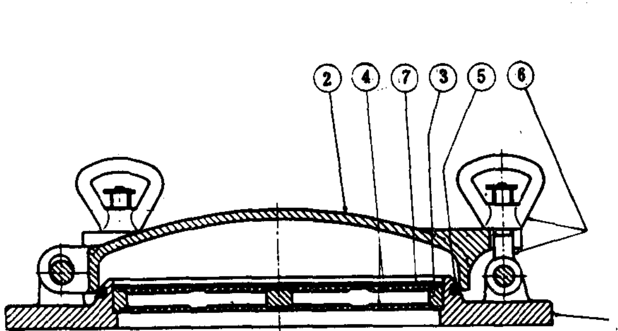
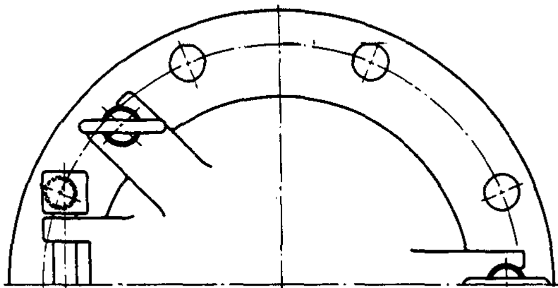


图 7.7.2—10　透气桅管顶部的网式阻火装置

1—本体；2—顶盖；3—喉颈法兰；4—网环；5—双层金属网







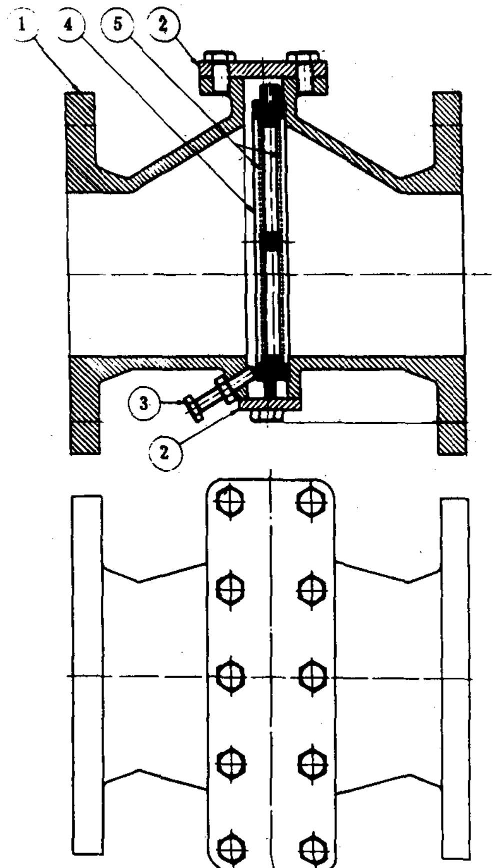


图 7.7.2—11　垂直上排式透气桅管顶部网式阻火装置

1—顶法兰；2—锁紧螺栓；3—本体；4—止动螺钉；5—网环；6—双层金属网；7—法兰体

图 7.7.2—12　独立式透气管用网式阻火装置

1—法兰；2—盖；3—网环；4—双层金属网；
5—填圈；6—锁紧机构；7—锁紧簧片

图 7.7.2—13　透气管道中的网式阻火装置

1—本体；2—盖；3—夹紧螺柱；4—网环；5—双层金属网

第 3 章　油船压载系统

1　油船压载和压载水排放要求

1.1　油船压载

油船卸油后，为了具备一定的适航性，离港时，货油舱内都载有一定容量的压载水，其容量多少，取决于货油舱的大小，压载航行途中的气象条件及港口当局的要求。此外还需留有35%～40%货油舱的容量，以备遇到恶劣天气情况时，可以在货油舱中加装额外压载水，以确保船舶的适航性。

1.2　压载系统

油船货油舱的压载系统，可采用清洁压载、专用压载、洗舱原油后的或任一货油舱作压载等方法，根据船舶吨位、建造年月及载运油种等条件而定，即应符合表 7.7.3—1 油船压载系统分类的规定。

表 7.7.3—1　　油船压载系统的分类

建造年月	载　重　吨　位	压载系统种类
新油船①	＜20000t 原油油船 及＜30000t 成品油船	以任一货油舱作压载
现有油船②	＜40000t 原油油船及成品油船	以任一货油舱作压载
新油船	＞20000t 原油油船 及＞30000t 成品油船	专用压载
现有油船	＞40000t 原油油船	专用压载或原油洗舱后的货油舱作压载
现有油船	＞40000t 成品油船	专用压载或清洁压载

①　新油船指：

(1) 在 1979 年 6 月 1 日以后签订建造合同的船；

(2) 无建造合同，在 1980 年 1 月 1 日以后安放龙骨或处于相应建造阶段的油船；

(3) 在 1982 年 6 月 1 日以后交船的油船。

②　现有油船：指不属于上述新油船范围的油船。

1.2.1　对系统管路和设备的要求

1)管子：

压载管都采用无缝钢管，一般都涂锌防腐。

2)阀件：

油船压载系统所用阀件大都位于舱内、管隧内或船员经常不易到达的地方；又与海水接触，因此选用时应使它能可靠工作，操作迅速、灵活、材料能耐腐蚀。过去一般都选用闸阀，但操作不够灵活，体积较大。近年来大都选用重量轻、体积小、操作方便的蝶阀作为油船压载系统的阀件。

3)膨胀接头：

压载水管路上根据需要应设置膨胀接头，其结构型式通常有：弯管式、滑动式、波型管式和填料函式膨胀接头，具体结构参见本卷第1篇和本篇第1章。

通过货油舱内的压载管不得设置滑动式膨胀接头。

4)压载泵：

一般都采用大容量离心泵，其排量和压头规格基本与货油泵一样，以利于维修保养和管理。但排量的确定还得取决于船舶在港的停泊时间。

原动机可以是汽轮机、柴油机或电动机。不管那一种，从安全考虑，都应装于安全区域的机舱内，传动轴通过隔舱壁，驱动位于泵舱内的离心泵。

如果系统设有压载水扫舱系统，一般可采用压载水喷射器扫舱。

1.2.2 布置要求

鉴于油船的特性，从防污考虑，对压载系统的布置，有以下特殊要求：

1)甲板排放汇集管：每艘油船在其开敞甲板上两舷都设有污压载水或油污水排至岸上接收设备的排放汇集管。有些油船借用其甲板上的输油管路，配上标准排放接头，代替甲板排放汇集管，这时必须在管路上装设放水旋塞。

2)舷旁出口管路的布置：为了更好监控排放入海的压载水或油污水，舷旁出口管路应通至开敞甲板或通至最大压载情况下水线以上的舷侧处。

3)舷外排放的分流观察装置：现有油船可在海上从水线以下排放污压载水和油污水，但必须把一部分水通过固定管路分流至上甲板或其上容易接近的部位，在那里可用视力观察排放情况。这种分流观察装置的设计、安装和操作规则应符合公约附则Ⅰ条款统一解释中的有关规定。

1.3 压载水排放要求

1.3.1 系统和设备要求

73/78 防污公约规定，除了享受免除条款外，凡150总吨以上的任何油船，都必须设有：

1) 符合公约要求的污油水舱，其总容量一般不小于船舶载油容量的3%；70000载重吨及以上的新油船，至少应设有二个污油水舱。

2)应设有经主管机关批准的排油监、控系统。

3)应备有经主管机关批准的有效的油/水界面探测仪。

1.3.2 排放要求

油船货油舱压载水的排放要求及排放程序应按表7.7.3—2及表7.7.3—3规定进行。

表 7.7.3 2　　**油船货舱区域排放压载水的要求**

排放区域		排放标准
特殊区域内[1]		不能排放，但清洁[2]和专用压载水除外
特殊区域外	距最近陆地 50nmile 以内	不能排放，但清洁和专用压载水除外
	距最近陆地 50nmile 以外	不能排放，除非符合下述条件： 1. 清洁或专用压载水；或 2. 如果 (1) 油船正在途中航行； (2) 油量瞬间排放率不超过 60L/nmile； (3) 排入海中的总油量，对于现有油船，不得超过这项残油所属的该种货油总量的 1/15000。对于新油船，不得超过这项残油所属的该种货油总量的 1/30000； (4) 油船所设符合公约第 15 条要求的排油监、控系统及污油水舱装置，正在运转

① 特殊区域是指地中海、黑海、波罗的海、红海和港湾区域，详细界限见公约附近则 1 第 10(1)条。

② 清结压载水的解释，详见公约附则 1 第 1(16)条关于清洁压载水的定义。

表 7.7.3-3　　**油船货油舱区域压载水的排放程序**

压载水的种类		排放压载水的地点和许可方法	水线以上的排放装置	水下排放(在港内或装油站)
专用压载水	NN[1] EN 船	(1) 在海上排放时：应进行水线以上的排放随后进行重力排放 (2) 在港内或装油站排放：可以在水线以下排放，但须检查证实水面确无油污	有要求[3]	允许
	EE[2]船	(1) 在海上排放时：可以在水线以下排放，但须检查证实水面确无油污[4]，随后进行重力排放。 (2) 在港内或装油站排放，可以在水线以下排放，但须检查证实水面确无油污	无要求	允许
污油水舱和货油舱内的脏压载水，包括原油洗舱油船的离港压载水	NN EN 船	仅限于在海上排放： (1) 初始时可以利用重力，通过海水箱进行排放(仅限于货油舱)，但必须用油/水界面仪进行探测和监控系统进行监控 (2) 随后应通过监控系统进行水线以上的排放	有要求	不允许
	EE 船	仅限于海上排放： (1) 初始时可以利用自重通过海水箱进行排放(仅限于货油舱)但必须用油/水界面仪进行探测和监控系统进行监控 (2) 随后应通过监控系统进行水线以上排 (3) 可以用通过海水箱排放的办法代替，但必须用油/水界面仪进行探测，监控系统进行监控以及分流系统处于工作状态	有要求	不允许

续上表

压载水的种类		排放压载水的地点和许可方法	水线以上的排放装置	水下排放(在港内或装油站)
清洁压载水或原油洗舱油船的到港压载水	EN[6] EE 船	(1)在海上排放时:利用重力通过海水箱进行排放,但须证实水面确实无油污并且随后可进行水线以上排放 (2)在港内或装油站排放,可以进行水线以下的排放但须用油分计进行监控[5]	有要求	允许

(1) NN船是指新油船、新船,EN船是指现有油船、新船。新油船,新船及现有油船的定义分别详见公约附则 I (26)、(6)及 I (27)条。

(2) EE船是指现有油船、现有船舶,其定义分别详见公约附则 I 第 1(27) I (7)条。

(3) 仅限于在港内或近海装油站排放专用或清洁压载水的油船,可以不设水线以上排放的装置。但对该种排放作业应在被批准的操作手册上加以说明。

(4) 仅限于要求改装水线以上排放的船舶。

(5) 一般来说,油分计不是用作监控清洁压载水或原油油船到港压载水排放的目的,然而对于公约附则 I 第 15 条述及的主管机关满意的排油监控系统是可以通用的。

(6) 对于设有专用压载舱和原油洗舱的 NN 船,不需要装设监控清洁压载水的油分计,因为专用压载水已包括新港压载水。

2 专用压载舱(SBT)及其系统

2.1 专用压载舱的设置

为了减少海洋不受污染的威胁,公约和防污规范都规定一定吨位的油船必须设置专用压载舱(见表 7.7.3—1)。专用压载舱是专门用来装载压载水的舱,具有独立的泵和管系,与货油舱管系完全分隔。

由于专用压载舱不用来装载货油,因此舱内不会有货油舱压载带来的油/水混合物,减少了操作性污染的危险。另外,由于专用压载舱的布置有保护位置(PL)的要求,因此即使出现搁浅或碰撞时,能为货油舱提供破损保护,可减少造成海洋污染的可能性。

专用压载舱的设置减少了清洗货油舱的操作劳动,方便船员管理,否则,在压载航行中船员要花一定的时间处理离港污压载水及清洗大约三分之一的货油舱。

虽然设置专用压载舱,减少了一部分运载的有效舱容,但带来不少优点,因此,即使公约没有要求设置专用压载舱的小吨位油船,亦有船东要求设置专用压载舱的。

2.2 公约及防污规范对专用压载舱及其系统的设计要求

2.2.1 专用压载舱容量的确定

除了因恶劣天气情况船长认为必须在货油舱中加装额外压载水以保证船舶的适航性外,专用压载舱容量应使油船在正常压载航行时,可以不依靠货油舱装载压载水而能安全航行。但在所有情况下,包括空载船的容量加装专用压载水和加装额外压载水等情况,专用压载舱的容量应至少能使船舶的吃水和吃水差在航程的任何区域,均应符合下列各项要求:

1)船中部型吃水 d_m(不考虑船体变形)应不小于：

$$d_m = 2.0 + 0.02Lm \quad (7.7.3—1)$$

式中：L——船长，m。

2)在首、尾垂线处的吃水应相应于上述的船中部吃水 d_m，且首尾吃水差在尾倾情况下不大于 0.015L。

3)尾垂线处的吃水，应足以将螺旋桨全部浸没水中。

货油舱内加装的额外压载水应按污压载水进行处理和排放，并将这情况记入油类记录簿。对于新原油油船，这种额外压载水只能装载在按公约规定要求，以原油清洗过的货油舱内。

2.2.2 船长不足 150m 油船专用压载舱的最小吃水深度的确定

根据理论研究和实践经验，并考虑到有关推进器露出水面、振动、拍击、失速等因素的变化程度，船长不足 150m 油船专用压载舱最小吃水深度，可选用下述公式进行计算：

1)以蒲式 5 级风力为基础：

(1)平均吃水(m)＝0.200＋0.032L (7.7.3—2)

(2)最大吃水差＝$(0.024-6\times10^{-5}L)L$ (7.7.3—3)

2)以 6 级浪(Sea6)(国际浪级表)为基础：

(1)最小首吃水(m)＝0.700＋0.0170L (7.7.3—4)

(2)最小尾吃水(m)＝2.300＋0.30L (7.7.3—5)

或

(3)最小平均吃水(m)＝1.550＋0.023L (7.7.3—6)

(4)最大吃水差＝1.600＋0.013L (7.7.3—7)

3)适合于长度较大的油船：

(1)最小前吃水(m)＝0.5000＋0.5225L (7.7.3—8)

(2)最小后吃水(m)＝2.0000＋0.0275L (7.7.3—9)

在公式(7.7.3—2)至(7.7.3—9)中，无论选用哪个公式，都应保证油船具有足够压载能力下安全航行。

2.2.3 专用压载舱保护位置

凡按表 7.7.3—1 规定必须设置专用压载舱的新油船，在货油舱长度(L_t)范围内，其专用压载舱及非油舱处所的布置应符合下述 2.2.3.1、2.2.3.2、2.2.3.3 要求，以保证万一在发生搁浅或碰撞时，能起到防止油类外流的保护作用。

1)在货油舱长度(L_t)范围内的专用压载舱及非油舱处所的布置要求：

专用压载舱及非油舱处所在货油舱区域内的位置，要考虑到能满足公式(7.7.3—10)的要求。

$$\Sigma PA_c + \Sigma PA_s \geq J[L_t(B+2D)] \quad (7.7.3—10)$$

式中：PA_c ——每一专用压载舱或非油舱处所按型尺度在舷侧的投影面积，m^2；

PA_s ——每一上述的舱或处所按型尺度在船底的投影面积，m^2；

L_t ——货油舱区域前、后端之间长度，m；

B ——船舶的最大宽度，m；对于金属船壳的船舶，在船中部测量至两舷肋骨型线，对船壳为任何其他材料的船舶，则在船中部测量至两舷船舶的外表面。

D ——在船中处从龙骨板上边量至干舷甲板船侧处横梁上边的垂直距离，m；对舷缘为圆弧形的船舶，型深应量至甲板型线与舷侧外板型线延伸的交点；型线延伸

就视为有交角的设计；

J —— 保护面积系数：

对 20000 载重吨的油船，取 0.45；

对 200000 载重吨及以上的油船，取 0.30，但尚可按 2.2.3.2 的规定，予以减小；载重吨为中间值时，J 值按内插法求得。

2）200000 载重吨及以上的油船，保护面积系数，允许按下列公式减少至 J_r 或为 0.2，取其大值。

$$J_r=\left[J-\left(a-\frac{O_c+O_s}{4O_A}\right)\right] \quad (7.7.3—11)$$

式中：a ＝0.25，适用于 200000 载重吨的油船；

＝0.40，适用于 300000 载重吨的油船；

＝0.50，适用于 420000 载重吨及以上的油船；

载重吨为中间值时，a 值按内插法求得；

O_c——舷侧破损时的假定流出油量，m^3（按 73/78 防污公约附则 I 第 23(1)(a)条计算）；

O_s——船底破损时的假定流出油量，m^3（按 73/78 防污公约附则 I 第 23(1)(b)条计算）；

O_A——允许的流出油量，按 73/78 防污公约附则 I 第 24(2)条规定，m^3。

3）专用压载舱和非油舱处所 PA_c 和 PA_s 值的确定：

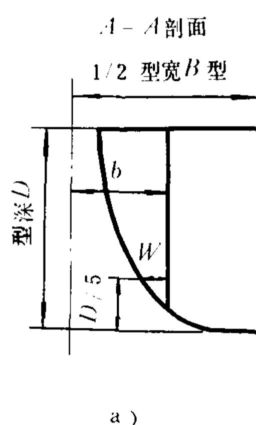
(1)具有船侧全深或具有从甲板至双层底内底板深度的每一边舱或处所的最小宽度应不小于 2m，如边舱或处所的最小宽度小于 2m 时，则该边舱或处所应不予计入保护面积“PA_c”；

(2)每一双层底舱或处所的最小垂直深度应为 B/15 或 2m；取其小者。如双层底深度小于此值时，则该双层底舱或处所应不予计入保护面积“PA_s”；

(3)船首尾、船中部的边舱、双层底舱的 PA_c、PA_s 的计算：

计量边舱和双层底舱最小宽度和深度时应不计入舭部；计量边舱的最小宽度时同样不计入圆弧形的舷缘部分。

图 7.7.3—1a)～h)表明了 PA_c 和 PA_s 的计算



a)

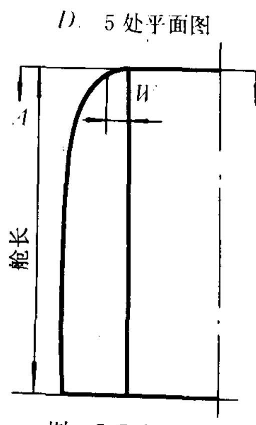


图 7.7.3—1

a)位于船首尾边舱的 PA_c 和 PA_s 的计算

如果 W 是 2m 或以上：

PA_c＝D×舱长×2*；

PA_s＝b×舱长×2*

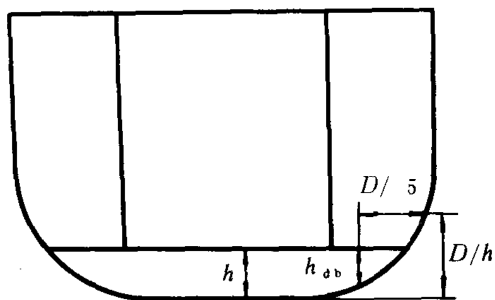
如果 W 小于 2m：

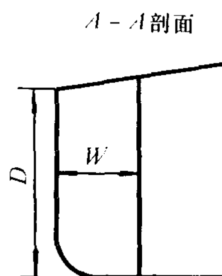
PA_c＝0；

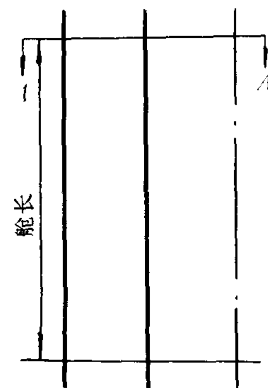
PA_s＝b×舱长×2*

---

* 包括左右两舷。







b）

c）

b)位于船首尾双层底舱的 PA_c 和 PA_s 的计算

如果沿全舱长的 h_{db} 是 2m 或 B/15 以上，取值小者：

$PA_c = h \times$ 双层底舱长 $\times 2$；

$PA_s = B \times$ 双层底舱长

如果 h_{db} 小于 2m 或 B/15，取值小者：

$PA_c = h \times$ 双层底舱长 $\times 2$；

$PA_s = 0$

c)位于船中部边舱的 PA_c 和 PA_s 的计算

如果 W 是 2m 或以上：

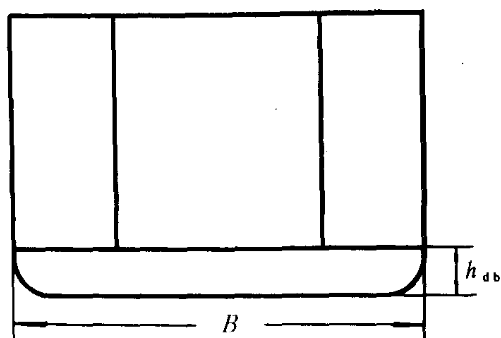
$PA_c = D \times$ 舱长 $\times 2^*$；

$PA_s = W \times$ 舱长 $\times 2^*$

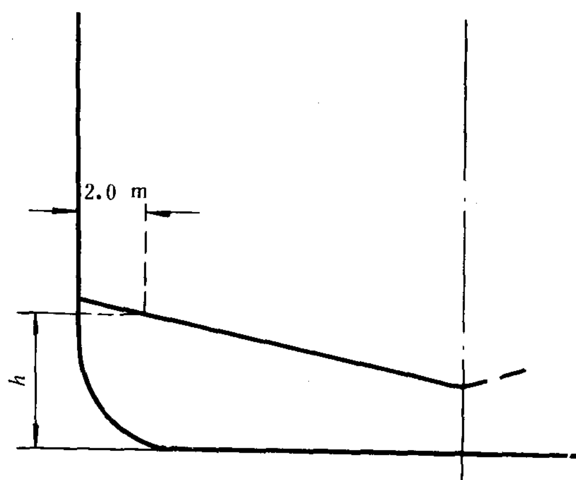
如果 W 小于 2m：

$PA_c = 0$；

$PA_s = W \times$ 舱长 $\times 2^*$



d）



e）

d)位于船中部双层底舱的 PA_c 和 PA_s 的计算

如果沿全舱长的 h_{db} 至少为 2m 或 B/15 以上，

取值小者：$PA_c = h_{db} \times$ 双层底舱长 $\times 2$；

$PA_s = B \times$ 双层底舱长

如果 h_{db} 小于 2m 或 B/15，取值小者：

$PA_c = h_{db} \times$ 双层底舱长 $\times 2$；

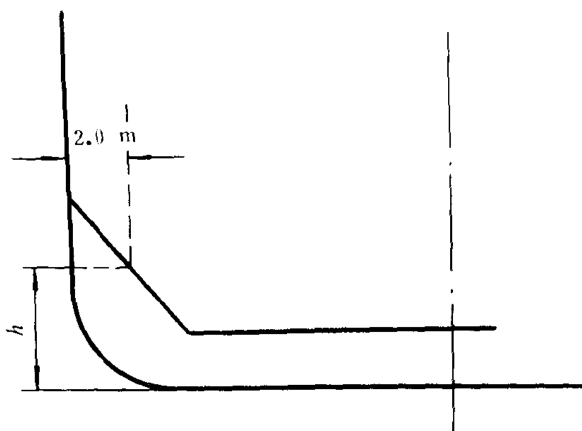
$PA_s = 0$

e)舱顶斜的双层底舱计算 PA_c 时 h 的量取(1)

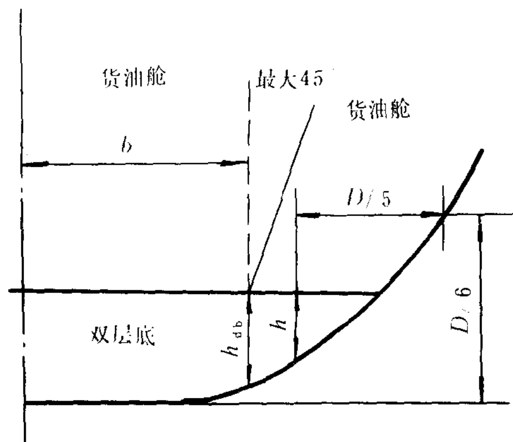
$PA_c = h \times$ 双层底舱长 $\times 2^*$

图　7.7.3－1

* 包括左右两舷。



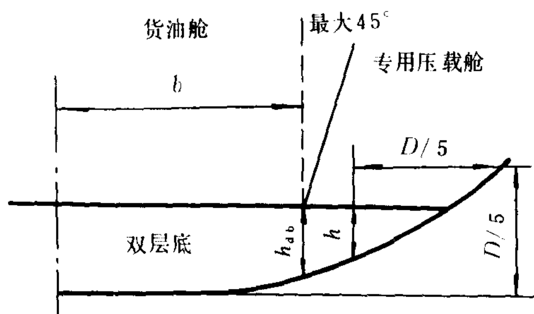
f)



g)

f)舱顶斜的双层底舱计算 PA_c 时 h 的量取(2)

$PA_c = h \times$ 双层底舱长 $\times 2$ *



h)

g)舭部无明显曲转的双层底舱的 PA_s 计算(当边舱是货油舱时)

如果沿全舱长的任何地方 h 小于 2m 或 B/15,取值小者,但是 h_{db} 沿舱全长的 2b 之内,至少为 2m 或 B/15,取值小者,则:$PA_s = 2b \times$ 双层底舱长

h)舭部无明显曲转的双层底舱的 PA_s 计算(当边舱是专用压载舱或空舱时)

如果沿全舱长的任何地方 h 小于 2m 或 B/15,取值小者,但是 h_{db} 沿舱全长的 2b 内至少为 2m 或 B/15,取值小者,则:$PA_s = B \times$ 双层底舱长

图 7.7.3—1 专用压载舱和非油舱处所 PA_c 和 PA_s 的计算

2.2.4 专用压载舱系统

专用压载舱系统由专用压载泵和独立压载管路组成的压载管路应与货油舱及燃油舱管系完全分隔。

图 7.7.3—2 为符合公约要求的专用压载系统布置图各舱共用一台专用压载泵。

从图中可见:

1)压载系统是与货油系统完全分隔的独立系统。

2)压载管路在货泵舱内通过活动短管与货油管路连接,作为应急排放之用,但须在专用压载管路的接管上装有截止阀,在货油管路的接管上装有止回阀和截止阀。平时活动短管放在指定的地方,并有永久性铭牌标明用处。

3)有部分专用压载管路通过货油舱,这部分管子的壁厚应至少为 16mm 的重型钢管,且应采用焊接或重型法兰接头,接头数量应尽量少。

---

* 包括左右两舷。

4)考虑到存在温差情况，在货油舱内的专用压载管都设有弯管或波纹管膨胀接头(图中未画出)。为严防污染，规范规定不得采用滑动式膨胀接头。

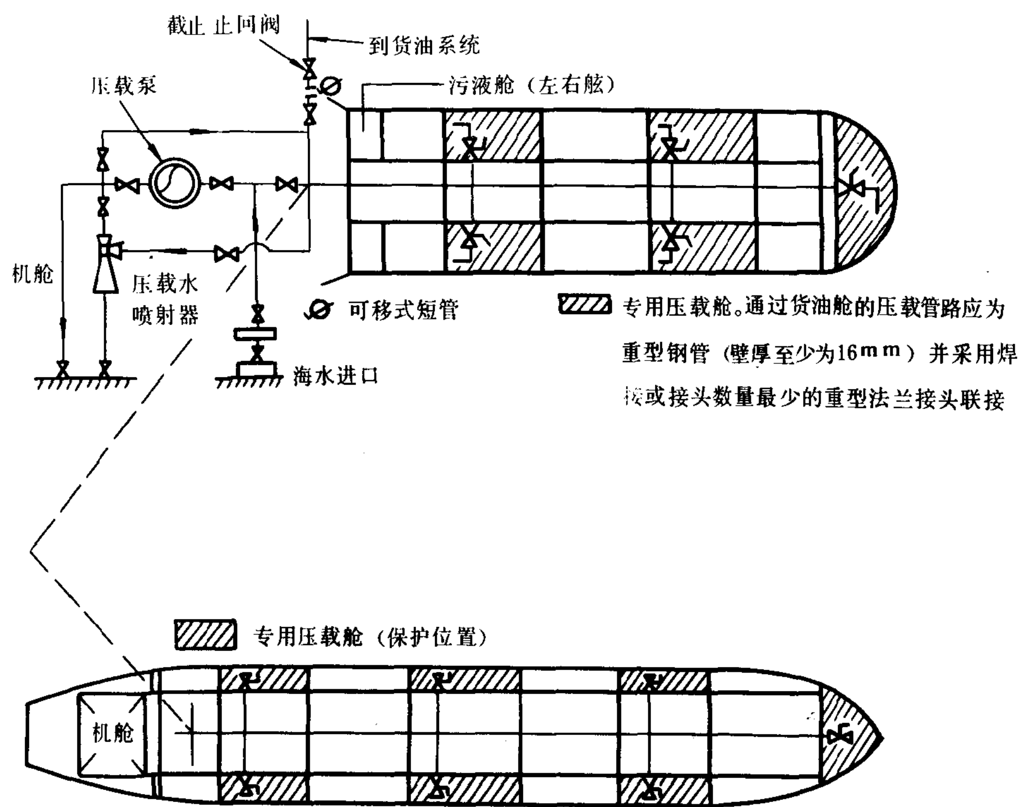


图 7.7.3 2 油船专用压载系统

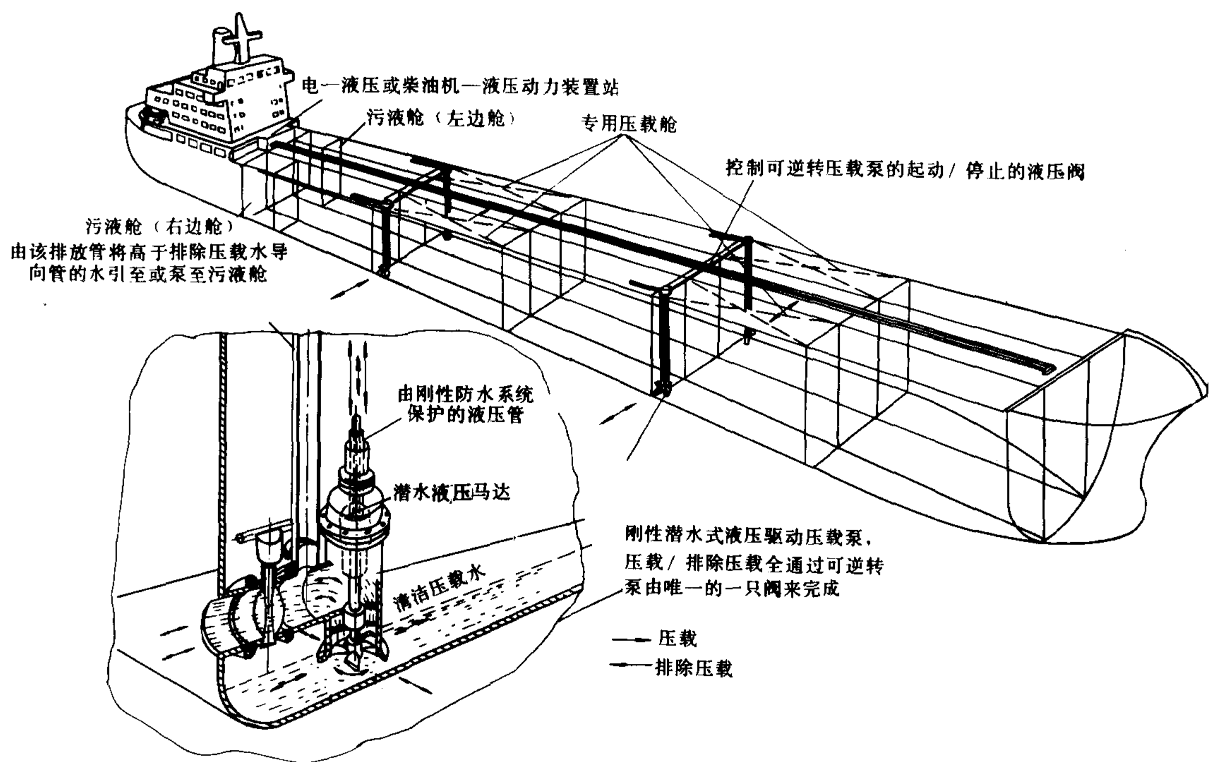


图 7.7.3 3 每舱配备一台潜水泵的专用压载系统

5)如尾隔离空舱是一个专用压载舱，则机舱内的压载泵可用作该压载舱的压载泵，但压载泵的吸入阀箱须直接吸自该压载舱，且不得与消防管路相通。如首隔离空舱是一个专用压载舱，则可使用首部泵舱内的压载泵，该泵也不得与消防管路连通。

图 7.7.3-3 为每舱各配一台潜水压载泵的专用压载系统。从图中可知：船舶的压载和排除压载都通过一台可逆转专用压载泵来完成。压载泵的起动、停止和运转方向由位于压载水总管上的液压阀控制，而液压阀则通过控制站遥控操作。

2.3 专用压载舱的操作和管理

专用压载舱压载及排除压载时，最主要的要保证船体强度的均匀，并应处在许可范围内。因此，需要制定一项专用压载舱的压载和排除压载的操作程序，以保证达到此要求。此外，为防止穿过货油舱区域的压载水管管壁腐蚀烂穿或是管子接头不密封，导至货油从此漏入压载水管内，当排除压载时，需观察排出水中是否含有大量油分。

3 清洁压载舱(CBT)和额外压载

3.1 清洁压载舱

实际上清洁压载舱是货油系统中的货油舱，不是一独立压载系统，只是经过清洗，达到规定的清洁程度，并在管路上设有双套截止阀，使货油不能泄入清洁压载舱内，而作为指定装载压载水的压载舱。

3.1.1 公约及防污规范对清洁压载舱的要求

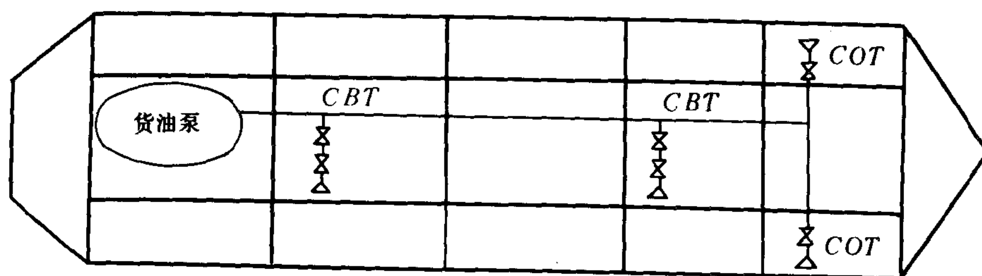


图 7.7.3-4 公用管路系统的清洁压载

CBT-清洁压载舱；COT-货油舱

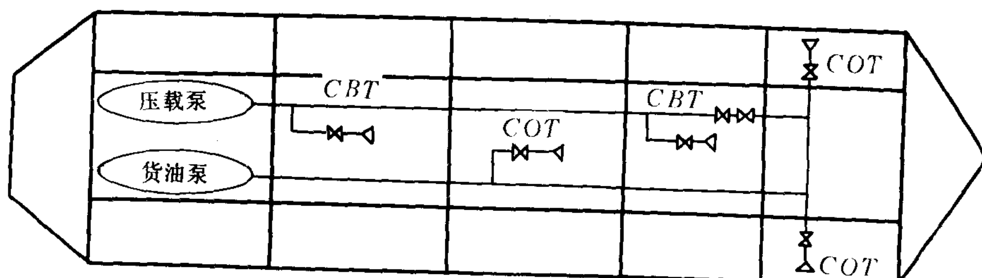


图 7.7.3-5 独立管路系统的清洁压载

CBT 清洁压载舱；COT-货油舱

7.7.3—4～6 为油船清洁压载系统图。其中图 7.7.3—4 为设有公用管路系统的清洁压载　　图 7.7.3—5 为设有独立管路系统的清洁压载舱，图 7.7.3—6 为清洁压载舱和专用压载舱联合布置的系统。图中的特点也正是公约和防污规范所要求的规定：

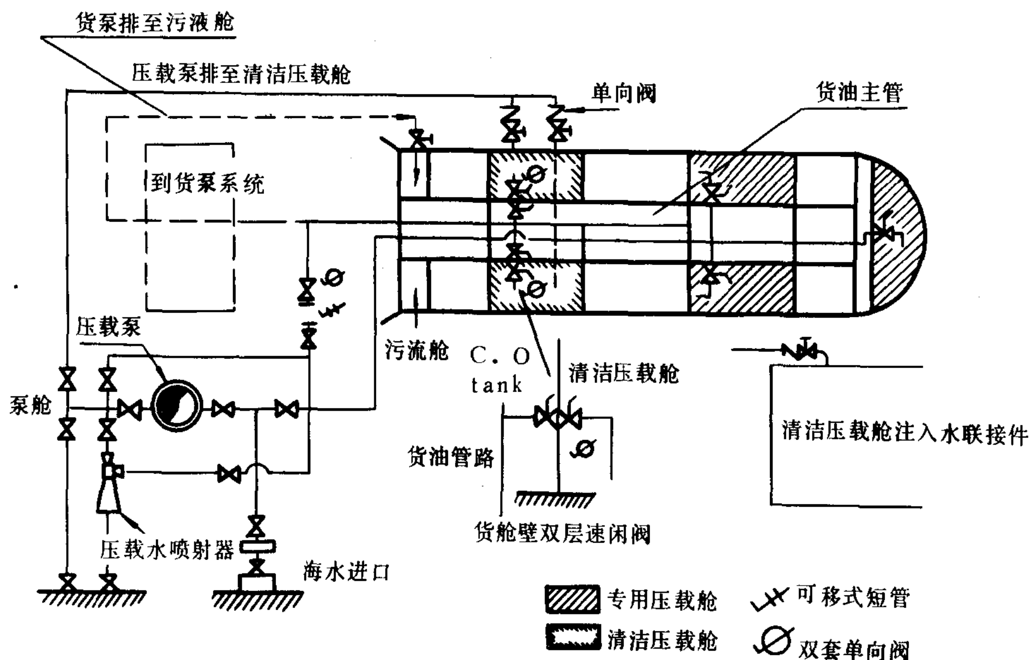


图 7.7.3—6　清洁压载舱和专用压载舱联合布置

1　压载泵；2—双套单向阀；3—可移式短管；4—污油水舱；5—单向阀；6—货油主管；7—压载水喷射泵

1)一般都选用边舱作为清洁压载舱，这有利于防止船舶破舱时造成的污染。但如果从船体应力、舱容或管系布置方面考虑表明选用中舱有利，因而也有选用中舱作清洁压载舱，但须经主管机关批准。

2)　选的清洁压载舱，尽可能不牵涉货油管路和泵系统。

3)每一清洁压载舱的管路上至少有双套阀门，使货油舱管系与清洁压载舱隔断。

除了上述特点外，公约和防污规范还要求：

1)选用的清洁压载舱，其舱容和吃水及吃水差应满足本章 2.2.1 要求。清洁压载舱的容量可以包括：

(1)专用压载舱；

(2)隔离空舱和首、尾尖舱。但这些舱只能用于装载压载水并有固定管路与压载泵连接。

2)输送清洁压载舱压载水的管系的布置应能用水冲洗管路并排入污油水舱内，并使管系冲洗时的含油污水不能进入任何清洁压载舱中；

3)应装有符合 IMO A.393(X)决议"关于油水分离设备和油分计国际性能和试验规程的建议案"，并采用经认可的油分计，以便对排放压载水中含油量进行监测；

4)备有一本符合 IMO A.495(XII)决议的"清洁压载舱操作手册"。

3.1.2　清洁压载舱的操作管理

为防止海洋污染，清洁压载舱的操作程序应记入经主管机关审批的操作手册，供船员遵守。清洁压载舱操作程序包括阀门操作和管路清洗的程序，也包括下列情况下进行压载及排放清洁压载水的特定操作程序：

1)到达装油港前和在装油港时；

2)离装油港后；

3)到达最后的卸油港前；

4)在最后的卸油港内时；

5)离最后的卸油港后。

无论那种特定操作程序，应该做到：

1)在压载、排放或转移清洁压载水前，所使用的泵和管路应以水冲洗。冲洗水不得进入清洁压载舱。

2)冲洗水应自海底阀或清洁压载舱吸入(取决于油船管路的布置)，通过清洁压载舱的泵和管路，然后排入污油水舱内。

3)如果部分管路的冲洗水必须来自清洁压载舱，则这些舱内冲洗水的最小数量，应大于冲洗管路容积的10倍，或者舱内有足够的水深，保证被冲洗的管路在清洁完毕前，吸入管路内的水不应混入空气。

4)在压载、排放或转驳清洁压载水之后，图7.7.3—4～6中所示的双套截止阀应关闭，管路应排干。

5)所有清洁压载舱向舷外排放压载水时，应以油分计监控。

6)任何清洁压载舱在压载前应检查有无因泄漏形成的碳氢气体存在。当压载舱内碳氢气体的浓度比爆炸下限高20%时，压载水绝不可以自由降落或飞溅的方式进入压载舱内。

7)在排放清洁压载舱的压载水之前和排放之际，应留心观察压载水，以确保没有被油污染。

3.2 额外压载

3.2.1 额外压载水加装的几种情况

1)在海况严酷的少数航次中，根据船长意见，可以在货油舱中加装额外压载水；

2)油类/散货两用船要求在门式起重机下装卸作业时；

3)油船需通过较低的桥梁时；

4)地方港口当局或运河规则具体要求安全航行吃水时。

3.2.2 额外压载水的处理

额外压载水应尽可能装在能控制日常沉淀或便于维护而经过原油清洗的舱内，避免装在未经清洗的油舱内。额外压载水应视作污压载水，并要遵守表7.7.3—2和经主管机关批准的清洁压载舱操作手册中所述程序进行排放。

4 排油监控系统

排油监控系统是自货油舱排放入水域的含油压载水或其它油污水的监测和控制系统。

根据73/78防污公约要求，油船压载水中油的瞬时排放率不得大于60L/nmile，排出油的总量不得超过上一航次所装货油总量的1/15000(现有油船)，或1/30000(新油船)。排油监控系统控制的主要指标是瞬时排放率 Q_D 及排油总量V。当监测到的瞬时排放率 Q_D 或排油总量V超过上述极限时，应立即停止含油压载水向舷外的排放。

瞬时排放率V可用下式表示：

$$Q_D=\frac{ppm\times Q}{v}\times 10^{-3}\qquad L/nmile\qquad (7.7.3—12)$$

排油总量 L 可用下式表示

$$V=\sum_{\tau_i=0}^{\tau} ppm_{\tau_i}^{\tau_i}(\tau)\cdot Q_{Ti}(\tau)\times 10^{-3}\qquad L\qquad (7.7.3—13)$$

式中：ppm —— 含油压载水中的油份浓度，mg/L；

Q —— 排出含油压载水的流量，m^3/h；

υ —— 航速，kn；

τ —— 为排放含油压载水的累计时间，h。

分析以上公式可知，对油船排出压载水中的含油量进行控制，必需测出含油压载水中的油份浓度 ppm 值、压载水每小时的排出量 Q、船舶航速 v 和累计时间 τ。然后再由算出瞬时排放率 QD 和排油总量 V。当超标时，监控计算机应能发出信号和警报。发出的信号能及时关闭含油压载水排出舷外的阀，同时打开排入污油舱的阀，使含油压载水回流到污油舱中。装置等组成。

4.1　73/78 防污公约的要求

凡 150 总吨以上的油船，包括新油船和现有油船，都必须配备符合 IMOA.393(X)、A.496(X11)或 A.586(14)决议规定的排油监、控系统(但航行于某些有限航区，享受免除条款的油船除外)。但由于船舶的尺度、建造日期及监、控系统的装船日期不同，对压载水排油监、控系统的功能和试验要求亦有所差异。表 7.7.3—4 表示根据船舶尺度、建造日期及系统安装日期，选用合适的监、控系统的规定。

表 7.7.3—4　**选用监控系统的规定**

船舶吨位	建造日期	监控系统装船日期	控制系统	起动连锁装置	舷外排放控制装置	性能和试验技术条件	备注
4000 载重吨及以上	1986.10.2 以后新油船	1986.10.2 以后	控制装置	要求	要求	A.586(14)[①]	
150～4000 载重吨	1986.10.2 以后新油船	1986.10.2 以后	计算装置	不要求	人工驱动	A.586(14)	
4000 载重吨及以上	新船	1982.6.1 以后	控置装置	要求	要求	A.393(X)[②]	
4000 载重吨及以上	新船	1982.6.1 以前	计算装置	不要求	不要求	A.393(X)	
150～4000 载重吨	新船	1982.6.1 以后	计算装置	不要求	不要求	A.393(X)	
20000 载重吨及以上	现有船舶	1984.10.2～1986.10.2	计算装置	要求	不要求	A.393(X)	
20000 载重吨及以上	现有船舶	1983.10.2～1984.10.2	计算装置	不要求	不要求	A.393(X)	
150～20000 载重吨	现有船舶	1984.10.2～1986.10.2	运算装置	不要求	不要求	A.393(X)	
15～20000 载重吨	现有船舶	1983.10.2～1984.10.2	运算装置	不要求	不要求	A.393(X)	排油量允许用人工计算

① A.586(14)为国际海事组织(IMO)第 14 届全体大会通过的第 586 号决议案。以下②为第 10 届大会通过的 393 号决议案。其它可类推。

表 7.7.3-4 中所指的控制装置、计算装置和运算装置是 73/78 防污公约中的特定定义，其要求如下。

4.1.1 控制装置有以下要求：

1)能接收下列自动信号：

(1)油分浓度；

(2)排出物流量率；

(3)船舶航速；

(4)日期和时间(格林威治)；

(5)排放阀的位置(开启和关闭)。

2)能进行下列各项自动记录：

(1)油类瞬时排放率 (L/nmile)；

(2)瞬时含油量 (mg/L)；

(3)油类排放总量(m^3 或 L)；

(4)日期和时间(格林威治)；

(5)船舶航速 (kn)；

(6)排放阀位置 (开启或关闭)；

(7)油类选择器调节 (如设有)；

(8)报警情况；

(9)故障 (不流通，故障等)；

(10)越控动作 (例如手动越控、冲洗、校准等)；

(11)排出物流量率。

3)在监、控系统未完全投入工作前，应备有防止舷外排放阀打开的"起动连锁装置"。

4)应备有自动停止向舷外排放的"排放阀控制装置"。

4.1.2 计算装置有以下要求：

1)能接收下列自动信号：

(1)油分浓度；

(2)日期和时间 (格林威治)。

2)能接收下列人工输入的信息：

(1)排放阀的位置；

(2)排放物流量率；

(3)船舶航速。

3)能进行下列各项自动记录：

(1)油类瞬时排放率 (L/nmile)；

(2)瞬时含油量 (mg/L)；

(3)油类排放总量 (m^3 或 L)；

(4)日期和时间 (格林威治)；

(5)船舶航速 (kn)；

(6)排放阀位置 (开启或关闭)；

(7)油类选择器调节 (如设有)；

(8)报警情况；

(9)故障（不流通，故障等）；

(10)越控动作(例如手动越控、冲洗、校准等)；

(11)排出物流量率。

4)不要求设置起动连锁装置，且舷外排放装置可以人工驱动。

4.1.3 运算装置有以下要求：

1)能接收下列自动信号：

(1)瞬时含油量（mg/L)；

(2)油类瞬时排放率（L/nmile)；

(3)船舶航速（kn)。

排放率和船舶航速可以人工输入运算装置。

2)能自动进行含油量的记录。日期和时间，油类瞬时排放率以及油类排放总量可以人工记录。

3)能显示：

(1)油类瞬时排放率；

(2)油类排放总量(但允许人工运算者除外)。

4)不要求设置起动连锁装置和舷外排放装置。

4.2 产品型号

目前，船上安装使用的排油监、控系统，以瑞典、法国、日本、美国等国的产品较多。由于国际海事组织于1985年11月通过了A.586(14)“经修订的油船排油监、控系统导则和规程”的大会决议案，规定凡1986年10月2日以后建造的新油船，船上安装的排油监、控系统必须符合A.586(14)的规定，即增加悬浮杂质和受搅拌干扰的含油污水对油分计性能影响的试验。为此，许多国家的厂商进行新产品开发，形成所谓第二代的排油监、控系统产品(以区别于符合A.393(X)试验规程的第一代产品)。表7.7.3—5列出了这些国家生产的第一、第二代排油监控系统的产品型号供参考。

表7.7.3—5 **国外生产的排油监控系统型号**

型号	制造厂	生产国	监控系统类别	试验规程
OTM－17X	SASAKURA	日本	A	A.393
OTM－17XA	SASAKURA	日本	A	A.393
OTM－18	SASAKURA	日本	A	A.586
ODM－1300	TOKYOKEIKI	日本	A	A.393
MK－V	FACET	美国	A、B	A.393
MARK－IX	FACET	美国	A、B	A.586
ODMES663MKII	SERES	法国	A.B	A.586
MARPOIL	CONSILIUM MARINE	瑞典	A、B	A.586
SALWICO	CONSILIUM MARINE	瑞典	A、B	A.393

4.3 排油监控系统的组成

排油监控系统由油份浓度计、流量计、航速计、时钟、计算中心和控制装置等组成。

油份浓度计的工作原理及型式参见本卷第3篇第4章有关的内容。流量计通常均采用孔板式流量计。航速均直接接受船舶驾驶台的航速仪输来的信号。以上三种信号分别输入计算

中心。在计算中心中有时间计数器。根据这些信号通过计算即可输出并记录瞬时排放率和排油总量，并根据是否超标发出信号来控制排出阀的开关。

图 7.7.3—7 所示为一般排油监控系统的组成原理图。当前世界各国生产的排油监控系统虽各有差别，但基本组成系统相似。

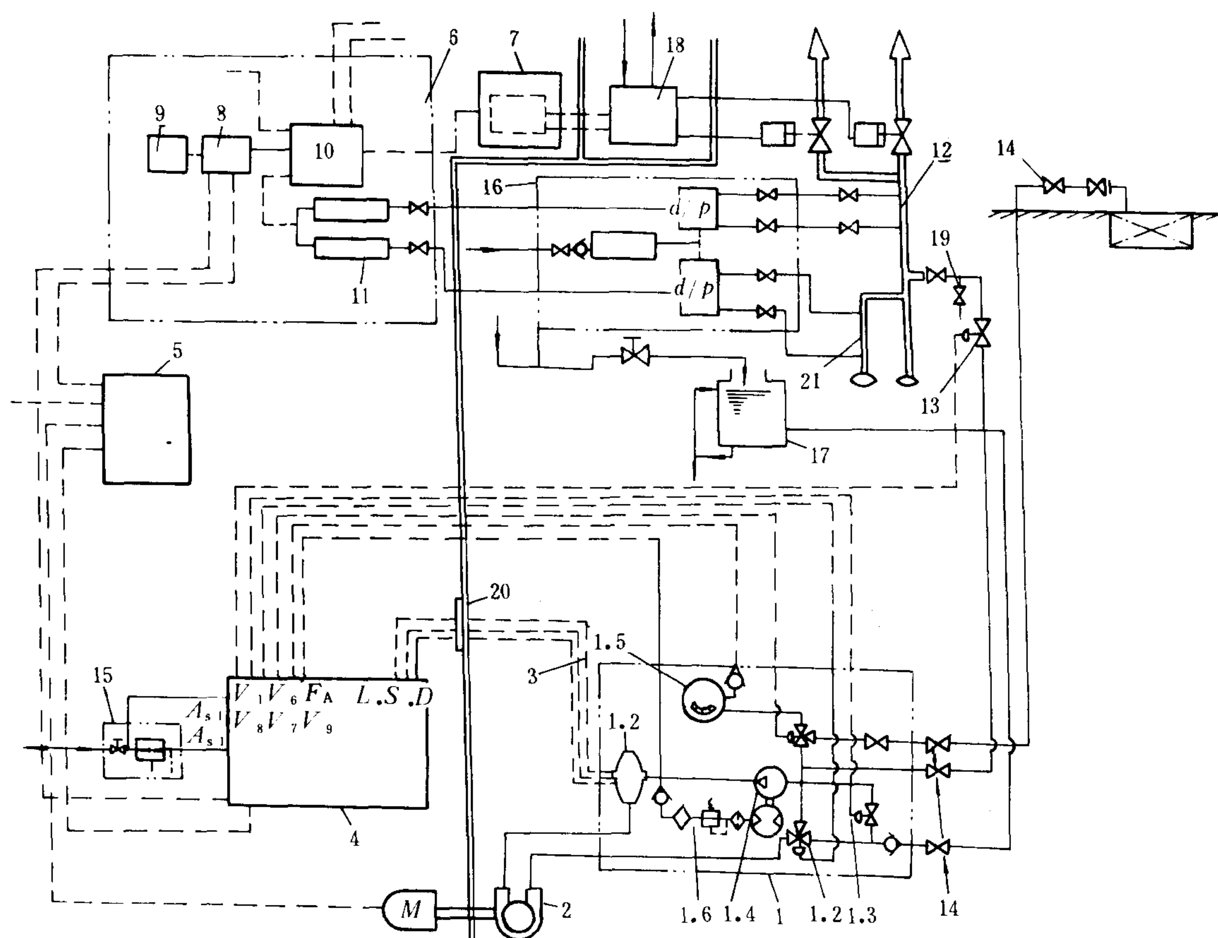


图 7.7.3—7 排油监控系统组成原理图

1—油份浓度计；2—取样泵；3—光导纤维线；4—光电转换和气动信号控制箱；5—接线箱；6—计算中心和控制箱；7—电液转换箱；8—油份浓度显示和信号转换；9—显示记录器；10—中心计算控制器；11—压/电转换装置；12—主孔板流量计；13—取样阀；14—取样水回水阀；15—调节阀；16—压差/压力转换器；17—清洁水箱；18—液压控制阀箱；19—取样头；20—隔绝板；21—孔板流量计

如图所示，油份浓度计、取样泵、流量计等部件均置于货泵舱中。为了防止货油泵舱中产生任何电火花，所以取样泵的电动机、油份浓度计测量用的信号源均置于机舱。流量计测得的压差信号在货泵舱中仅只转换成气动压力信号，输到油控室后再转换成电信号输入计算中心。计算中心和控制箱以及电液转换箱、液压控制阀箱等部件均置放在油控室中。光电转换和气动信号控制箱、接线箱和取样泵电动机则置于机舱中。

第4章 油船惰性气体系统

1 惰性气体系统类型

油船为防止货油舱燃烧爆炸，最可靠的方法是使货油舱惰性化，即向舱内充注惰性气体，使舱内混合气体状态处于不能燃爆范围。向舱内充注的惰性气体，可由两种方式获得，一是利用锅炉或柴油机排气的“烟气”式，另一是利用专门产生惰性气体的“发生装置”式。一些特殊用途的油船，则将两者串联使用，形成“组合式”惰性气体系统。

1.1 烟气式惰性气体系统

系统的工作流程如图7.7.4—1所示。

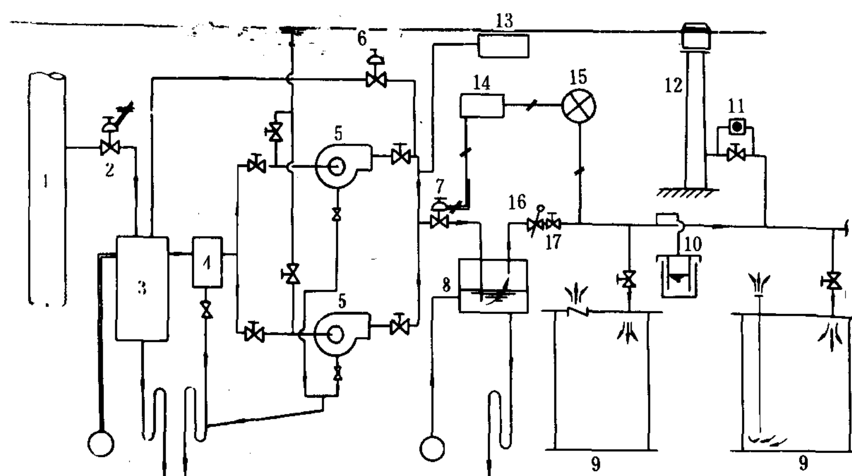


图7.7.4—1 烟道气式惰性气体系统

1—锅炉烟道；2—烟气抽气阀；3—洗涤塔；4—除湿器；5—风机；6—循环阀；7—控制阀；8—甲板水封；9—货油舱；10—压力/真空安全装置；11—呼吸阀；12—透气桅；13—氧气分析仪；14—控制箱；15—压力变送器；16—单向阀；17—主截止阀

这系统主要由以下部件组成：

1)烟气抽气阀控制烟道的取气；

2)洗涤塔冷却净化烟气；

3)除湿器去除惰性气体中的水分；

4)鼓风机向货油舱输送惰性气体；

5)甲板水封装置防止油舱内可燃气体的逆流；

6)压力/真空安全装置防止油舱及管路超正压或超负压；

7)氧气分析仪测定进舱惰性气体含氧量；

8)各种控制阀。

烟气式惰性气体系统，供气量大、含氧量一般在4%以下，不需额外消耗燃料、成本低、经济性高。其缺点是：由于锅炉燃烧低质燃料，使惰气中含有较多的二氧化硫和烟尘等杂质，又含

氧量受锅炉负荷变化的影响较大，在低负荷时由于锅炉燃烧超过规定标准的过量空气，使烟气含氧量增加。因此，为降低含氧量，不得不增加锅炉负荷引起消耗燃料增多并要妥善处理多余蒸汽。

原油船和一般的成品油船都采用这种方式。

1.2 发生装置式惰性气体系统

利用专门的燃烧器燃烧柴油，产生的燃气经洗涤塔冷却、脱硫、除尘和除湿，而后得到高质量的惰性气体。其系统如图 7.7.4—2 所示。

这种系统所产生的惰性气体，含氧量低、最低可达 0.1%、二氧化硫少、烟尘少。缺点是需额外消耗燃料，经济性差。并要设置专门燃烧室、燃烧泵、燃料柜等设备，造价高。因此，主要用于对惰性气体质量要求较高的运输液化石油气或天然气的船舶，或没有大锅炉装置的成品油船以及一些石油——矿石兼用船。

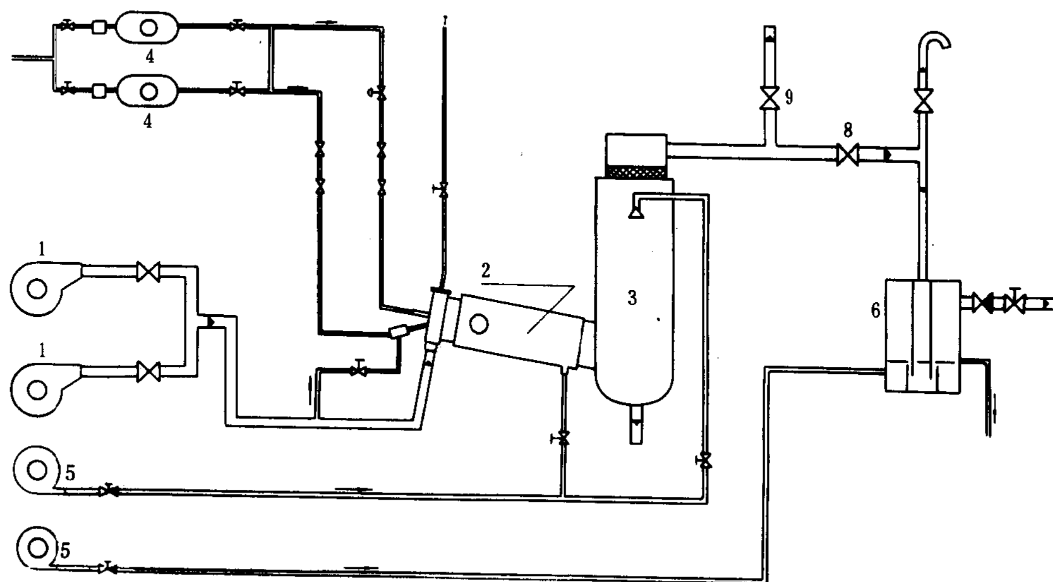


图 7.7.4—2 发生装置式惰性气体系统

1—风机；2—燃烧室；3—洗涤塔；4—燃油泵；5—冷却水泵；6—甲板水封；7—水封水泵；8—控制阀；9—排空阀

1.3 "组合式"惰性气体系统

这装置是发生装置式惰性气体系统的改进式，将含氧量大于 5%的柴油机或辅锅炉的排气在燃烧室中进行再燃烧，产生的含氧量小于 5%的惰性气体。其一方式的工作流程如图 7.7.4—3 所示。该系统的烟气再燃烧在正压下进行，另一方式烟气在负压下进行再燃烧，因此系统无予冷却器。

这种装置与单纯的发生装置式系统比较，主要优点是可节省燃料，如以 5%含氧量为基准，利用含氧量为 13%的柴油机排气进行再燃烧，则在再燃烧室中的降氧量为 8%，故可节省燃料 50%左右。

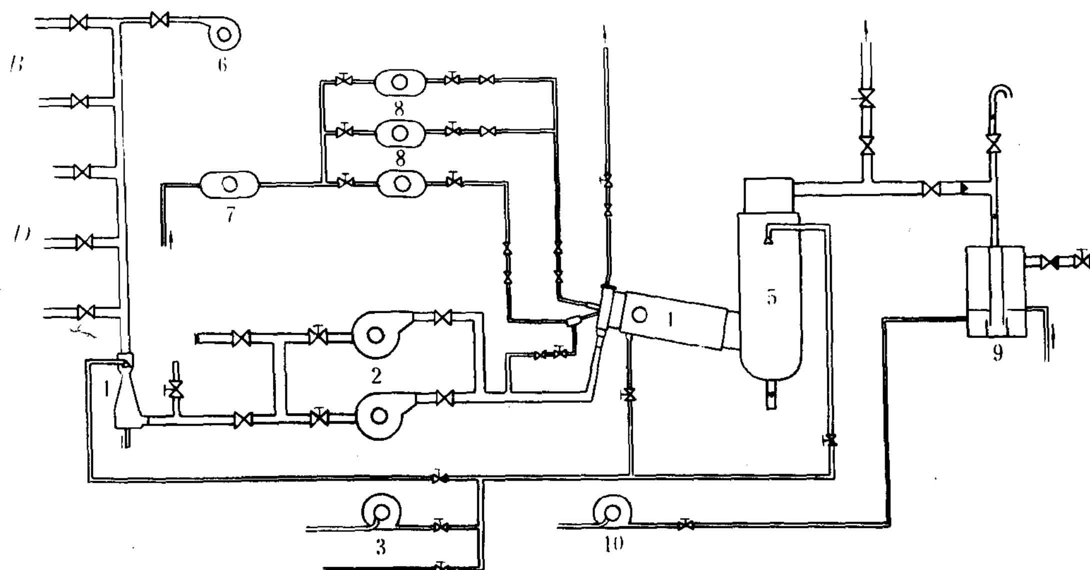


图 7.7.4—3 "组合式"惰性气体系统

1—预冷却器；2—风机；3—冷却水泵；4—燃烧室；5—洗涤塔；6—密封空气风机；7—燃油输送泵；8—燃油泵；9—甲板水封；10—甲板水封水泵；B—锅炉烟气；D—柴油发电机排气

1.4 各类惰性气体产生的气体成分

各类惰性气体系统的气体成分列于表 7.7.4—1。

表 7.7.4—1 **惰性气体成分**

类型 / 数量 / 成分	烟气式	发生装置式	组合式
氮（体积%）	其余	其余	其余
二氧化硫	0.03%	100mg/L	350mg/L
氧（体积%）	4	0.5	2
二氧化碳（体积%）	13.5	15	14
水蒸气（体积%）	饱和	饱和	饱和
[illegible]（mg/m³）	0～15	测定值	测定值

2 烟气式惰性气体系统的主要设备

2.1 烟气抽气阀

烟气抽气阀是一可从控制室遥控的截止阀，这阀装在锅炉烟道烟气抽出口与洗涤塔之间的抽气管路上，工作环境恶劣，长期在高温烟气冲刷条件下工作，阀座容易结尘，可能引起阀关闭不严，或者在关闭状态下粘住不能开，阀盘可能由于高温烟气冲刷而产生变形。因此，对烟气抽气阀要特别注意检修保养，一般在这阀的连接管路上都接入蒸汽冲洗管，需要时，对阀进行冲洗。另外还接入空气密封管，当抽气阀处于关闭状态时，由锅炉鼓风机或密封空气机通过空

气风密封阀向抽气管供气，使抽气阀冷却和阻止烟气进入抽气管。

2.2 洗 涤 塔

洗涤塔的功用是冷却、脱硫、除尘。

2.2.1 冷却

在洗涤塔内应尽量使烟气温度降低到接近冷却海水的温度，一般要求，洗涤塔出口气体温度比冷却海水温度高2～5℃。

2.2.2 脱硫

为尽可能去除烟气中硫的氧化物(SO_2,SO_3)，一般要求洗涤塔脱硫率应为90%～95%。为防止船体腐蚀，还希望再高一点。因此，现在有的洗涤塔脱硫率可达98%以上。

2.2.3 除尘

烟气中的烟尘等固体杂质应尽量去除，一般要求除尘率在90%以上。

脱硫、除尘是通过气体与液体相接触，使气体中可溶解物质溶解在液体中的吸收过程。除尘也可通过烟尘和液滴相接触而被去除。为提高吸收率和除尘率，首先必须使气体与液体有尽量大的接触面积，或者相反使液体形成液滴或液膜状分散在气体中。其次是气体与液体的相对速度越大越好，应尽量保持连续高速气流，且逆流比顺流效果较好，它能使气体和液体两相界膜厚度很薄，造成气液两相十分混乱的结构。

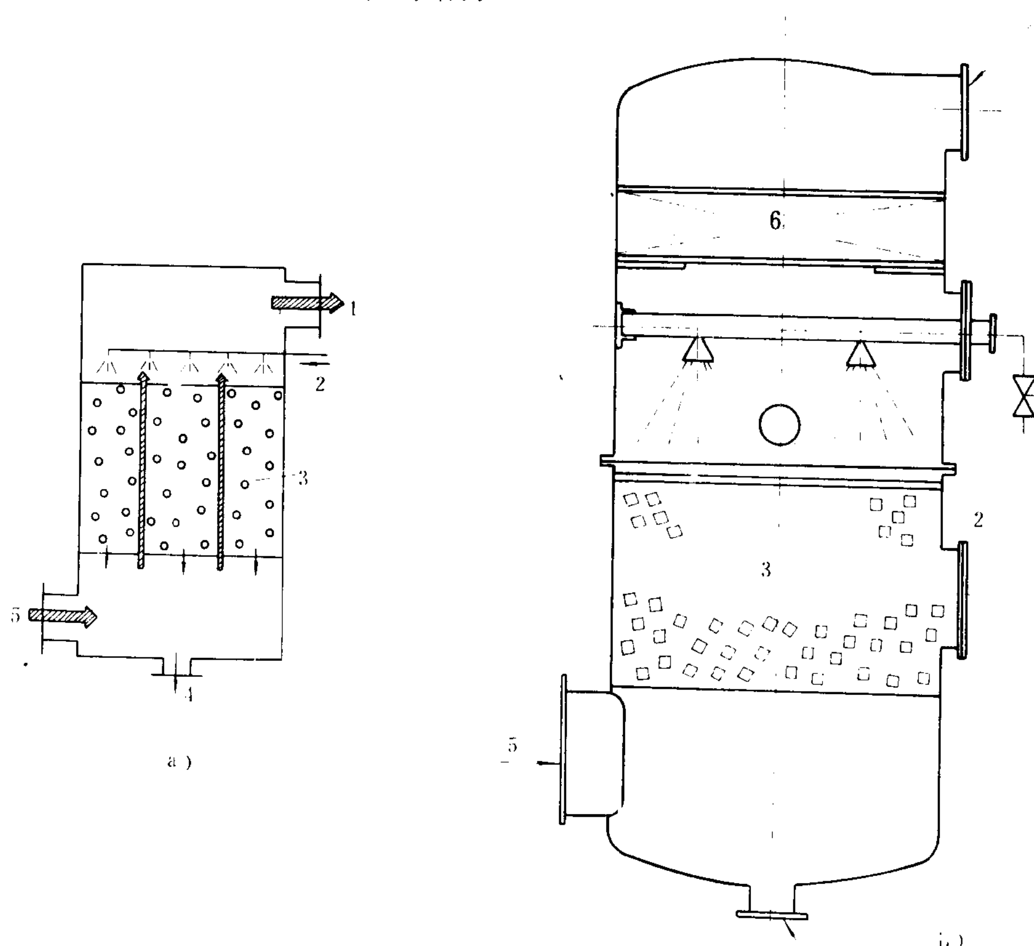


图7.7.4—4 填充式洗涤塔

a)原理图;b)结构图

1 气体出口;2 海水进口;3 填充物;4 泄水口;5 气体进口;6 除湿器

船用洗涤塔有两种型式，一是填充式洗涤塔，另一是喷雾式洗涤塔。

(1)填充式洗涤塔：在塔内装入填充物，从上部以薄膜状均匀喷淋的海水，沿填充物表面向下流动，与经填充物间隙上升的气体相接触，达到冷却、脱硫、除尘目的。其结构如图7.7.4—4所示。塔内的填充物可以是瓷球环、聚丙烯球体、玻璃纤维增强的塑料菱形棒、聚丙烯空心球、石英颗粒以及聚丙烯网等。

(2)喷雾式洗涤塔：是将海水在文丘里管内喷出，形成雾状水滴，增大海水与高温气体的接触面，提高冷却和净化效果。这种型式多数与填充式组合使用，图7.7.4—5所示是文丘里管式和填充式组合的洗涤塔结构。喷雾式的另一种结构是文丘里网状填料和空心喷淋室的组合结构。

在洗涤塔烟气进口处设置水封，在装置不送气时可防止气体通过抽气阀的阀座间隙进入洗涤塔。为防止腐蚀，洗涤塔内壁都衬有硫化硬橡胶层，因此，塔内温度不能过高，气体在洗涤塔进口处，一定要充分冷却，使高温烟气温度降到安全值以下，避免损坏塔的内衬及其它部件。此外当人员进塔检修时，应防止烟气进塔内损害检修人员的安全和健康。

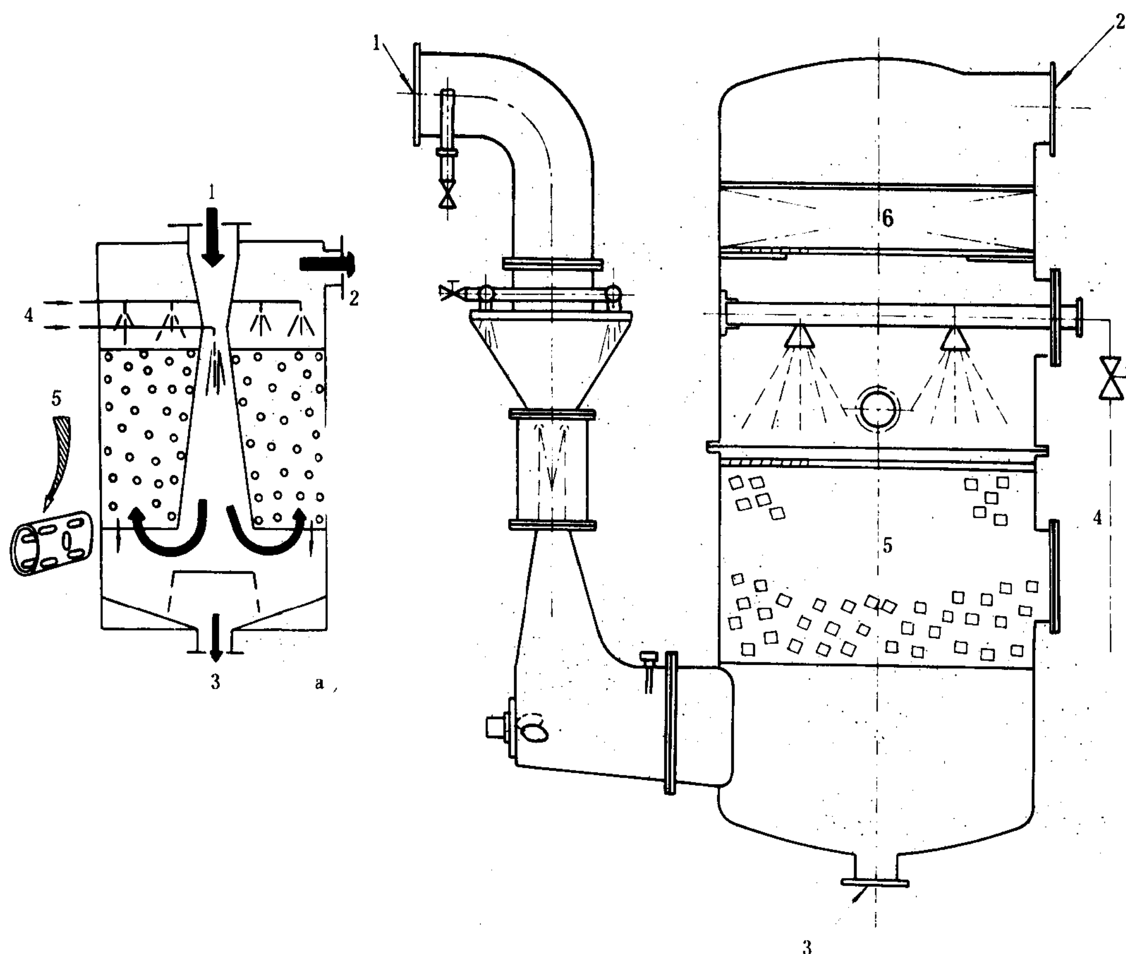


图7.7.4—5 文丘里管式洗涤塔

a)工作原理；b)构造

1—气体进口；2—气体出口；3—泄水口；4—海水进口；5—填充物；6—除湿器

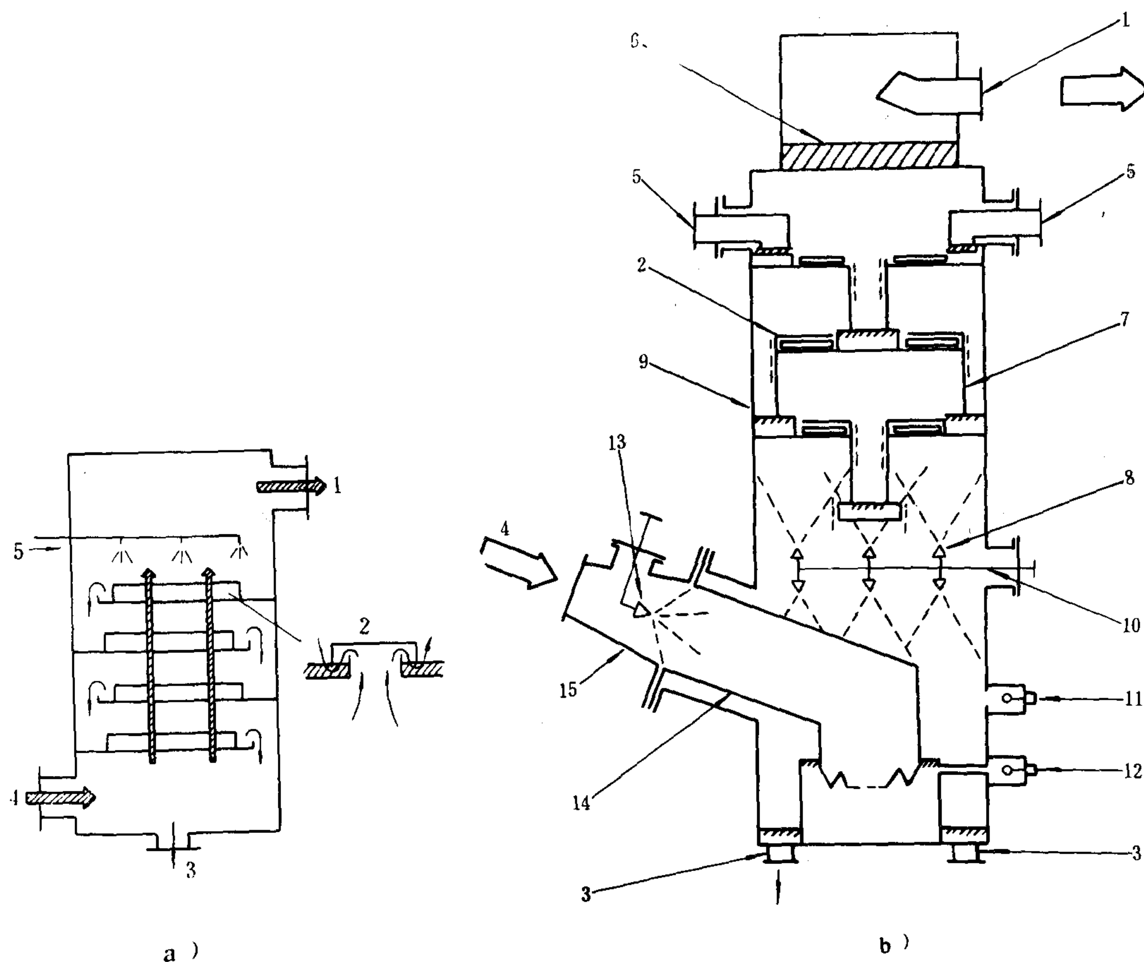


图 7.7.6－4 气泡罩盖式洗涤塔

a)原理；b)构造

1—气体出口；2—罩盖与托盘；3—泄水口；4—气体进口；5—海水进口；6—除湿器；7—导流栅；8、13—喷淋嘴；9—洗涤塔本体；10—喷淋总管；11—高水位浮子开关；12—低水位浮子开关；14—浸水导管；15—预冷却管

2.3 除 湿 器

除湿器用来去除洗涤塔排气中的水滴，由于水分与残留的二氧化硫化合，会引起货油舱的严重腐蚀，因此，要求除湿器的除水滴效率在99%左右。比较常用的除湿器有三种型式：

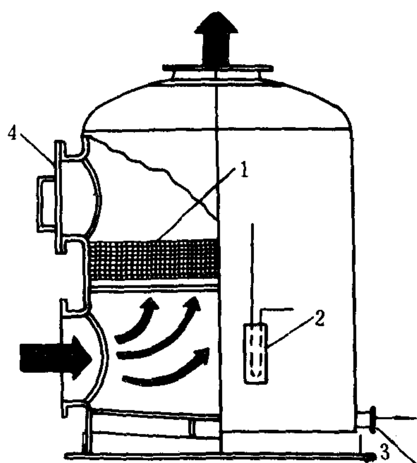


图 7.7.4—7 过滤式除湿器

1—除湿器填料；2—压差计；

3—泄水出口；4—人孔盖板

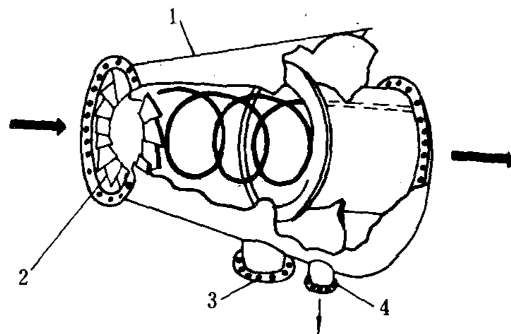


图 7.7.4—8 旋流式除湿器

1—本体；2—导向叶片；

3—检查口；4—泄水口

2.3.1　过滤式除湿器

过滤式除湿器用细孔滤网吸附水滴，当随气体一起流动的水滴，通过多层网目很细的滤器时，比网孔直径小的水滴就被截留吸附在滤器上。当水滴达到一定大小时，由于自重克服表面张力和气流阻力，落到滤器底部，从泄水管排出，如图 7.7.4—7 所示。这种滤器的滤网容易被烟尘等堵塞，使用时要经常清洗或换新。

2.3.2　旋流式除湿器

使含有水滴的气体，流经导向叶片，形成旋转运动产生离心力，水滴被甩向外侧，附着在壁面上，达到一 定厚度时靠自重下落，从泄水管排出，如图 7.7.4—8 所示。这种方式不会堵塞，一般不需进行保养和检修。

2.3.3　挡板式除湿器

当气流通过曲折挡板时，水滴因惯性力和离心力的作用，撞击并附在薄片状曲板上，再沿曲板表面流到挡水槽，如图 7.7.4—9 所示。

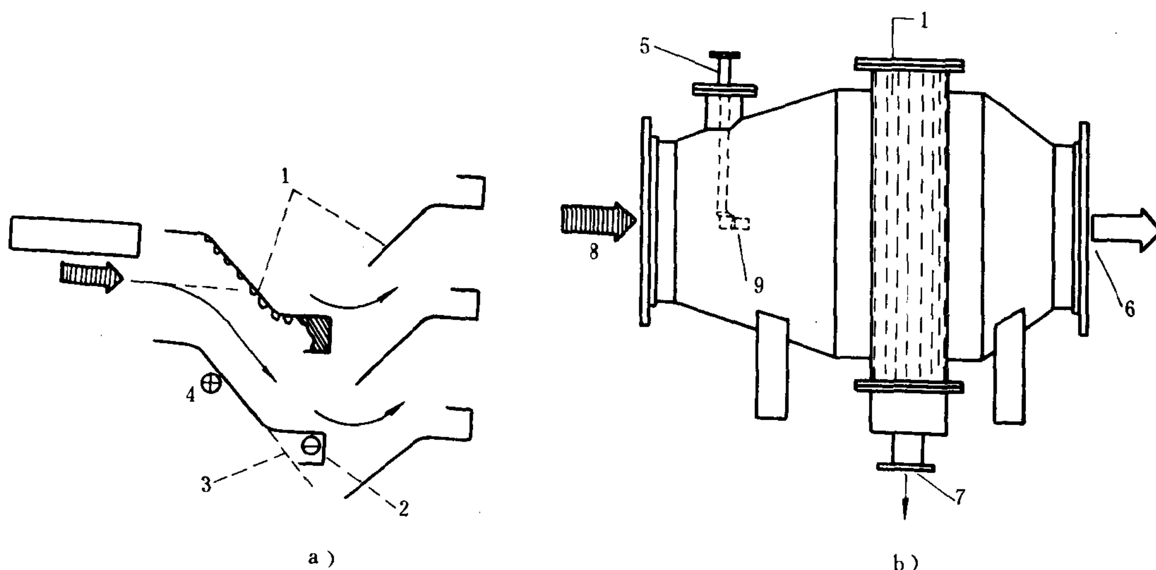


图 7.7.4—9　挡板式除湿器

a)原理；b)结构

1—曲折挡板；2—挡水槽；3—负压区；4— 压力区；

5—清洗海水进口；6—气体出口；7—泄水口；8—气体进口；9—清洗水喷嘴

2.4　甲 板 水 封

2.4.1　工作原理

甲板水封是安全装置，可防止货油舱内可燃性气体逆流到安全区域的洗涤塔和锅炉内。其工作原理如图 7.7.4—10 所示，风机正常运转时系统处于正压，惰性气体经甲板水封输送到各货油舱(图 7.7.4—10a))；当风机停止工作时，如水封水表面受到货油舱油气压力作用，即产生逆压时，进气管内的水柱升高，直到由水柱产生的静压与逆压压力平衡时为止 。如此可使可燃性气体不能逆流到洗涤塔内(图 7.7.4—10b))。压力平衡的条件由下式表示：

$$p = H \cdot \rho \cdot g \quad \text{Pa} \qquad (7.7.4\text{—}1)$$

式中：p——逆压，Pa；

H——水柱高度，m；

ρ——水封水质量密度，kg/m^3；

g——重力加速度，为 $9.8m/s^2$。

水封水量一定要保证进气管内达到有效的水封高度即：

$$V \geq \frac{\pi}{4} D^2 \cdot H + A_1 \cdot H_1 \quad m^3 \tag{7.7.4—2}$$

式中：V ——水封水量，m^3；

D ——进气管直径，m；

H_1——进气管出口与水柜底之距离，m；

A_1——水柜截面面积，m^2。

水封水柱高度 H 必须大于呼吸阀和压力真空安全装置设定压力的水柱高度。

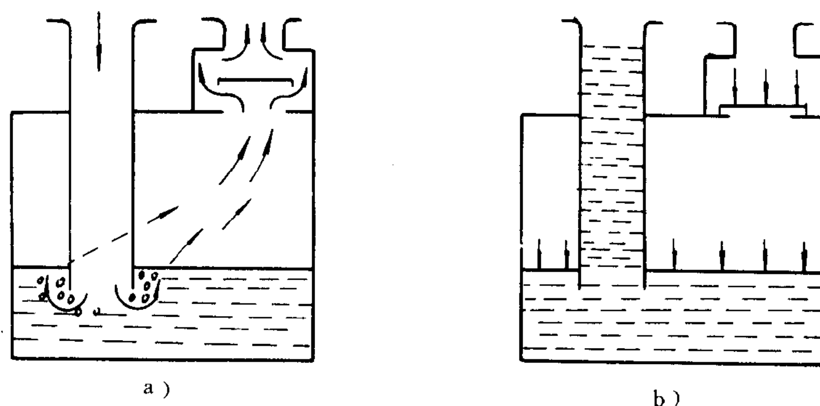


图 7.7.4—10 甲板水封工作原理

a)正常工作情况；b)产生逆压情况

2.4.2 甲板水封型式

1)湿式甲板水封：

图 7.7.4—11 所示是最简单的水封装置，进气管一直浸在水封水内，当系统工作时，水封水由于气流搅动，一部分水滴被气体带走；因此，在出口处必须设置除湿器。在寒冷地区使用时，为防止水封水冻结，内部应装设蒸汽加热管。

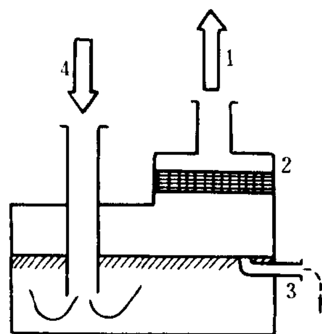


图 7.7.4—11 湿式甲板水封

1—气体出口；2—除湿器；3—溢流管；4—气体进口

2)半干式甲板水封：

为减少气体中的水滴夹带，惰性气体流经甲板水封时，应尽量避免与水接触，如图 7.7.4—12 所示的甲板水封，仅在系统开始工作时，导向管内的水被气带走，正常工作后，气体不与水直接接触，只是从逸出管携带少量水滴，撞到折流板下落，从泄水管排走。图 7.7.4—13 所示是另一种半干式甲板水封。

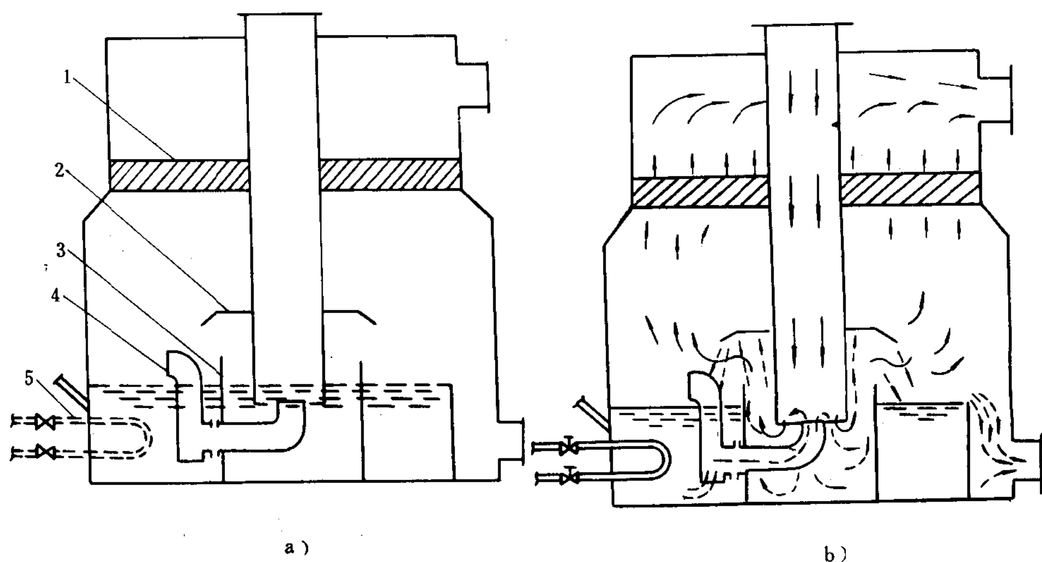


图 7.7.4—12 半干式甲板水封

a)水封状态;b)工作状态

1—除湿器;2—折流板;3—导向管;4—连通管;5—加热器

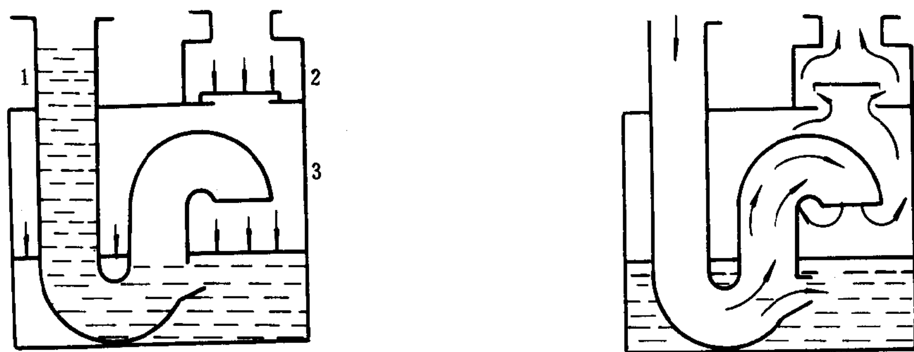


图 7.7.4—13 半干式甲板水封

a)水封状态;b)工作状态

1—进气管;2—单向阀;3—筒体

3)干式甲板水封:

惰性气体系统正常工作时,气体流经水封水柜完全不与水接触,且气体不会夹带水分。图 7.7.4—14 所示是设置两水柜的干式甲板水封装置。水封水直接供入重力水柜,当水位达到一定高度时,由浮子开关 5 控制使供水阀 2 关闭。当惰性气体风机启动,并向系统开始送气时,水封水柜的泄水阀 1 打开,连通阀 3 关闭,水封水柜内的水迅速排出,气体通过无水的水封柜,不仅不会夹带水滴,且流动阻力减少。当风机停止运转时,泄水阀自动关闭,重力水柜与水封水柜间的连通阀 3 自动打开,水封水急速流入水封水柜达到水封状态。

这种干式水封装置比较复杂,但气体质量高,用于要求无水分的惰性气体系统,如化学品船和液化气船上。

图 7.7.4—15 所示是另一种干式甲板水封。

图 7.7.4—16 所示是利用文丘里管的干式甲板水封,结构较简单,而工作较可靠。

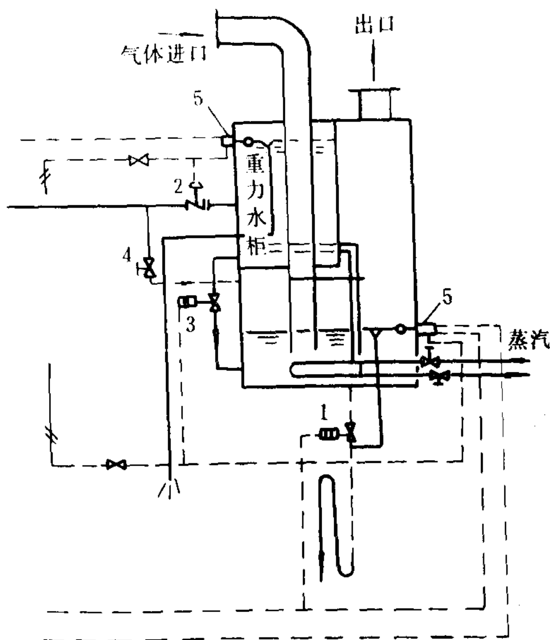


图 7.7.4—14　干式甲板水封
1—泄水阀；2—供水阀；3—连通阀；4—手动供水阀；5—浮子开关

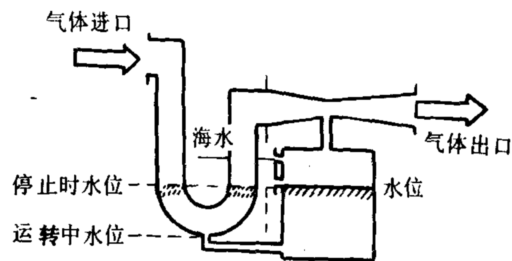


图 7.7.4—16　文丘里管式干式甲板水封

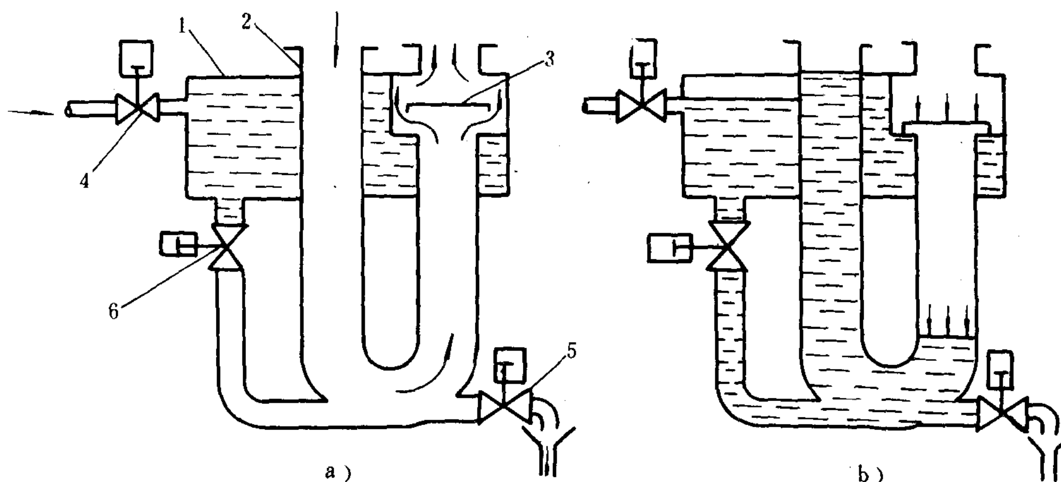


图 7.7.4—15　干式甲板水封
a)工作状态；b)水封状态
1—水封水柜；2—进气管；3—单向阀；4—供水阀；5—泄水阀；6—连通阀

2.5　压力/真空安全装置

压力/真空安全装置装在惰性气体系统后，可保护货油舱和管路以避免过高的正压或负压。当呼吸阀失灵、防火罩堵塞或由于误操作等产生意外高压或负压时，它可迅速将过剩气体放入大气，不使油舱产生高压，或从大气吸入空气弥补舱内气体不足，不使油舱内产生过高负压。

如图 7.7.4—17 所示，其内管与惰性气体总管相接，外管与大气相通，内、外管内充入不冻液（水与油脂的混合物）或高级润滑油等，作为密封液。

当油舱压力等于大气压力时，内、外管内的液位相同如图 a)所示。如油舱压力升高，内管

液位下降，当压力 Cp 等于设定最高允许压力时，内管液位等于零，这时过剩的气体就会从内管逸出，放入大气使油舱内压力不再继续升高，如图 b)所示。

相反，当油舱内压力低于大气压时，外管液位下降，内管液位升高，舱内压力降到允许的最高负压时，外管液位降到与内管管口一样，则大气被吸入到舱内，如图 c)。

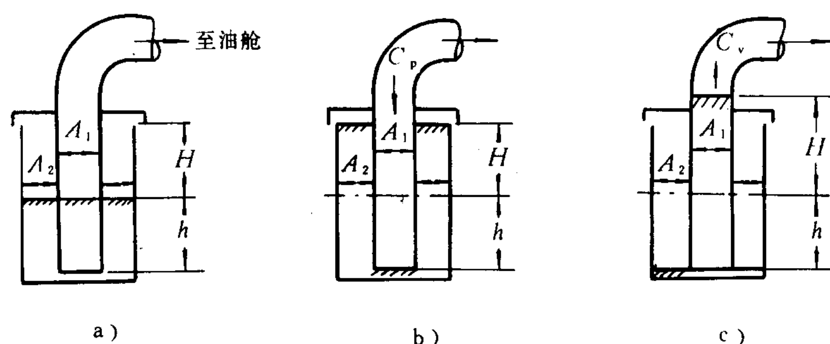


图 7.7.4—17　压力值/真空安全装置

a)当油舱内压力等于大气压力时；b)当油舱内压力高于大气压力时；c)当油舱内压力低于大气压力时

压力/真空安全装置高压设定压力应大于呼吸阀正压动作压力，一般为 0.0021MPa，负压一般设定值为－0.7kPa(－700mmH_2O)。

为确保安全，各国的造船规范都明确规定惰性气体系统必须装设压力/真空安全装置。

2.6 鼓 风 机

惰性气体系统一般使用大容量、高压电动离心式风机。

风机风量的选定应保证最大卸油量时油舱内能维持一微小的正压。一般船舶检验部门规定风机总风量比货油泵总排量至少大 25％。

在惰性气体系统中风机比较容易发生故障，为保证当风机发生故障时不影响整个系统工作，每套惰性气体系统至少设置两台风机。每台风机风量，根据风机工作可靠性、航运中惰性气体使用情况等，一般可按以下方式配置：

1)设置两台，每台风量都是总风量的 50％。

2)设置两台，1 台风量等于总风量，另一台风量是总风量的 50％。

3)设置两台，每台风机风量都是总风量。

此外，也可采用其它配置方式，主要依据产品标准、船主和规范要求等决定。

3　惰性气体系统操作和管理

3.1　惰性气体系统操作要点

3.1.1　惰性气体系统作业方式

在船舶各种航运状况时惰性气体系统的作业方式如图 7.7.4—18 所示。它包含以下各作业方式：

1)货油轮的惰性化：出厂的油船或已经洗舱和驱气的货舱应进行惰性化，以惰性气体来置

换舱内的空气，直至舱内气体的含氧量低于8%为止。

2)卸压载：惰性气体系统向卸压载的货油舱送气，以填充压载水排出后的空间。

3)装油：在装油作业中，惰性气体系统不向货舱送气。装油舱内的气体通过透气系统的透气口排入大气。

4)装油航行：在航行中货油舱内需维持至少0.1kPa(100mmH_2O)的正压，因此在航行中可能需要向货油舱补充惰性气体。

5)卸油：惰性气体系统应向卸油舱输送惰性气体，以填充卸油时空出的空间。

6)原油洗舱：在原油洗舱期间应向洗油舱送惰性气体以保证洗舱作业的安全。

7)压载：此工况惰性气体系统不送气。然而，如果同时进行卸油和压载，就要密切注意惰性气体总管内的气压，必要时惰性气体系统要向货油舱送气。

8)压载航行：此工况，必要时要向货油舱补充惰性气体。

9)水洗舱：水洗舱时惰性气体系统应向清洗舱送气。

10)惰气冲洗：在驱气前要向货油舱输送惰性气体，以排除舱内的油气，直至油气浓度降到4%以下，才允许用空气来驱除舱内气体。

11)驱气：当进行驱气作业时可用惰性气体系统中的风机来输送空气，也可用移动式驱气风机来驱气。

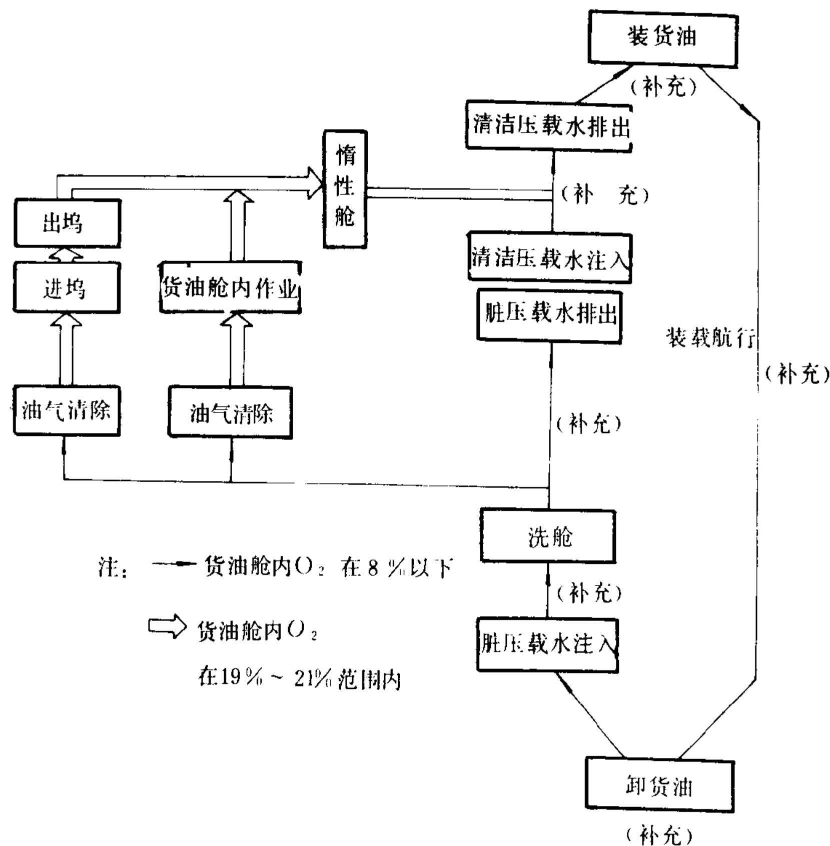


图7.7.4-18 油船航运作业循环与惰性气体系统典型作业方式

3.1.2 惰性气体系统操作要点

在船舶不同航运状况时，惰性气体装置使用情况不同，且不同型式系统的惰性气体装置操纵使用的程序和方法也不完全相同，但必须共同注意以下事项：

1)装置在启动前必须做好各项准备工作，检查各机械设备是否处于良好状态，确认各阀开关位置的正确性，特别是洗涤塔，甲板水封，压力/真空安全装置、呼吸阀、风机、氧气分析仪等主要设备处于正常状态。

2)启动顺序：应先启动洗涤塔冷却水泵向洗涤泵供水，再打开烟道阀，然后启动风机、打开循环阀或排空阀使气体循环或排大气，待含氧量达到要求后，才允许打开主供气阀向油舱内供气。(如用干式甲板水封水，放干后再供气)。

3)运转过程中，定期检查各主要参数，特别是冷却水流量和洗涤塔水封水位，惰性气体温度、含氧量。洗舱排压载水或航行中补气，可能因锅炉负荷过低，过量空气系数较大，烟气中含氧量过大，惰性气体氧气浓度不符合要求，这时应多启动几台压载水泵来循环海水，或者以其它形式消耗蒸汽，增加锅炉负荷，降低惰性气体氧气浓度。卸油时应充注惰性气体，如系统发生故障必须停止工作时，同时应停止货油泵运转，暂停卸油作业。

4)船舶航行时应根据舱内压力变化，定期或不定期向舱内补充惰性气体，保持舱内压力为正压。补气时应首先启动锅炉，并注意锅炉负荷和燃烧质量，保证惰性气体氧气浓度符合要求。

5)惰性气体系统用风机驱气时，必须关闭烟气阀和风机的惰性气体吸入阀，打开风机的新鲜空气吸入阀。运转中要依据氧气分析仪来判断是否有烟气吸入。

6)装置停止运转顺序：应先关控制阀，停止风机运转后，关闭烟气抽气阀，洗涤塔冷却到一定程度后再停冷却水泵；并确认甲板水封水位，关闭主截止阀，检查压力/真空装置液位是否处于正常状态。

装置停止运转后，应认真检查烟气抽气阀等是否泄漏；定期检查洗涤塔、风机是否积污，并及时进行清洗。

3.1.3 惰性气体系统运行中应注意的问题

1)腐蚀问题：

惰性气体中含有的SO_2和SO_3，与水反应生成亚硫酸(H_2SO_3)或硫酸(H_2so_4)，因此，惰性气体管路、阀件、机械设备(洗涤塔、除湿器等)以及油舱内舾装件都可能发生腐蚀。

虽然现在惰性气体系统，对易发生腐蚀的部件都采用良好的防腐材料，并采用许多防腐措施，但实际使用中仍发生腐蚀现象，所以使用过程中应注意尽量避免发生腐蚀。特别应尽量防止水滴夹带。

2)对人身健康的影响：

人呼吸的空气中氧气浓度小于16%，会感到呼吸困难，低到6%会失去知觉，4%以下40s内会晕倒。惰性气体氧气浓度在5%以下，所以人呼吸惰性气体会发生缺氧反应。工作人员应尽量避免呼吸过多的惰性气体，不能进入充满惰性气体的油舱，工作时要尽量远离有惰性气体逸出的舱口，操作时要站在上风侧。进入货油舱前，测氧仪读数必须稳定在21%以上。

3)冷却水排放二次污染问题：

洗涤塔冷却海水中含有一定量的亚硫酸或硫酸，一般洗涤塔冷却水pH在2.5～3之间，含有硫酸的大量冷却水排入海洋，将造成二次污染。

洗涤塔排放的冷却水要求pH在5以上，不符合要求的排水应进行处理，可在排水中加入一定量的苛性钠，使酸中和形成固态物质，然后再排入海中。这种方法需专用泵和苛性钠贮存柜等，成本高，实际上不采用。

4)静电危害。烟气中的微粒物质可能带静电，因此，在惰性气体系统停止送气之后，在一定时间内(30min)不要把金属器械探入货油舱。

5)装运某些石油产品的惰性货舱内有溶解氧释出，其量甚至可使惰性化的货舱变成可燃的。每天应至少测量一次货舱内的含氧量，当含氧量上升过高，应向货舱补充新鲜惰性气体并排出舱内原有气体。保持舱内含氧量在8%以下。

3.2 惰性气体系统的安全报警和控制装置

3.2.1 安全连锁机构

为了确保人身和船舶安全，惰性气体系统需设置一些安全连锁机构，报警指示装置。

1)连锁机构

(1)风机应急自动停止机构：

当发生非常情况时，应发出灯光、声响警报，风机自动停止运转；各报警设定值，以规范要求为准。非常情况如下：

①洗涤塔冷却水压力或流量低于设定值时；

②风机出口气体温度高于设定值(通常设定在75℃以下)时；

③洗涤塔内水位高于设定值时；

④控制空气压力低于设定值时；

⑤控制电源失电时。

(2)为防止海水逆流进入烟气抽气阀造成重大事故，应设洗涤塔供水泵自动停止机构，以防止洗涤塔泄水高水位。

(3)风机停止时与控制阀、烟气抽气阀的自动关闭连锁机构。

(4)锅炉吹灰与烟气抽气阀的连锁，一般采用惰性气体系统运转优先的连锁方式。

2)报警装置

惰性气体系统在下列情况下，报警装置应动作，发出声光报警信号。

(1)洗涤塔冷却水压力或流量不足。

(2)甲板水封供水量不足。

(3)风机出口气体温度高。

(4)洗涤塔水位高。

(5)控制空气压力低。

(6)控制电源失电。

(7)惰性气体中氧气浓度上升，当氧气浓度达到5%和8%这两个设定值时都发出警报。

(8)惰性气体的压力(甲板主管内压力)下降，通常设定在～2kPa(200mmH_2O)和～1kPa(100mmH_2O)时都发出警报。

除上述情况外，许多系统在下列情况下也发出警报。

(9)风机故障停止。

(10)甲板水封水位低。

(11)甲板水封水位过高。

(12)洗涤塔气体入口处的水封水不足(只限水封型)。

(13)风机出口压力上升或下降。

(14)惰性气体的压力(甲板主管内)过高。

(15)甲板水封水柜中的水位下降(只限于干式甲板水封)。

上述(2)、(8)、(10)、(14)项警报，通常都采用单独电源，这样无论船舶在航行或装油作业

情况下，即使切断惰性气体系统的控制电源，也能够发出警报。

3.2.2 控制系统

惰性气体系统的操作、报警、指示仪表等集中装设在主控制板上，一般主控制板设在货油控制室内，在机舱控制室和驾驶台设置仅有部分控制功能报警和指示仪表的辅助控制板。控制板的布置及各自担负的功能（操作、指示、报警）如表 7.7.4—2 所示。

表 7.7.4—2 **控制板的一般布置及其功能**

控制板 种类	控制板 位置	操作	指示	警报
主控制板	货油控制室	1GS的主开关 1GS/驱气转换开关主截止阀（开/关） 洗涤塔的给水泵（运转/停止） 洗涤塔给水阀（开/关） 风机（运转/停止） 控制阀（开/关） 氧气浓度分析仪（运转/停止） 有的设于机舱辅控制板上或在机旁操作。	1GS 主开关指示灯（运转） 主截止阀指示灯（开/关） 洗涤塔给水泵指示灯（运转/停止） 洗涤塔给水正常指示灯 洗涤塔给水阀指示灯（开/关） 风机指示灯（运转/停止） 主控制阀指示灯（开/关） 气体温度表 氧气浓度指示计 气体压力表 控制空气压力表	控制空气压力（过低） 控制电源（失电） 洗涤塔水位（过高） 洗涤塔给水泵（停止） 风机（停止） 气体温度（过高） 气体压力（高/低） 氧气浓度（过高） 甲板水封给水量（过少）
辅控制板	机舱控制室		1GS 主开关指示灯（运转） 主控制阀指示灯（开/关） 洗涤塔给水泵（运转/停止） 风机指示灯（运转/停止） 氧气浓度指示计	洗涤塔给水泵（停止） 洗涤塔水位（过高） 洗涤塔给水量（过少） 风机（停止） 氧气浓度（过高）
辅控制板	驾驶台		气体压力表	气体压力（高/低），甲板水封给水量（过少）
辅控制板	货泵间入口		气体压力表	

3.3 惰性气体系统的试验

惰性气体系统在船上全部安装完工后，应在船主和船舶检验人员参加下，按照规定的方法对下述各项进行试验。

3.3.1 管路系统密封性试验

惰性气体系统由几种管路系统组成，如惰性气体管，锅炉烟气管，海水供水管，泄水管，控制压缩空气管，取样管等。对各种管路系统应按规定试验压力，进行气密或水密试验，并确认管路布置符合要求。

3.3.2 安全报警及控制装置实效试验

这主要是确认惰性气体装置中机械设备，主要阀件及各部分控制装置是否满足设计要求。

具体试验内容有：

1)机械设备动作试验：

试验各种机械设备的启动、停止及运载状态是否正常，如鼓风机，洗涤塔冷却水泵，甲板水封供水泵和氧气分析仪等。

2)阀的动作试验

确认遥控的气动阀或电磁阀能正常开闭，并校核阀开闭的指示或开度指示与阀实际状态一致。

3)报警试验：

在模拟各种报警条件的情况下确认，报警指示灯、总故障指示灯、蜂鸣器等准确发出警报，同时确认与发生报警原因联锁动作的阀、机械等的功能状态。

4)应急停止试验：

确认在应急停止条件发生的情况下，安全保护机构，动作正确可靠。

5)吹灰器工作联锁试验：

吹灰器工作联锁有“相互优先”联锁和“一方优先”联锁两种方式，对于前一种联锁应确认，吹灰器工作时风机不能启动，而且风机运转时吹灰器不能工作。

对于“一方优先”联锁，例如“惰性气体优先”应确认风机运转时吹灰不能工作，相反当吹灰器工作时可以启动风机，这时吹灰器立即停止工作。

3.3.3 充注惰性气体试验

确认惰性气体系统在设定的实船使用状态下，各种机械设备、仪表及管系等的性能均满足设计要求。特别要确认船舶检验机关所要求的项目(例如惰性气体中含氧量，惰性气体输送量等)。

试验时可由鼓风机抽吸实际锅炉烟气，惰性气体送入空的货油舱内，或者排入大气，也可随压载水的排出而充入压载水舱。试验过程中要记录和检查各项主要参数和确认诸性能是否良好。

3.3.4 驱气试验

为确认驱气性能，对惰性化的油舱，用移动式抽风机或送风机换气，测量舱内氧气浓度回复到 20.6%左右时所需的时间，以及氧气浓度随时间变化的情况等。也可用惰性气体系统的鼓风机，向舱内连续供入新鲜空气进行试验。

3.3.5 惰性化试验

为确认系统的换气性能，对空舱(舱内无油气和惰性气体)输入惰性气体，舱内气体通过专用换气管或其它换气时排气口排出，测量舱内氧气浓度降到 8%时所需的时间和氧气浓度随时间变化的情况等。

第 5 章　油船洗舱系统

1　油船洗舱系统的用途和基本要求

1.1　用　途

油船洗舱系统是用于清洗货油舱内部的专门设备。在正常营运中，为了下列目的，油船的货油舱需要进行内部清洗。

1)货油舱在换装另一种油之前，必需把积存在舱内的原有存油清除出去，以免新装入的油受到混杂；

2)清除长时期积存于货油舱底部和各内部结构物上的沉积杂物；

3)在进入舱内进行检查或修理之前，需将积存在内的货油和沉积油类物质清除，同时还清除油舱中的油气，以保证安全；

4)在进厂修理之前也应将全部油舱中的存油及沉积杂物清洗干净。

1.2　基本要求

各种油舱由于装运货油品种和油舱尺度的不同，装设不同的洗舱设备。但对于不同设备和系统其基本要求相同。

1)能将货油舱内壁、舱底和内部结构物上的附着油、沉积杂物等清洗物先集中到舱底，然后用扫舱系统抽吸，排出舱外。

2)舱内被清洗到的垂直壁面应达到 85%以上，水平壁面应达到 90%以上。

3)能保证安全地进行洗舱作业。

4)洗舱冲洗下来的舱内沉积物和清洗工质，必需通过扫舱系统自舱底清扫出去。所以必需有有效的扫舱系统配合洗舱系统，才能保证洗舱的效果。

同一套洗舱系统和扫舱系统是否可以达到理想的洗舱效果，在很大程度上取决于洗舱的操作工艺程序和操作人员的技巧。只有操作人员熟练地掌握了操作工艺程序，才能发挥洗舱系统的正常功能。

2　水洗舱系统

2.1　水洗舱系统的特点和操作

用压力水(冷水或热水)对油舱内壁和舱底进行冲洗的系统，其特点为：

1)适用于成品油船和小于 2 万 t 的原油油船上使用。

2)几乎全部采用手提式洗舱机。

3)操作比较困难。

4)根据装运货油的品种不同采用冷水(对轻质油)或热水(对重质油或粘度较高的油)进行洗舱 。

图 7.7.5—1 所示为水洗舱的系统原理图。

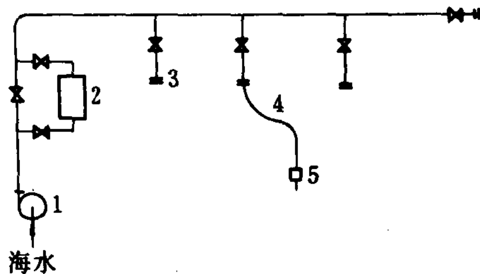


图 7.7.5—1　水洗舱系统原理图
1—洗舱泵;2—加热器;3—接头;4—软管;5—洗舱机

洗舱泵 1 通常是利用机舱中的救火泵和通用泵,吸入海水输送到货油舱甲板上的管系中。该管系通常利用甲板上的水灭火管路,接头 3 为水灭火管路上的消防水接头。当需要进行水洗舱时,将专用软管 4 和洗舱机 5 连接在接头 3 上。将洗舱机通过货油舱的大舱口伸入需要洗舱的货油舱内,用坚固的绳索系住洗舱机。一边放水通过洗舱机对货油舱内进行冲洗,另外,将洗舱机由上到下逐渐升降,反复冲洗货油舱的上部、中部和底部。

2.2　水洗舱作业的安全

2.2.1　水洗舱静电的防止

国际上油船在洗舱期间发生爆炸事故屡见不鲜。经研究,其原因大多是由于静电产生火花而引起。特别是 1979 年以后三年期间竟发生十多次事故,这引起人们的极大注意。经综合分析后认为当电位差在 300V 以上,极间距离在 0.01mm 时会产生极间放电火花。在一般情况下,电位差大于 1500V 时,才会在二个距离较近的尖端物体之间产生电火花,而引爆石油气体。所以防止静电火花的办法是减少静电的积聚,避免出现高电压。

静电产生的原因及防止的方法可参阅本章 3.7.1 的内容 ,此外在水洗舱时应特别注意以下几个问题。

1)洗舱水冲刷舱壁或其它构件,使舱内静电荷失去平衡,造成含油水雾与舱壁构件间产生静电电位差。当用冷海水洗舱时静电压较高。洗舱机流量愈大,洗舱水压力愈高产生的静电压也愈高。在任何情况下所用手提式洗舱机的排量不允许超过 $60m^3/h$;一个舱内最多只允许同时使用两台,且喷嘴直径及数量不准超过∅14×4 只,直径∅14mm 以上的喷嘴只准用 3 只。用热水洗舱,当温度过高时,会过多地产生水蒸汽,这也将加大喷射水柱及其摩擦产生的静电压。

2)用压缩空气或蒸汽直接冲刷油舱或管壁,由于速度大,造成粘附在壁上的油污甚至金属颗粒脱落,以致造成电荷移动,产生静电。所以不允许用压缩空气驱除残油,也不允许用蒸汽直接冲刷舱壁。若必须用蒸汽熏舱,则必须缓慢加入蒸汽,熏舱后要待蒸汽消散后才能开始进行水洗舱。通常情况下,不允许用蒸汽熏舱。

3)用手提式洗舱机洗舱时,要检查洗舱机对船体的导电性。洗舱机本体必须良好“接地”。在洗舱时应先接通出水后再放入舱内,停止时,应先将洗舱机取出后再关闭水源。

4)在洗舱及清除油气期间,除良好“接地”的洗舱机外,不准任何物体引入舱内。当需要用人工测量舱内液位或温度、或其它需探入异物的作业时,必须在洗舱停止 5 小时后才可进行。

2.2.2　水洗舱作业的注意事项

除了上述防止静电产生外必须注意下列有关洗舱安全和造成污染的问题:

1)洗舱水压力:根据洗舱机的型式,一般应在 0.6～0.8MPa 之间。

2)洗舱水温度:建议采用下列数值。

轻质油（汽油、煤油、柴油等） 常温

滑油、重柴油等 40～60℃

原油、重质燃料油等 60～80℃

3）洗舱前必须明确各自岗位，按排好负责人和操作人员。

4）如在港内进行洗舱时，必须报告港务监督部门并取得许可。

5）洗舱作业时，船上必须控制明火，例如，限制只可在吸烟室内吸烟，禁止港作船靠泊等。并且在雷雨来临前停止作业。

6）洗舱水必须妥善处理。洗舱后在舱底的洗舱污油水必须及时抽空。洗舱污油水在任何情况下，不能直接排放出海，以免造成海域污染。通常情况下，应排到岸上专门的污油水处理站。如在船上设有处理设备时，也可处理后排放。在港区附近排放，则水中含油量不得超过 15mg/L。如果船上装用压载水排油监控装置，则允许在最近陆地 50nmile 之外，通过排油监控装置排放。排放时必须符合 73/78 防污公约的规定（见本篇第 3 章表 7.7.1—2）。

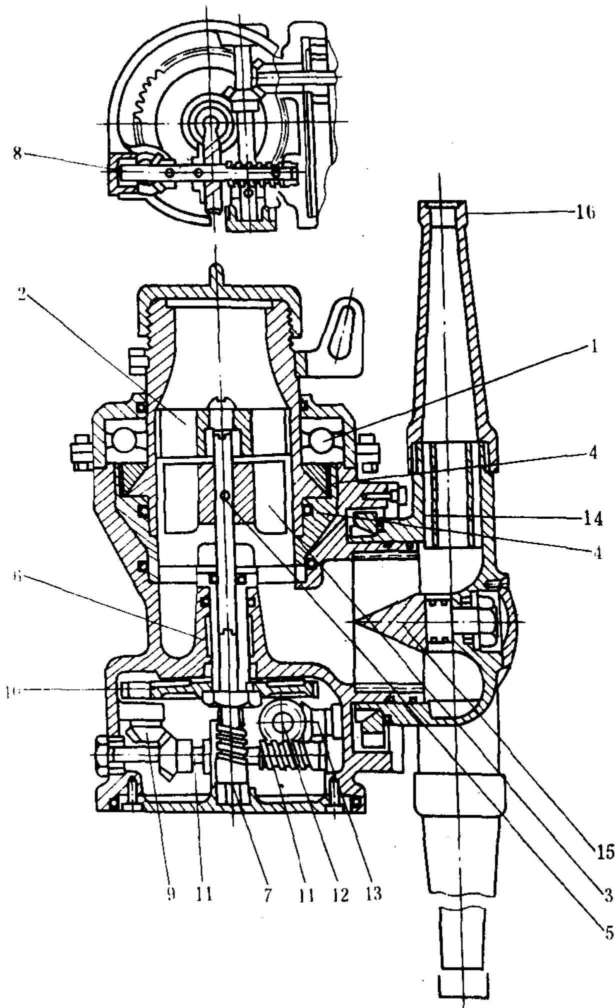


图 7.7.5—2 双喷嘴洗舱机

1—滚动轴承；2—导叶；3—回转叶轮；4—填料；5—传动立轴；6—内套；7—传动主蜗杆；8—中间传动蜗杆；9—传动伞齿轮；10—传动齿轮；11、12、13—中间传动蜗杆付；14—喷嘴传动齿轮；15—喷嘴传动轴；16—喷嘴

2.3 水洗舱用的洗舱机

2.3.1 对洗舱机的基本要求

1）本体应用导电性能好且不易锈蚀的材料制成；并当与舱内其它金属物碰撞时不会发生火花。一般均采用铜或其它有色合金材料。

2）重量不能太重，以一个人可以搬动为宜。

3）喷嘴应有良好的喷射能力，保证水柱形喷射。在相同工作压力下，消耗水量要少，射程要远。

4）能自动回转。在洗舱工作水压力的作用下，喷嘴能自动作 360°方向的旋转。以保证可以冲洗到舱壁的四周。

5）工作可靠，检修方便，维护工作量少。重量轻，体积小等。

2.3.2 手提式洗舱机

当前世界上洗舱机产品较多，但形式却大同小异。较典型的一种如图 7.7.5—2 所示。洗舱机为双喷嘴式，喷嘴直径 11～13mm，耗水量 26～37m^3/h，当工作压力为 0.7～1.2MPa 时有效射程可达 10～14m，本体重量为 18kg。

双喷嘴 16 可在传动蜗杆付 11、12、13 和齿轮 14 等传动下回转。本体的下半部连同喷嘴在

蜗杆8和齿轮9、10等的传动下以传动立轴5为中心而转动，当具有压力的洗舱水自本体上口进入通过回转叶轮3时，即驱动传动立轴转动，并使喷嘴回转。洗舱水通过回转叶轮后即由喷嘴喷出。这就保证了喷射水流在360°范围内冲洗舱内各部位。在洗舱期间，洗舱机由人工沿舱深方向垂直升降，就可冲洗到舱内各个部位。

3 原油洗舱系统

3.1 原油洗舱的特点

运输原油的油船在卸油的同时，用货油的一部分，在高压下通过洗舱机喷射到货油舱内，把附着在油舱构件和舱底的原油油渣清洗掉；并使油渣溶解在原油中，然后一起卸出。

原油在运输过程中，粘附在舱壁的残留物质，不同部位由不同原因造成。舱顶和上部没有装油的壁面，因船舶摇晃等不断有油飞溅粘附在壁面上。这些粘附在壁面上的油，经自流和挥发，油中轻质油份大部分脱离舱壁，但重质油份及原油中的一些粘着物质在壁面上结成硬质的油膜层。浸在油中的垂直舱壁上粘附的残留物，主要是油水乳胶液。因为原油中总有一定水分，由于液面波动或油的流动会形成一种油水乳化液，它的粘性很大，牢固的粘附在舱壁上。在水平结构和舱底残留的大量沉淀物一部分是乳化状态的有机物；另一部分是矿物质和铁锈、砂子等机械杂质，与乳化液混合在一起形成油脚。以上这些粘附物及杂质在静止的原油中很难溶解，但在喷射油流的强力搅拌下，就能溶解在原油中，并随货油一起卸出。

用原油做清洗工质，与海水比较，在防止海洋污染和经济性方面，都有显著优越性：

3.1.1 残油量减少，载货量增加

用原油洗舱，货油舱内沉淀物，基本上全部和货油一起卸出。

油舱内残留物，原来就是货油的一部分，是可炼制的物质。在一般卸油作业中，这部分残留物不易随货油卸出。但在卸油的同时，如进行原油洗舱，这部分残留物大部可卸出。不过在部分管路和泵内，有少量残留油，其数量在300t左右。这样对于一条6万t级的原油船，每航次就可增加载油量几百吨甚至千吨。

3.1.2 可防止海洋污染

原油洗舱后，油舱内油性残留物大大减少，当油舱作为压载用时，只要用少量海水对舱底进行冲洗，就可满足压载水排放要求（排放时含油量小于货油总量的1/30000）。少量的冲洗海水输入污油舱内，经沉淀后大部分也可排放，少部分存于污油舱内。这样防止了海水严重污染。

3.1.3 货油中含水量减少

由于洗舱水量减少，海水与油接触减少，乳状混合物也减少，所以可较有效地将油进行分离，货油及污油中海水含量大幅度下降 。因而因油中混有海水而造成炼油厂的重大故障可减少。

3.1.4 可减少舱内构件的腐蚀

海水洗舱后，舱内处于高温高湿状态，最易产生腐蚀。原油洗舱减少了海水与舱壁接触的机会，可起到一定的防腐作用。

3.1.5 进厂修理前可缩短洗舱及排气工作时间

进厂修理前洗舱，如用原油洗舱，只要2至3天，而且不需大量人力。这不仅减少了费用，且增加了油船的营运时间，同时因清洗比较彻底，舱内残留油渣极少，进厂修理时不易发生油

气爆炸事故。

实践证明，原油洗舱是现今洗舱效果最好的一种方式。因此，73/78 防污公约明确规定，载重量为 20000t 及其以上的新造原油油船，必须装有原油洗舱系统。载重量为 40000t 及以上的现有油船可装设原油洗舱系统，代替设置专用压载舱。

3.2 法规和公约对原油洗舱系统的要求

根据 73/78 防污公约和我国船舶检验局的规范要求，对于 20000 载重吨及以上的新原油油船和对于 40000 载重吨及以上的现有油船均应装用原油洗舱系统。

国际海事组织分别于 1979 年 11 月 15 日及 1981 年 11 月 19 日通过的海大 A. 446(X1)决议，A. 497(X11)决议《修定的原油洗舱系统设计，操作和控制技术条件》中规定了一系列要求，当前各国均采用此规定。其中的要点为：

1)原油洗舱的管系：应为独立的具有足够强度的系统，安装完毕后应进行 1.5 倍的工作压力试验。在管系上应装有压力超过允许值的泄放装置，泄放的油应排到不造成污染的安全处所。洗舱系统的管系不允许通过机舱。系统中如有供水洗舱的加热器时，则在原油洗舱时必须用双截止阀或育板进行有效的隔离。

2)原油洗舱用泵可以是货油泵，或者原油洗舱专用泵，泵的排量应满足在所需压力下(一般为 1.2MPa)按《操作及设备手册》中规定的最高台数洗舱机同时工作所需的排量，同时还要供给扫舱用喷射器所需的驱动液。如采用同一台货油泵作为卸油和洗舱油。当岸上排出口处的背压低于原油洗舱所需的压力时，应采取有效措施保持有足够压力的洗舱油。如洗舱油压力低于洗舱机正常工作的最低要求时，不能进行洗舱作业。

3)为了保证洗舱效果，必需装有有效的扫舱系统。扫舱系统应保证被清洗的舱底在洗舱完成后，没有油和沉淀物积存。扫舱泵应使用有效的容积泵，自吸式离心泵，喷射器或其它经主管机关认可的设备。

4)洗舱时必须保证舱内的含氧量低于 8%，且惰性气体系统必须正常地工作。在原油洗舱时供给的惰性气体必须连续地监测。当供给的惰性气体含氧量超过 8%或舱内不能维持正压时，原油洗舱必须立即停止。

在《修订的原油洗舱系统设计、操作和控制技术条件》中除了以上规定外，还规定了《操作及设备手册》应包括的资料和操作须知。每艘具有原油洗舱系统的船上都应具备经主管机关认可的这手册。同时还对原油洗舱的操作人员的资格和培训要求作了规定。

详细的条文可查阅 73/78 防污公约附则 I“防止油污规则”中的文件。

3.3 原油洗舱系统

图 7.7.5—3 为装在一条 65000t 级原油船上的洗舱系统。自货油泵引出的一条主管在主甲板上纵向布置，直到船首的第一货油舱。自主管上分出许多支管接到各洗舱机。如需用水洗舱时，则洗舱水的加热器 (图中 H)设在旁通管路上，其进出两端均设双截止闸阀以保证在原油洗舱时，管路和加热器隔断。

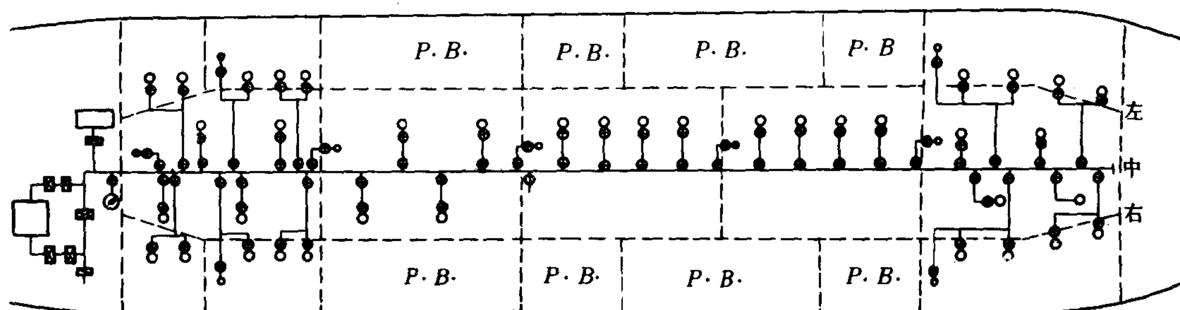


图 7.7.5—3　原油洗舱系统及洗舱机布置图

3.4　原油洗舱机的布置原则

货油舱洗舱机布置位置和数量，主要根据油舱容积、结构、形状及位置(中舱或边舱)来确定。

洗舱机一般装在货油舱的顶部，其本体固定在主甲板上。喷嘴伸入舱中，这种洗舱机称为顶部洗舱机。在某些结构比较复杂的货油舱中为保证冲洗效果，还装置了底部洗舱机。底部洗舱机一般装置在离货油舱底 3～5m 的高度位置上。洗舱油也由甲板洗舱油总管供给。

根据《修订的原油洗舱系统设计、操作和控制技术条件》的规定，被清洗油直接喷射(不包括飞溅和反射)冲洗的垂直舱壁面积，应占总面积的 85%以上，水平壁面(包括大型水平构件的水平面)应占总面积的 90%以上。由于货油舱内部的结构复杂，而且各舱形状各异(少数几个中舱可能相同)，因此在设计时应按预计的洗舱机数量和位置，通过阴影图或模型照光法计算出每个舱不能直接冲洗到的部位和面积的总和。如果冲洗到的面积达不到上述百分比，则应改变洗舱机的位置或增设洗舱机的数量。通常情况下，每个货油舱装置 2～5 台顶部洗舱机，1～2 台底部洗舱机。而底部洗舱机通常都位于舱内货油管吸入口区域的上部。

图 7.7.5—3 中同时表示出洗舱机的位置。图中黑点表示底部洗舱机的位置。白圆点表示顶部洗舱机的位置。全船共 11 个货油舱，布置 38 台顶部洗舱机和 9 台底部洗舱机。

3.5　原油洗舱机

3.5.1　对原油洗舱机的基本要求

1)洗舱机应采用不易锈蚀的材料制成。

2)喷嘴具有良好的喷射能力。保证成水柱形喷射。在相同工作压力下(现有洗舱机的工作压力一般均为 0.8～1.0MPa)，消耗油量少，射程远。

3)顶部洗舱机的转动可采用其它工质驱动(水力或压缩空气)也可采用洗舱油驱动。洗舱机下半部作 360°回转的同时，喷嘴垂直方向的角度应可作相应的变化。无论是水平的转动，还是垂直方向的角度变化均应能在甲板外部直接观察。

4)底部洗舱机应能在洗舱油的压力作用下作 360°方向的转动。另外，可在甲板上通过音响听到它是否在工作。

5)由于顶部洗舱机伸入主甲板在舱内的长度为 3～5m。所以在喷嘴工作时，会产生推动。因此，必须考虑有良好的支撑。洗舱机支撑后的振幅必须避开船体振幅的因有频率，以避免在工作时因产生共振而使洗舱机损坏。

6)工作可靠，检修方便，维护工作量少。

3.5.2 固定式双喷嘴洗舱机

作为底部洗舱机，其构造与手提式洗舱机基本相同，只是将其固定安装。用金属管直接接在洗舱机的进口，从主甲板的洗舱油管引入洗舱油。其构造原理及工作情况可参看本章第3.2.3节手提式洗舱机

3.5.3 固定式单喷嘴洗舱机

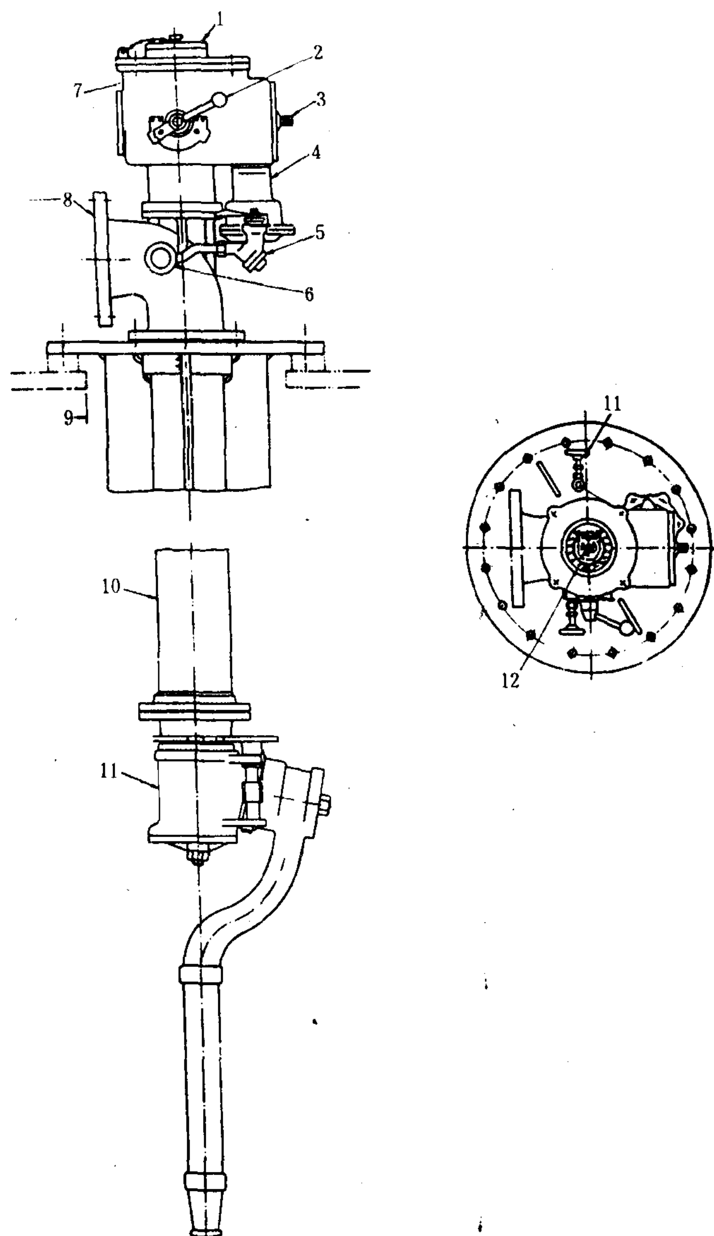


图 7.7.5 4 整体式活塞驱动洗舱机

1—指示针盖；2—手动换向杆；3—手动接头；4—驱动部件；5—速度调节阀；6—取油阀；7—齿轮箱；8—甲板进油口；9—甲板开口；10—导管；11—喷嘴本体；12—指示针体

作为顶部洗舱机。目前型式较多，现介绍几种比较典型的洗舱机。

1)整体式活塞驱动型单喷嘴洗舱机：

我国目前的油船上所用的洗舱机大多为这种型式。其结构特点是引出小部分洗舱油送入一个油缸，驱动小活塞作往复运动，油缸内活塞的往复运动通过一系列齿轮传动转变为洗舱机的回转运动和喷嘴变角度运动。通过油缸的工作油推动活塞后同洗舱油一起喷入油舱内。

图 7.7.5—4 为洗舱机的外型图。此洗舱机的传动齿轮箱 7 、驱动油缸 4 和洗舱油进口接管 8 均在主甲板之上。主甲板以下有洗舱油导管 10,传动轴和喷嘴本体 11。在喷嘴本体内装有使其作 360°回转和改变喷嘴垂直方向角度的传动齿轮。

图 7.7.5—5 所示为传动齿轮箱结构。油缸内活塞往复运动时通过棘爪的推动使棘轮 5 转动、然后通过伞形齿轮 3 并使传动轴 2 回转。伞形齿轮轴的回转通过齿轮机构 9 和 7 等使回转角指示针 11 和 12 动作;从而可指示舱内喷嘴的位置。伞形齿轮轴 6 在本体的外部有方形凸头 4,必要时可用手柄人工转动该轴使喷嘴转动。图 7.7.5—6 为洗舱机喷嘴本体图。传动立轴 2 的回转可带动喷嘴本体 1 一起作 360°回转。在它回转的同时;蜗杆 5 立轴上的小齿轮 6 与不回转的洗舱机本体产生相对运动。从而蜗杆驱动蜗轮 3 转动,从而实现喷嘴垂直方向角度的改变。喷嘴本体水平方面回转一周,喷嘴垂直方向角度改变为 2.8°。如图 7.7.5—7 所示为洗舱机喷嘴喷射油束在舱壁上形成的轨迹。由于驱动油活塞作往复运动,所以洗舱机喷嘴并不连续进行 360°的回转。微观上喷射油如图中作小圆点跳动式的斜向运动,图中 L 为驱动油活塞两个行程使喷嘴在水平方向移动的距离,而 H 为喷嘴水平方向回转一周时,垂直变化的距离。

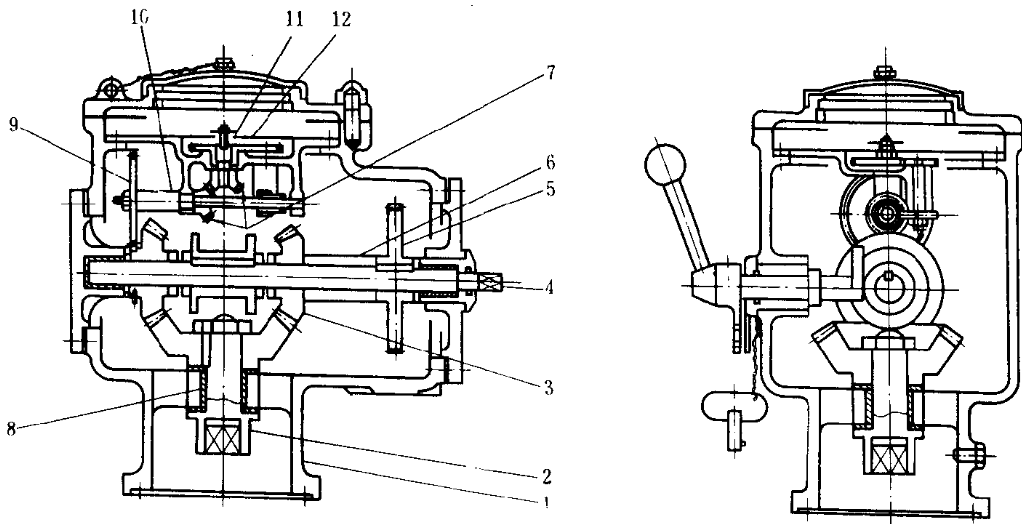


图 7.7.5—5 传动齿轮箱

1—本体;2—传动立轴;3—伞齿轮;4—手动轴头;5—棘轮;6—齿轮轴;

7—离合器;8—轴套;9—齿轮;10—传动轴;11、12—指针

图 7.7.5—8 所示为洗舱机顶部上指示机构的指针盘面。盘面上有一长指针和两连在一起的短指针。两短指针分别涂成红色和蓝色。短指针指示喷嘴的 360°水平方位。长指针指示喷嘴的垂直方向的角度位置。当长指针在盘面上的篮色区内(左边)移动时,以篮色短指针指示方向为准、而当在红色(右边)区内移动时,红色短指针指示喷嘴水平方位。

洗舱机的喷嘴本体可左旋和右旋二个方向转动。所以喷嘴也可以在垂直方上 135°到 0°移动,或反之自 0°到 135°的方向移动。当转动手柄 2(图 7.7.5—4)可使喷本体左旋、右旋或停止不转。所以这种洗舱机可以定点不动地清洗舱内的某个区域。

2)整体式涡轮驱动型单喷嘴洗舱机:

图 7.7.5—9 所示为该洗舱机的结构原理图。其特点为用洗舱油作驱动工作油。洗舱油由进口接管进入洗舱机后,首先全部通过一个涡轮 3,推动涡轮旋转。然后再通过垂直立管和油喷嘴 6 射出。涡轮 3 旋转后,通过一组齿轮 8(该齿轮与主传动杆之间具有滑键连接)使主传动杆转动带动喷嘴本体作 360°水平方向回转。此外涡轮 3 还传动滚动凸轮 2 使滚子 9 和立轴 7

上下移动。在立轴的下端为一齿条，此齿条的上下移动通过齿轮组 4 使喷嘴作垂直方向的改变。由于滚动凸轮 2 的凸面做成特殊的型线故滚子 9 作上下移动时，其移动速度也不相同。这就实现了喷嘴在不同垂直方向区内，当喷嘴本体回转一周时，其喷嘴垂直方向变化的角度不同。图 7.7.5—10 所示为这种变化的情况。当喷嘴自上部 150°的位置向下移动时，在首先 60°范围内，喷嘴本体回转 360°，喷嘴垂直方向变化 3°；其次的 20°区域内，变化 2°；而后的 55°区域内，变化 1°；最后的 15°区域内，变化 1.5°。如此设计的目的重要是考虑到当喷嘴在首先 60°范围内移动时，喷射油束冲洗油舱的上部，该部分油的沉积物较少，这样就可以较快地移动，喷射油在舱壁上的轨迹在二转之间的垂直距离可以大一些。当到其次 20°区域内，喷射油冲洗的是垂直舱壁，变化 2°角时其垂直距离的变化并不大。喷嘴在而后的 55°区域内，喷射冲洗的是舱的底部与垂直壁的角落部位，一方面这部分油沉淀物较多，另一方面由于距喷嘴的距离也远，

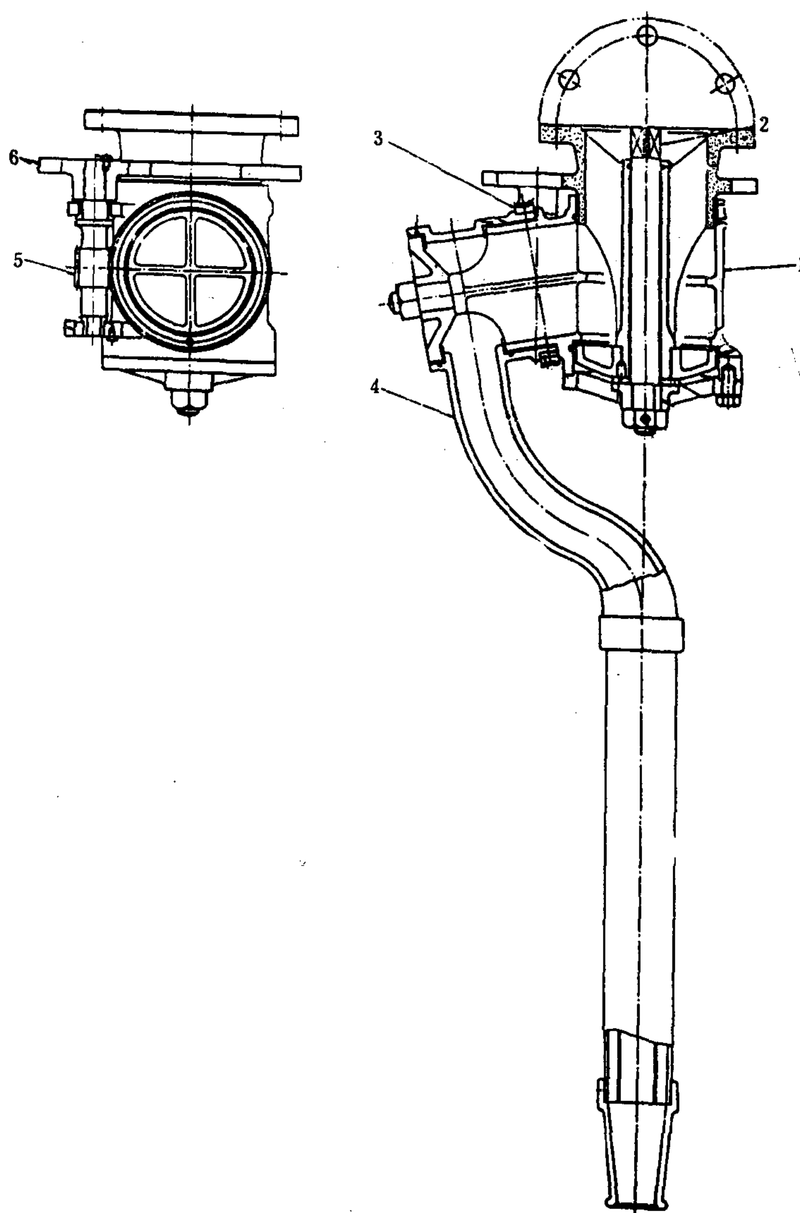


图 7.7.5—6　洗舱机喷嘴体

1—本体；2—传动立转；3—蜗轮；4—喷嘴；5—蜗杆；6—小齿轮

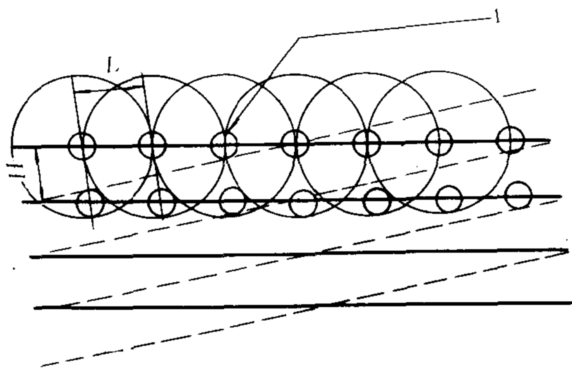


图 7.7.5—7 洗舱机喷油轨迹
1—洗舱机喷油点；L—水平 2 点间距离；
H—喷嘴回转一周上下移动距离

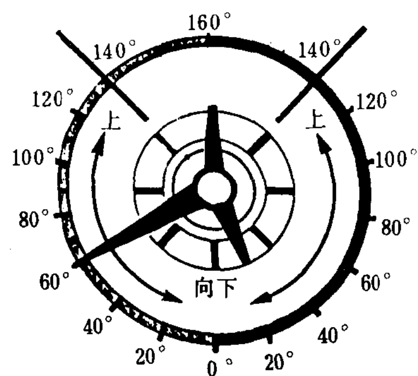


图 7.7.5—8 指示针面

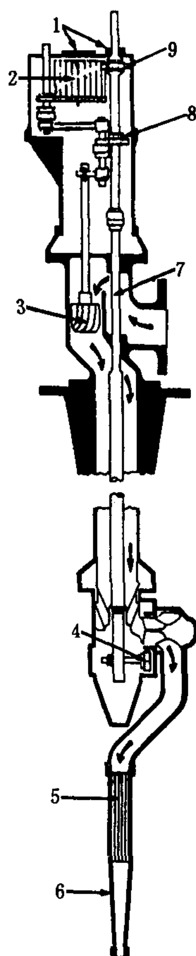


图 7.7.5—9 整体式涡轮驱动型单喷嘴洗舱机
1—指示器；2—滚动凸轮；3—涡轮；4—齿轮；5—喷嘴直管；
6—喷嘴；7—立轴；8—齿轮；9—滚子

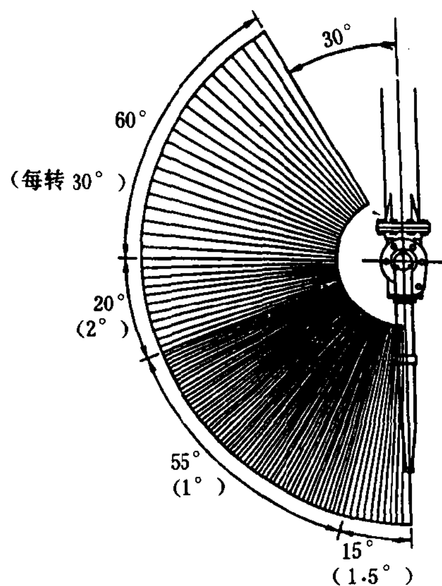


图 7.7.5—10 喷嘴移动的角度变化

所以垂直角变化应小一些，这样才可保证喷油的轨迹垂直间距离不致太大。最后到垂直于洗舱机的舱底，垂直变化角度即使大一些，两条轨迹之间的距离也不会太大。这样的设计符合对各部位清洗的客观要求，是这种洗舱机的优点之一。

3)独立驱动式单喷嘴洗舱机：

这种洗舱机具有独立的可分离的驱动装置。使用压力水或空气作为动力。当洗舱机工作时，可将独立驱动装置套在洗舱机的上部进行工作。

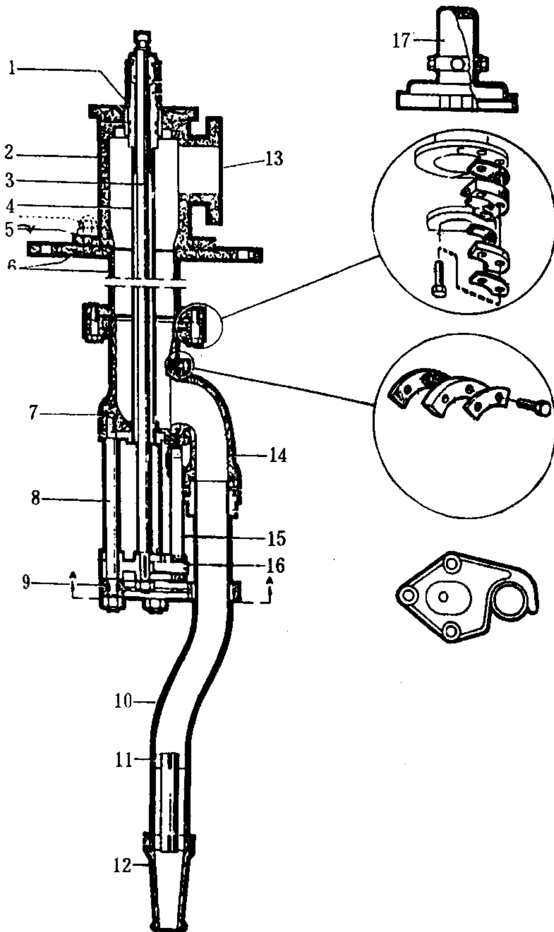


图 7.7.5—11　独立驱动式单喷嘴洗舱机

1—套座；2—本体；3—立轴；4—外套；5—法兰；6—甲板开孔板；7—喷嘴本体；8—导杆；9—托板；10—喷嘴；11—导流器；12—喷头；13—进油口；14—喷嘴接头；15—齿条；16—销杆；17—套帽

图 7.7.5—11 所示为洗舱机本体。它用法兰 5 安装在主甲板 6 上。当洗舱时，独立驱动装置可以套在立轴 3 上部的特殊接头上。当驱动装置转动时，立轴 5 在回转的同时产生上下移动。且立轴带动洗舱机喷嘴本体 7 一起回转。喷嘴 10 就会作 360°的转动。立轴向上(或向下)移动时，将托板 9 提升(或下移)。通过销杆 16 及齿条 15 使喷嘴接头 14 根部的齿轮转动，从而使喷嘴作垂直角度的改变。在洗舱机本体中没有驱动装置，洗舱油由进油口 13 进入后直接通过喷嘴接头 14、喷嘴 10 与喷头 12 喷射。

图 7.7.5—12 和 7.7.5—13 为驱动装置本体和内部传动结构图。特殊的接头 3 套在洗舱机主轴 3(图 7.7.5—11)上部的特殊接头上。气动活塞在气缸 13 内被压缩空气驱动作往复运动，带动棘爪杆 14 动作。棘轮 9 在棘爪 14 的推动下转动。当换向杆 10 向下移动时，就使离合器 11 与上部小齿轮脱开。这时棘轮直接带动下部小齿轮 6 转动，下部大齿轮随之转动。齿轮 5 中的方孔正好卡住洗舱机本体的套座 1(图 7.7.5—11)一起转动。洗舱机的立轴也随之转动。立轴 3 转动后带动主立杆 2 转动。由于主立杆外部具有矩形螺纹，而上部大齿轮 1 固定不转动。就迫使主立杆在大齿轮轴孔的螺纹套内转动同时向下移动。如果换向臂 10 向上移动，使离合器向上与上部小齿轮 12 接合。上部小齿轮 12 与下部小齿轮 6 同时向同一方面转动。由于上部小齿轮的直径比下部小齿轮大一倍，所以上部大齿轮 1 的转动速度比具有螺纹的主立杆 2 快一倍。这样迫使主立杆在回转的同时也慢速向上移动。通过驱动装置的动作可驱动洗舱机作 360°回转的同时，喷嘴在垂直方向向上或向下移动。

换向臂 10 的动作可通过专门的拨动机构按照要求的喷嘴垂直角度的变化范围控制。

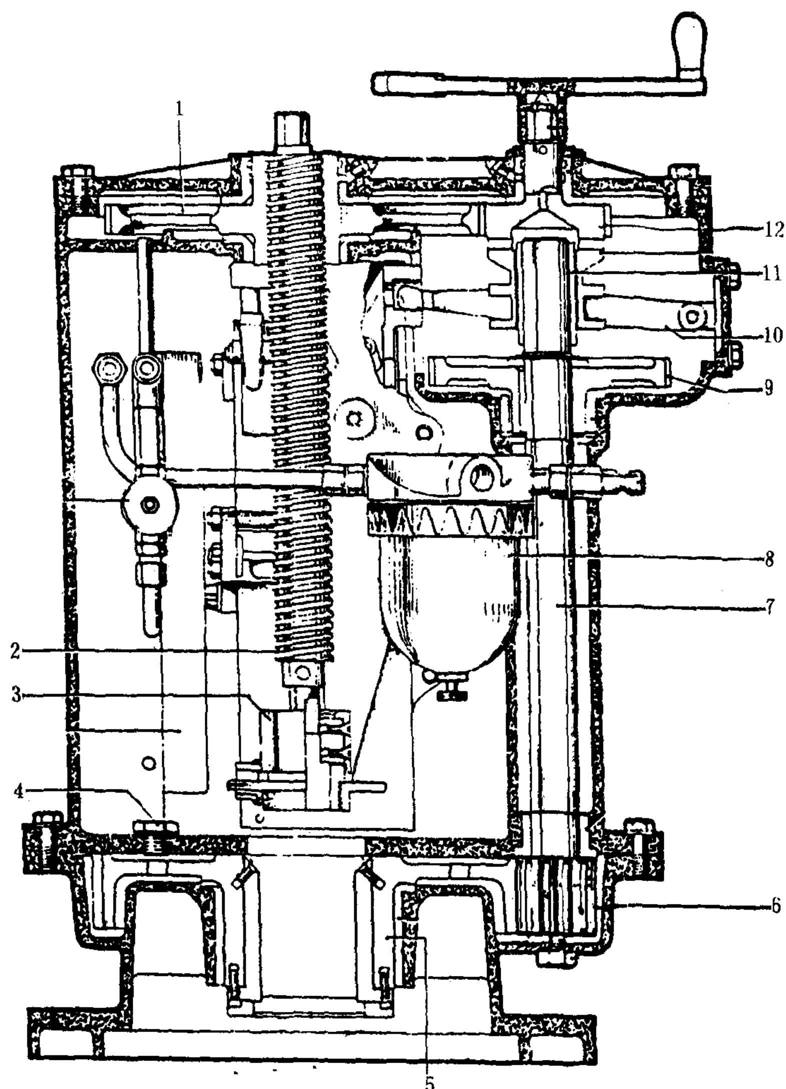


图 7.7.5—12　洗舱机驱动装置本体

1—上部大齿轮；2—主立杆；3—接头；4—加油孔；5—下部大齿轮；6—下部小齿轮；7　传动轴；8—油杯；9—主动棘轮；10　换向臂；11—离合器；12—上部小齿轮

3.6　原油洗舱作业

3.6.1　原油洗舱作业方式

原油洗舱作业一般均在油船卸油的同时进行。在需要对原油洗舱效果进行检验或进厂修理前的个别情况下，需要安排专门的时间进行原油洗舱。

洗舱方式不仅影响清洗效果，而且影响卸油时间和整个航运计划。每次洗舱时应根据装卸油计划，油舱污秽程度，设备状况和原油性质等决定。原油洗舱方式有多段清洗，一段清洗两种。

1)多段清洗：在卸油的同时随着舱内液位的下降，分段清洗露出的舱壁。一般分两段或三段清洗，进行上部、中部清洗时，清洗油不能直接冲击到油面上，因此，每段开始冲洗的时间和清洗角度范围要根据卸油速度及洗舱机转速确定。分段交界处要有一定重迭冲洗。

图 7.7.5—14 所示是三段清洗程序，当货油卸到一定程度，开始从 110°清洗到 60°，货油

继续卸掉后，再从 70°清洗到 30°，货油全部卸出后再从 40°到 0°进行底部清洗。

多段清洗效果好，特别是对高粘度原油，不易发生冲洗油粘附在舱壁上的现象，还可缩短因原油洗舱延长的卸油时间，但多段清洗操作复杂，工作量大。

2）一段清洗方式如图 7.7.5—15 所示。一般在油舱的货油卸完后，从顶部向底部一次连续清洗。一段洗舱所用的油来自另舱正在卸油的油。清洗用的油不能含有水分，也不能用不同品种油。因此采用另油舱的油作为清洗油时，必须将卸油舱中的油先卸掉 1m 左右的底部油后才可作为洗舱油。如果同一航次船上装有几种不同品种的原油时，要特别注意不能混油清洗。一段洗舱方式操作容易，但延长卸油时间较多。在不受卸油时间限制的条件下，一般均采用这种方式。

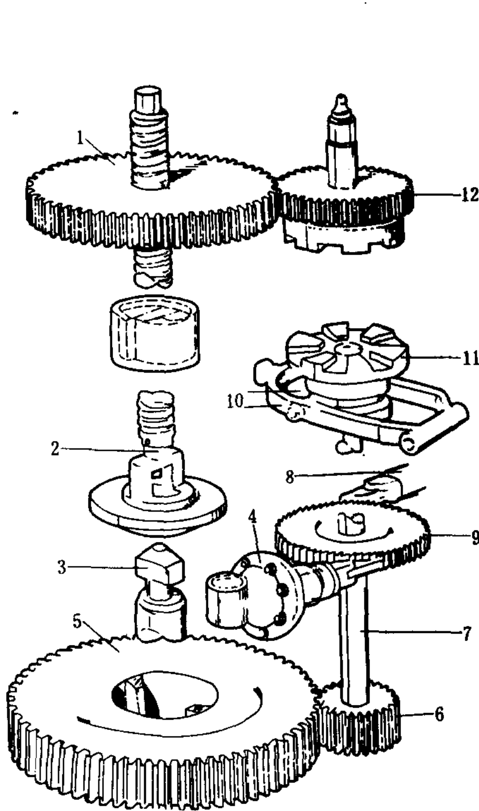


图 7.7.5—13 洗舱机驱动装置传动机构

1—上部大齿轮；2—主立杆；3—接头；4—气缸；5—下部大齿轮；6—下部小齿轮；7—传动轴；8—棘爪杆；9—主动棘轮；10—换向臂；11—离合器；12—上部小齿轮

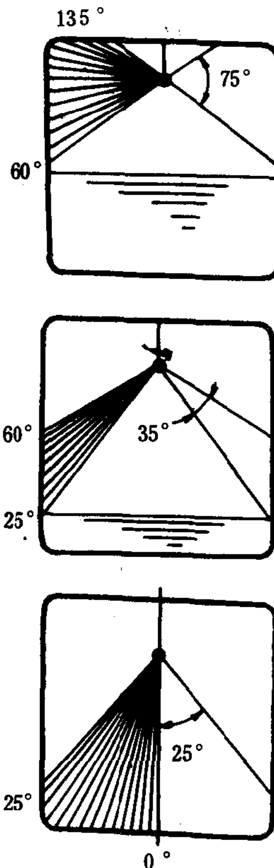


图 7.7.5—14 原油洗舱分段清洗程序

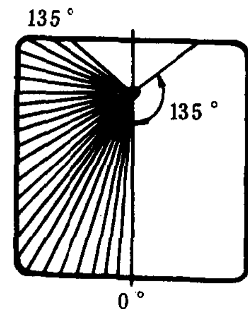


图 7.7.5—15 原油洗舱一段清洗程序

对舱内某些角落堆积的沉渣，很难一次冲洗干净。这时可采用重复清洗。例如，当洗舱机喷嘴转到 0°后，再使其回到 30°的位置重复洗到 0°，这为局部重复清洗。某些洗舱机也可以采用定点局部清洗。但时间不能过长。

3.6.2 原油洗舱作业的计划制订要求

在正常营运过程中，应根据油船航线，航运情况，制订年度计划。每航次至少清洗 1/4 油舱，每次均应包括附加压载舱。但其它货油舱在 4 个月之内，至少清洗一次。修船前二个航次应分批对所有的货油舱进行清洗。

每次进行原油洗舱之前，应制订详细计划。原油洗舱如与卸油同时进行时，则必须配合卸油计划一起制定。主要应考虑如下要求：

1)港口状况：

卸货码头水深，对卸货及原油洗舱的要求，输油管长度，数量，承受最大压力，允许的最大卸油速度等。

2)油船情况：

本航次洗舱目的要求和方法，拟进行洗舱的油舱数和舱号，洗舱机性能，货油泵和扫舱泵性能，舱内残油情况，惰性气体装置状况等。

3)吃水差：

卸货和洗舱时都要保持一定的吃水差，这样才能便于扫舱。一般应保持吃水差 4～6m 高粘度原油洗舱时，吃水差应取大一些。

4)船舶强度：

在整个卸货和洗舱过程中，船舶的弯矩和剪力均应在安全的范围内，卸货及洗舱中对各阶段船舶状态进行计算，校验其是否符合要求，如计算值在要求之外就要调节卸油和压载量，使其弯矩和剪力符合要求。

5)卸油速度和洗舱时间：

原油洗舱应在卸油过程中进行，不能因原油洗舱而停止卸油，洗舱开始时间一定在白天时间内，开始洗舱后夜间可连续进行。

6)油温控制：

油温过低会降低卸油速度，影响扫舱和洗舱效果；过高使大量轻度油分挥发，影响油质，浪费燃料，且易使泵产生气蚀。然而原油温度高洗舱效果好，所以对高粘度原油应在港口、货主允许的温度限度内，尽量保持高温。

根据以上要求制订具体操作计划，这计划又可分文字计划和图表计划。

1)文字计划包括：

(1)卸油计划：

包括卸油时的步骤和方法，要求和注意事项。

(2)原油洗舱计划：

写明洗舱过程步骤，清洗方式，各舱开始洗舱时间，使用洗舱机台数，洗舱机的角度设定范围和回转速度，洗舱油温、油压要求，操作方法，其它安全注意事项等。

2)图表计划包括：

(1)船舶状态表，同配载图表一样，主要标明卸油各时间的管线使用情况。船舶吃水差 、弯矩、剪力等。

(2)卸油和原油洗舱操作表，标明卸油过程各舱空档值，扫舱顺序和时间，原油洗舱顺序和时间，各泵使用时间和排量，吃水差等。

3.6.3 高粘度原油洗舱的特点

某些原油由于粘度高，流动性差和凝固点高，所以在用原油洗舱时，可能影响洗舱效果。采用高粘度原油进行洗舱，必须注意以下要点。

1)油温及舱内温度：

清洗用油的温度和被清洗舱内的气体温度(舱温)，对清洗效果影响很大。清洗油温过低，流动性差，喷嘴喷出的流速小，射程近，冲击力弱。舱温低，油在舱内向下流动及舱底部油的流

动均困难。根据各种高粘度油的性质必须加温保持清洗油的粘度在 $20mm^2/s$。例如对大庆原油，如果加热到 55℃左右则可达到要求。舱温应保持比油的凝固点高 10～15℃。例如大庆原油，油舱温度应保持在 42～45℃。

2)外界环境温度：

外界环境温度低时，舱内温度不易保持，且舱壁温度较低，原油易凝固在舱壁上，这时洗舱效果极差。

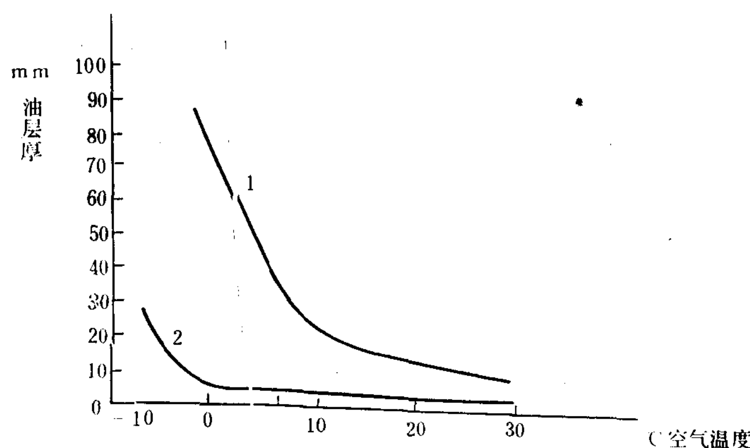
图 7.7.5—16 中所示是模拟试验台上实测的舱壁油层厚度随气温和水温的变化曲线(大庆原油)。图中曲线 1 是当舱内温度保持在 30～40℃时的情况，曲线 2 是当用 45～50℃的原油冲洗一次后的情况。从图中曲线可知当外界空气温度低于零度，水温低于 15℃时其效果均极差。解决办法是从货油装舱开始就保持较高的油温(约 45℃左右)，使其不易凝于壁上。此外根据油温的情况可采用重复清洗方式。效果可能好些。

3)扫舱设备及船舶状态：

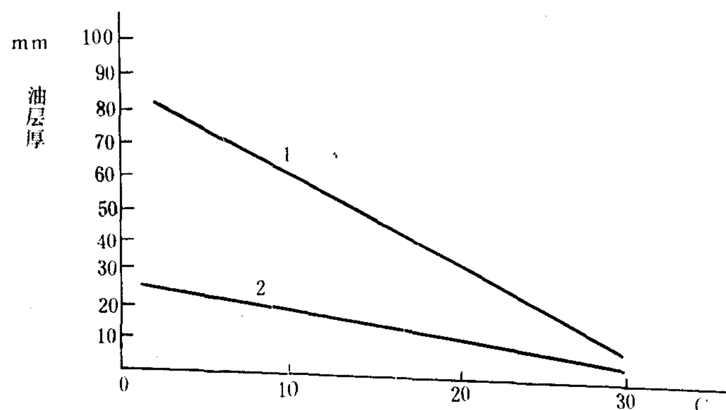
完好且具有较强能力的扫舱设备及其系统是保证洗舱效果良好的有效条件。如果使船舶具有较大的纵倾。油在舱内易于流动，集中于扫舱管的吸入口。对于一条 250m 左右总长的船舶，保持首尾吃水差达到 6m 以上较为理想。但最少不能小于 4m。

4)舱内加温管的布置：

为保证油舱各处都不易凝结，舱底纵材之间应有加热管通过，且越接近舱底越好。



a)当舱壁外是空气时，壁内的油层厚度



b)当舱壁外是水时壁内的油层厚度

图 7.7.5—16　壁面油层厚度与环境温度关系曲线图

1—未洗前；2—45～50℃油洗一次

3.7 原油洗舱作业的安全

3.7.1 原油洗舱静电的产生和防止

油船上主要有以下情况产生静电：

1)油在输油管内流动,摩擦管壁产生静电,且流速越高,静电压越大。

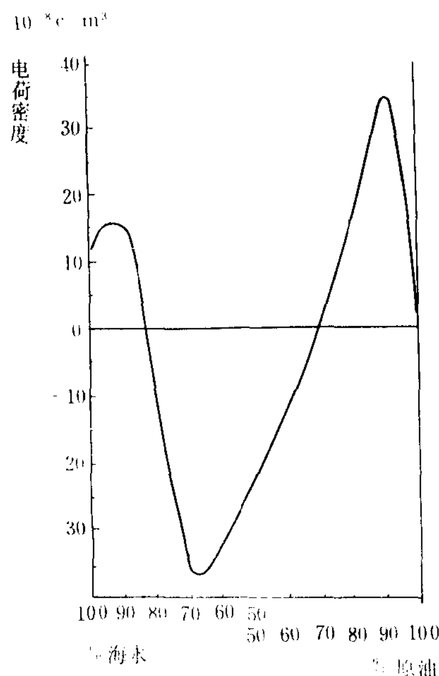


图 7.7.5—17 油水混合比与静电荷的关系

2)洗舱水或油冲刷舱壁或其它构件,喷射液流与舱内气体的摩擦产生静电。洗舱液的压力越大,流速越高,舱内含油水雾越浓,产生的静电压越高。

3)洗舱油中含有水,或洗舱水中含有油时,静电会增大。图 7.7.5—17 所示为当油水混合时,产生静电的情况。从曲线中可知,当洗舱油中无水或洗舱水中无油时产生的静电较小。而当油中有少量水时产生的静电很高。

4)在洗舱过程中产生的静电压大小决定于货油舱的深度。当喷射液流在舱中的喷射距离越大时,产生的静电压也越大。此外当油舱加深时,喷射液流的最后段可能出现带静电的液滴,这些液滴带有较高电位的静电,当它和舱底或其它构件相碰前的瞬间就可能产生静电火花。一般认为当舱深大于 20m 时,静电火花出现的危险性更大。

5)在洗舱液中添加化学药剂进行洗舱,会增大静电压。

6)用压缩空气或蒸汽冲洗油壁或油管,会产生较大的静电压。

7)固体摩擦产生静电,如穿化纤衣服,橡胶或塑料靴,金属等产生摩擦而出现火花。

为了防止静电火花的产生,必须防止产生过高的静电压外,还要防止触发电火花条件的形成。

防止静电危害的措施如下：

1)限制装卸油的速度：

一般最好为 2～4m/s 以下稳定地油流。

2)洗舱机的排量与压力应加限制：

一般单个洗舱机排量在 $60m^3/h$ 以下较为合适,只有使用固定式洗舱机,且舱内惰化情况下才可使用大排量洗舱机。

3)不准用压缩空气及蒸气洗舱及冲刷管路。

4)不能用有化学添加剂的液体洗舱,特别注意不准用这种液体通过洗舱机洗舱。

5)不准用循环水洗舱。也不准用混有水的油洗舱。当原油洗舱时,必须将作为洗舱油的油舱内先放出 1m 后方可作为洗舱用油。用水洗舱时,必须用清洁的海水直接通过加热器加热后使用。

6)在洗舱及清除油气期间,不准任何东西引入舱内。在洗舱后 5h 内及停止装油后 1 小时内,不许对舱内进行手锤测量及取样等作业。

7)人员走出起居区进入货油舱区时,应在出入口处的专用金属板上消除人体静电。在货油

舱甲板区禁止穿脱衣物。

8)最有效的是使货油舱内惰化，向舱内充注惰性气体。在此条件下作业，洗舱机的排量和压力，装卸油速度等可不受限制。

3.7.2 货油舱的惰化和压力的保持

向货油舱内充注惰性气体是保证安全的有效措施。货油舱内惰化以后，即使有较大的静电集聚，也可防止产生电火花。爆炸的可能性大大减少。

充注惰性气体及保持舱内正压的办法可参见本篇第4章。

3.7.3 原油洗舱期间的安全操作程序

为了确保原油洗舱的安全，在洗舱开始前，进行中，结束后均应进行安全检查。需要检查的范围及内容应根据油船的情况或按洗舱所在港口提出的检查表逐项进行。

1)到达卸油港前的检查：

(1)是否已通知港口当局？

(2)氧气分析仪是否试验过？工作是否正常？

(3)洗舱管路是否已与水加热器和机舱隔离？

(4)固定洗舱机上的所有阀门是否已关闭？

(5)洗舱管路是否已试压？是否有泄漏(试压压力应为工作压力的110%)？

(6)卸货管系集合总管和洗舱主管上的压力表是否正常？

(7)惰性气体系统是否工作正常，各种警报和联锁是否试验过？

(8)舱内含氧量是否低于8%，压力是否高于2kPa(200 mmH_2O)？

(9)消防系统和设备是否正常？

(10)通讯系统是否检查试验过？

(11)组织计划是否制定？职务是否分配？职责是否明确？

(12)卸油计划/原油洗舱操作计划是否制订和安排好？

2)原油洗舱前：

(1)到港前的检查项目是否全进行完毕？

(2)关于卸油/原油洗舱操作，船方是否与岸上人员讨论过？定出易于执行的计划？

(3)甲板/货油泵间/控制室间及控制室/岸间的通讯联系是否正常？工作是否正常？

(4)货油控制室及货油泵间的状况是否正常？

(5)固定的及手携的氧气分析仪是否已检查？工作是否正常？

(6)惰性气体系统工作是否正常？惰性气体总管中含氧量是否在5%以下？

(7)货油舱中的氧气含量是否在8%以下？

(8)所有货油舱是否处于正压状态？

(9)是否指定专人在原油洗舱开始时负责对甲板所有管路检查泄漏？

(10)按洗舱程序要求的固定洗舱机是否装妥？

(11)泵间及甲板上的所有管路及阀门是否已检查？

3)原油洗舱进行的检查：

(1)供应的惰性气体质量是否经常检查记录？

(2)是否经常检查甲板管路和机械的泄漏情况？

(3)原油洗舱是否仅在指定的原油舱内进行？

(4)洗舱管路的压力是否符合《操作手册》的要求？

(5)洗舱机的回转次数是否符合《操作手册》的要求？

(6)正在操作的洗舱机及配备的驱动装置是否经常检查？工作情况如何？

(7)有否专人始终在甲板上监视？

4)原油洗舱之后的检查：

(1)洗舱管路的原油是否已排放？

(2)卸油管路和洗舱管路之间的所有阀门是否关闭？

(3)洗舱机上的所有阀门是否关闭？

(4)所有的货油泵、舱及管路是否已按《操作手册》相应地排油？

5)当出现下列情况时必须停止洗舱：

(1)惰性气体系统发生故障。

(2)舱内含氧量大于8%。

(3)发生漏油事故尚未处理。

(4)雷雨、闪电即将到来，或出现大风浪。

(5)通讯设备发生故障，工作人员之间无法联系。

(6)在船上或附近产生火灾，或出现可能产生火灾的因素。

(7)它船有与本船相碰撞的可能。

(8)其它船舶靠泊本船。

(9)接到港方或有关领导机关的停止作业命令。

(10)其它由指挥或监督人员认为有必要停止作业的情况。

3.8 原油洗舱的检验

3.8.1 检验目的

检验是确认原油洗舱系统是否符合国际海事组织A446(X1)决议关于“原油洗舱系统的设计、操作和控制技术条件”的要求。此种检验称为原油洗舱系统的效用检验。决议中规定在效用检验时，在货油舱用原油洗舱后但在水刷以前，应进入舱内进行检视。为去除油脚可在驱除油气以前对舱底部用水冲刷。检视的结果应确认舱内基本上没有油粘附物和油沉积物。如果对舱底进行了水冲刷，还必须用一个类似的经过原油清洗但未经水冲刷的舱进行压水后测量水表面的浮油量。浮油的容积和该油舱的容积之比不应超过0.00085。该项检验只要在一系列相似的货油舱中的某一舱进行。例如，一艘具有14～16货油舱的油船，可能只需对5至6不相似的货油舱进行检验。此外如果主管机关认为几艘油船在所有有关方面相似，则可只要求在其中的一艘船上进行。

效用检验应在船舶首次装油航行后一年之内或在第三个航次结束之前进行。检验工作由验船师执行，并作为最后发给船舶国际防止油污证书(Iopp)的依据。

3.8.2 检验评价的方法

根据以上规定，检验评价的方法各国船检机关各异。我国船检局规定采用舱内清洁度的估算评分办法进行检验。日本船检局的办法与我国相似，现说明如下。

舱内清洁度的估算是根据对舱内的检视、检查和估算。验船师应将舱内检查期间所记录的未经油洗的面积范围，以及残存的油粘附物和沉积物的量进行估算以后按表逐项进行评分。对所检验的各舱均应填算一表格，如全部通过分数线，可认为原油洗舱的效果和洗舱机的数量和安装位置等达到公约的要求。

进行油洗的范围估算时有下述原则：

1)由清洗的面积决定洗舱机喷嘴的直接喷射和有效的反射、飞溅。

2)存留在舱底的铁锈、泥沙或油粘附物所覆盖的面积不视为未被冲洗到的面积范围。

3)在垂直构件范围内，包括舱壁、舱壁桁材，底桁材和中龙骨等主要大型构件的垂向面积均应考虑。残留在边纵向龙骨和纵向舱壁的加强材上的少量油，在计算清洁面积时不考虑。

4)在水平构件范围内，包括舱底，水平梁和舱底龙骨等主要大型构件的水平面积均应考虑。

5)将判定的未冲洗到的面积与总面积的百分比估算值填入表中。

进行清洗效果的评定时有下述原则：

1)根据水平桁和舱底的油粘附物和油沉积物来评定，其量的计算方法可根据以下情况进行。

2)残存的原油和油混合物，应作 100%计算。

3)软性油：液渣状的软性油和浮在水表面的以及包含在水中的油，应作 100%计算。

4)硬性油渣：类似凝胶体状不易浮在水表面上的油，可作 20%计算。

5)铁锈或泥沙上附着的油，可按 20%计算。

6)将估算的油量体积数记入表中。

测量油洗后货油舱内压水的浮油量，应向舱内输入海水，海水面应超过舱内中间纵横的隔舱板，而使全舱呈统一的自由液面。应用专门的水面油层测量仪对水面浮油进行取样和测量。测量应在不同的位置取 2～3 个点各测量 2 次以上，取其平均油层厚度乘以该舱的水平面积即为浮油量总体积，这体积值不超过该舱容积的 0.0008 即为合格。

3.8.3 进舱检查的安全

为了确保原油洗舱以后进舱检查人员的安全应按下述要求逐项检查，落实以后才可组成 3 人小组进舱。进舱检查应在白天进行。

1)参加检验的有关人员是否熟悉检验程序?

2)检验舱的舱底是否已经水刷和扫舱?

3)舱内人行道是否安全牢固?

4)全部舱盖和开口是否已完全敞开？是否已备有防止人员坠落舱内的相应措施?

5)相邻舱内惰性气体压力是否在 2kPa(200mmH_2O)以下?

6)惰性气体风机是否关闭?

7)通向舱内惰性气体支管应予可靠地封闭，以防止浸入被检查的舱。

8)货油泵、专用压载泵和扫舱泵是否已停止运转?

9)所有相邻的舱中货油是否已排出?

10)货油管、压载管路上所有阀门是否关闭?

11)舱内是否保持强力通风？首部、尾部是否有压缩空气软管通入舱内?

12)是否已组成 3 人检查组，包括一名验船师、一名值班驾驶员和一名船员?

13)在舱的入口处，是否已安排两名有资格的船员对舱内检查人员进行看护和抢救?

14)在舱的入口处是否已备有以下安全设备和仪器?

①2 组自储式呼吸器；

②2 条带救生索的安全带；

③2 只防爆手电筒；

④1只防爆步话机；

⑤1付带绳索担架；

⑥1套苏醒器。

15)看护人员是否已熟悉抢救操作程序?

16)在舱内和甲板及甲板和驾驶室(或货油控制室)之间是否保持有效的通讯联系?

17)舱底气体含氧量 O_2(在进舱前测量)。

18)舱底气体中碳氢气浓度(在进舱前测量)。

19)舱内气体是否符合安全规范要求?

$$O_2 \geqslant 21\%(\text{容积})$$

$$CH \leqslant 5LEL\%$$

20)舱内是否已确认无有毒气体存在?

21)检验小组使用的手提式 O_2 分析仪动作是否正确?

22)检验小组使用的手提式测爆仪动作是否正确?

第 6 章　货油舱加温系统

1　货油舱加温系统

1.1　加温系统的用途和分类

当油船装运较高粘度的油类时，为了保证较顺利地卸油，必须加温使货油粘度降低，具有较高的流动性。

目前，按照加温方式，货油加温系流有用蒸汽直接通入油轮加温管的直接加温系统和用蒸汽加温货油后，再将货油引入舱内加温的间接加温系统。

1.2　直接加温系统

现今油船上最普遍采用这种系统。自锅炉来的加温蒸汽，引入敷设于货油舱底部的蛇形盘管。蒸汽在管内对货油加热，本身被冷凝成凝水后流回机舱的凝水集水箱中，再用水泵输入锅炉。

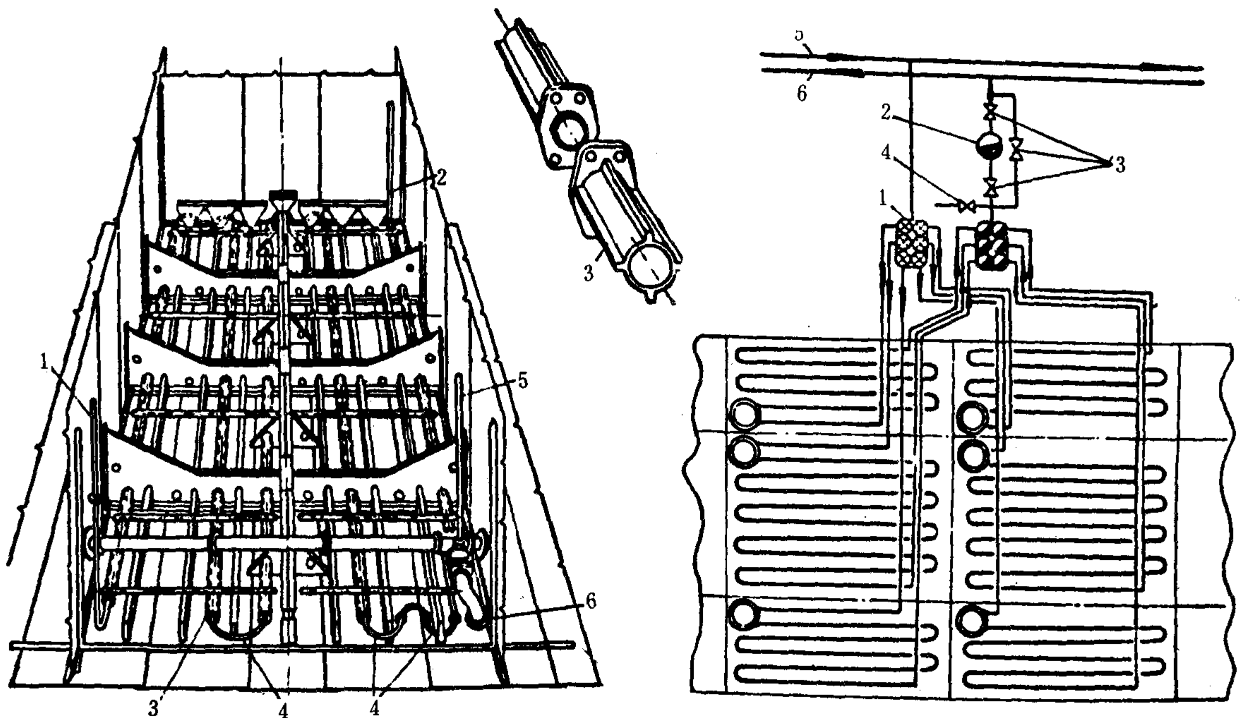


图 7.7.6—1　肋片式蛇形加温盘管
1—来自甲板的进汽管；2—通向甲板的排汽管；3—肋片加温管；
4—连接弯管；5—闸阀操纵杆；6—吸油口

图 7.7.6—2　光管式蛇形加温盘管
1—蒸汽阀箱；2—阻汽器；3—截止阀；
4—泄水阀；5—蒸汽管；6—排汽管

较老式的是肋片式蛇形盘管，如图 7.7.6—1 所示。这种盘管由铸铁制成肋片直管，再用有法兰的钢质弯管加以连接。由于铸铁肋片管重量较大，传热性能差，采用法兰连接增加维修工

作量。所以近年建造的油船均不采用。新油船上大多采用光管式蛇形盘管加温系统。如图7.7.6—2所示。盘管材料用钢、铅黄铜或铝合金等。

钢管虽然价格便宜但不耐腐蚀且传热系数较小。铅黄铜不易腐蚀，传热系数较大，应用较广，但较昂贵。

为了提高加温的机动性和有效性，通常将舱内的蛇形盘管分成2～4组并联工作。当其中一组漏泄时，可将该组切断，加温仍可进行。有时为保证卸油吸入口的畅通，在其周围加装一组螺旋形的加温盘管，如图7.7.6—3所示。

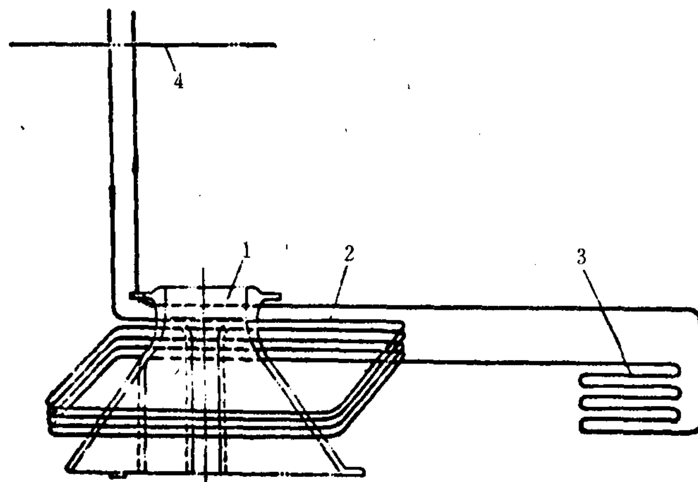


图7.7.6—3　螺旋形加温盘管

1—吸入口；2—螺旋形盘管；3—蛇形盘管；4—主甲板

在排汽沿总管进入机舱后，首先排列凝水集水箱(热水井)。凝水集水箱应有专门的观察窗，以便能及时发现凝水表面的浮油。一旦观察到凝水表面有较多的浮油，即可判定加温管有漏泄。这时应立即通过各组加温管在甲板上的泄放旋塞查明漏泄的管段，并将其切断隔离，停止工作。待以后修船时再行修复。设置凝水集水箱除了能发现加温管的漏泄外，主要是防止油类进入锅炉和向系统中补充淡水。

1.3　对直接加温系统的要求

根据规范等要求大致有以下几点：

1)加温管材料应采用无缝管。材料为钢、铅黄铜或铝合金。管径可在32～50mm之间选用。

2)舱内加温管应布置均匀，且每个纵横材的空间中都应有加温管通过。

3)舱内加温管原则上不应采用法兰联接。

4)加温管应尽可能靠近舱底，但应便于检修、更换。一般至舱底距离取100～150mm。

5)舱内加温管必须紧固在支架上。支架焊接在船体构件上，但不能焊在船体钢板上。每个支架之间的距离视实际情况而定。支架与管子之间应有0.5～0.8mm的铅皮垫片。

6)舱内所有的盘管，在安装时必须注意与其它管子或船体构件等保持一定的间距，不得相碰以免船体振动等原因使其摩擦损坏或发生火花。

1.4 间接加温系统

由于直接加温系统需要在舱内敷设管路，无论在安装加工或修理时均较困难。当加温盘管损坏时，也不易发现漏泄处，即使发现在运油过程中也无法进行修理。需修理时必须停航，增加了非营运时间。

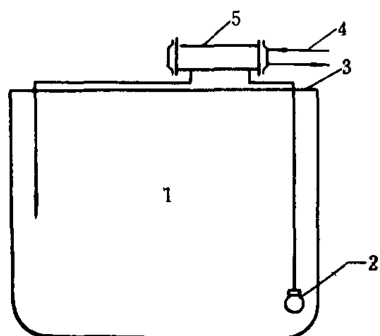


图 7.7.6—4 间接加温系统原理图
1—货油舱；2—独立深舱泵；3—主甲板；4—加热蒸汽；5—加热器

近年来某些船舶采用间接加温系统，最早在各货油舱具有独立深舱卸油泵的油船上应用；随后在一般油船上也得到推广。图 7.7.6—4 所示为这系统的原理图。

要在各货油舱内设置一台液压驱动的深舱输油泵。输油泵将舱内的货油抽出送到置于主甲板上的加热器中，经加温后再回到货油舱中。根据需要和可能，货油加热器可以每舱一台，也可几个货油舱共用一台。这系统的优点是在舱内不必敷设加温管，活力较强。但增加了一套液压系统。此外舱内油温必须经常保持在货油能流动的最低值。

2 直接加温系统估算

2.1 对加温的要求

货油的加温温度取决于货油的粘度。通常将油类加温到相当于粘度 30～40mm²/s 的温度，货油即可有效地卸出。对于采用原油洗舱的货油加温温度要求较高。应使其粘度达到 20mm²/s 左右。货油加温达到的最高温度必须考虑其轻质油份不能被挥发。例如我国生产的大庆、胜利等原油，在运输过程中不允许超过 60℃。

加温蒸汽的压力通常在 0.6～1MPa 之间。

加温系统的加温能力，除了考虑加温的最高温度外，还应考虑加温温度上升率。当前世界各国造船厂和船主一般均按美国壳牌石油公司的要求为依据。另根据航线、港口条件及货主的要求作适当的调整。壳牌石油公司的要求如表 7.7.6—1 所示。

表 7.7.6—1 **美国壳牌公司对货油加温要求**

油舱	当海水温度为 5℃、空气温度为 2℃时	
	原油船	成品油船
一般货油舱	小于 15 万 t 油船从 44℃加温到 66℃为 4 天	从 55℃加温到 75℃为 5 天
	等于或大于 15 万 t 油船从 50℃加温到 60℃为 6 天	
污油舱(需加温后供洗舱用，加热总货油量的 4%)	从 15℃加温到 66℃为 24h	从 15℃加温到 66℃为 24h

2.2 加温计算

加温计算主要确定加温管的总面积、加温管总长度和蒸汽消耗量。

当前世界各国计算方法的原则均相同，只是对某些系数的选用有些不同。表 7.7.6—2 为

一般常用的计算表格及我国对系数的选取范围。

表 7.7.6-2　**货油加温计算**

序 号	名　　称	符　号	单　位	公 式 或 说 明
1	油舱装油量	w	t	已知
2	油的初温	t'	℃	已知
3	油的终温	t''	℃	已知
4	油的平均温度	t_m	℃	$t_m=\frac{2}{3}t''+\frac{1}{3}t'$①
5	t_m 时的比热	c	J/kg・℃	按 tp 查有关油物性表或取 c≈2000②
6	油加温时间	t	h	已知
7	油实际吸收热量	Q_1	J/h	$Q=W\cdot c(t''-t')10^3/\tau$
8	舷外水温度	t_1	℃	③
9	舷外空气温度	t_2	℃	③
10	邻舱温度	t_3	℃	③
11	油接触水线下舷板面积	F_1	m^2	已知
12	油接触船底面积	F_2	m^2	已知
13	油接触水线上舷板面积	F_3	m^2	已知
14	油舱的甲板面积	F_4	m^2	已知
15	油与邻舱接触面积	F_5	m^2	已知
16	油与水线下舷板接触面传热系数	k_1	$w/(m^2\cdot ℃)$	19.77
17	油与船底面传热系数	k_2	$w/(m^2\cdot ℃)$	6.98
18	油与水线上舷板接触面传热系数	k_3	$w/(m^2\cdot ℃)$	19.77
19	油向甲板面传热系数	k_4	$w/(m^2\cdot ℃)$	8.72
20	油向邻舱壁传热系数	k_5	$w/(m^2\cdot ℃)$	5.82
21	油散失的热量	Q_2	J/h	$Q_2=[F_1\cdot k_1(t_m-t_1)+F_2\cdot k_2(t_m-t_1)+F_3\cdot k_3(t_m-t_2)+F_4\cdot k_4(t_m-t_2)+F_5\cdot k_5(t_m-t_3)]3600$
22	加热所需总热量	Q	J/h	$Q=Q_1+Q_2$
23	加热蒸汽压力	P	MP_a	已知
24	加热蒸汽热焓	H_1	J/kg	查蒸汽表
25	加热蒸汽凝水热焓	H_s	J/kg	查蒸汽表
26	1kg 蒸汽放热量	Δ_{io}	J/kg	$\Delta_{io}=H_1-H_s$
27	1kg 蒸汽有效利用热	Δ_i	J/kg	$\Delta_i=0.95\Delta_{io}$
28	加热蒸汽耗汽量	G	Kg/h	$G\doteq Q/\Delta_i$
29	加热蒸汽温度	$t's$	℃	按 p 查蒸汽表
30	加热蒸汽凝水温度	$t''s$	℃	按 100 估算
31	加热蒸汽平均温度	ts	℃	$t_s=(t'_s-t''_s)/2$①
32	加温盘管传热系数	k_o	$w/(kg\cdot ℃)$	$k_o=3.5(t_s-t_p)-580$
33	考虑管路污垢影响的传热系数	k	$w/(kg\cdot ℃)$	$k=0.9k_o$

续上表

序号	名称	符号	单位	公式或说明
34	加温管面积	F	m^2	$F=\frac{Q}{K(t_s-t_p)\cdot 3600}$
35	加温盘管外径	d	m	在 0.036 到 0.05 之间按管子标准选取
36	加温管内径	d_i	m	按管子标准选，一般壁厚 2mm
37	加热管长度	L	m	$L=\frac{F}{\pi\cdot d_0}$
38	并联管程数	Z	—	按实际条件并考虑注④要求
39	每联的管长	l	m	l=L/z
40	货油舱舱容	V	m^3	已知
41	加热面积比	R	m^2/m^3	R=F/V

① t_m 为算术平均值。如需精确计算，可用对数平均值 Δt_m，t_s 相同。

$$\Delta t_m=\frac{t''-t'}{2.3\ln\frac{t-t'}{t-t''}}$$

② c≈2000 为估算时取用值。

③ 在实际计算时可按实际环境测取。在设计时可按船主要求或取下列值：

舷外水温度 5℃

舷外空气温度 2℃

邻舱温度 2℃

④ 一般并联管程数为 2～4。每联的管长不宜过长，否则将增加阻力，降低传热效率。每联管长最好不超过表7.7.6—3 所示数据

表 7.7.6—3 **管长选气值**

dw mm	25	32	40	50
L m	120	160	200	320

某些设计单位和船主在设计货油舱内加温系统的加温面积时，采用下列加热面积比 R 作为判断值。

$$R=\frac{加温盘管总面积\ m^2}{货油舱容量\ m^3}\qquad m^2/m^3$$

实际上加热面积比 R 目前没有统一标准。一般对于载货吨位大的船比值较小。根据我国某一 6 万 t 载重量级的原油船，加热面积比 R 大约为：中舱 0.01m^2/m^3，边舱 0.015～0.017 m^2/m^3，污油舱 0.03～0.065m^2/m^3。按上述表 7.7.6—2 的计算结果基本符合这个数据。表 7.7.6—4为某些船舶加热面积比的实际数据，以供参考。

表 7.7.6—4 **加热面积比数据 m^2/m^3**

建造国家及油船吨位	中舱	边舱	污油舱
日本造 91600t 原油	0.008	0.012	0.03
日本造 60000t 原油	0.007	0.012	0.03
挪威造 55000t 原油	0.01	0.017	0.03
中国造 60000t 原油	0.01	0.015	0.065
瑞典造 50000t 原油	0.0131	0.0156	0.03

续上表

建造国家及油船吨位	中　舱	边　舱	污　油　舱
瑞典造 40000t 原油	0.0164	0.0326	—
西德造 40000t 原油	0.0146	0.0218	0.0328
日本造 32000t 原油	0.013	0.023	0.086
瑞典造 31300t 成品油	0.0122	0.0234	0.065
荷兰造 30000t 成品油	0.0182	0.0218	—
日本造 15000t 成品油	0.0117	0.0222	0.0817

我国 6 万 t 级的原油船，其加温系统加热温升情况如表 7.7.6—5 所示。

表 7.7.6—5　**6 万吨级原油船温升情况**

加温起始和终了温度℃		外界温度　℃						
		—4	0	4	10	14	20	30
起　始	终　了	加热时间　h						
30	46	62	59	56	53	51	48	44
34	46	47	45	43	40	39	37	33
38	46	32	31	29	28	26	25	23
40	46	25	23	22	21	19	18	17
30	55	102	97	93	87	83	78	71
34	55	88	84	80	74	71	67	61
38	55	73	69	66	63	59	55	50
40	55	65	62	59	53	49	47	45

注：表中数据为当加温蒸汽压力 0.8MPa，排汽压力 0.2MPa 的情况下，加温蒸汽耗量为 20.895t/h

第 7 章　甲板洒水系统

1　甲板洒水系统的用途

洒水系统是油船货油舱甲板的喷洒舷外水系统。由于甲板受到日晒，有时温度可达到60℃以上。为了保持轻质油份不过多地挥发而造成损失，因而需向甲板喷水以降低温度。认为当甲板温度过高后会导致油气自燃的说法并不确切。虽然戊烷的闪点温度为—10℃，已烷的闪点温度为—18℃，但要促使它们自燃必须有足够能量的明火或火花，试验证明它们自燃温度须达到230℃以上。所以甲板洒水系统的设置并不是为了确保安全，而是减少轻质油份的挥发。当然使用洒水系统后会给人以安全感。实际上对于装运原油的船没有必要装设洒水系统。而对于装运乙醚、汽油等轻质油的油船才考虑采用洒水系统。

2　甲板洒水系统

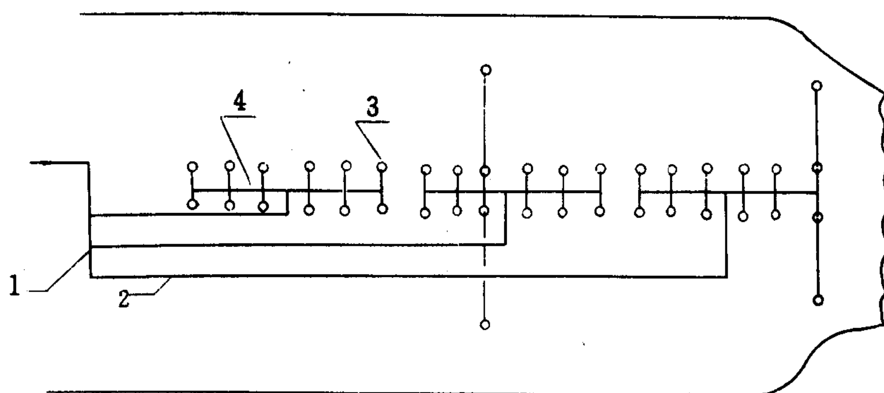


图 7.7.7—1　甲板洒水系统

1—总管；2—分管；3—喷头；4—支管

实用系统比较简单，图 7.7.7—1 所示为洒水系统的原理系统图。一般均用救火泵或通用泵输送舷外水到甲板的洒水总管、喷头沿甲板分成几组(图中所示分为三组)。每组由一根分管供水，并应保证船首的洒水管路中尚有较理想的供水压头。在每组的支管上，每隔一定距离向左右各引出一喷头。考虑到使水能较有效地分布，所以在首部和中部二处有较长的喷洒管。

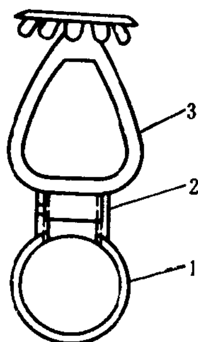


图 7.7.7—2　洒水系统的喷头

1—喷洒管；2—固定短管；3—喷头

喷头有多种形状，最简单的是将管端压成扁口，并将短管弯曲使扁口向上，以保证水能向上分散洒出。图 7.7.7—2 所示的喷头较复杂但效果较好。

喷头由铸铜合金制成。在出口处有花兰式支架，其项部有爪形挡板，喷头下部有螺纹可直接紧固在喷洒管上部的固定短管上。这种喷头喷出的水滴可呈伞形散落到甲板上。

洒水系统的水压力，一般在 0.2～0.4MPa 左右，喷头之间的距离视具体情况可在 3～4m 左右，使水能均匀地分布在整个甲板面上。

参考文献

[1] 中华人民共和国船舶检验局：钢质海船入级与建造规范及其修改通报，人民交通出版社，1983 年，1986 年

[2] 船舶检验局译：73/78 防污规范附则 I 防止油污规则，国际海事组织，1987 年

[3] 中华人民共和国船舶检验局：海船防污染结构与设备规范，人民交通出版社，1986 年

[4] 方竹等：原油洗舱在大型油舱上的应用，中国造船学会轮机委员会 1980 年论文集

[5] 方竹等：高粘度原油洗舱的研究，大连海运学院学报，1981 年第 2 期

[6] J. Crawford, C. Eng., F. I. Mar. E:

Marine and affshore pumping and piping systems, printed in England by Billing and sons limiled

[7] IMO: kegulation for the preuention of pollution By oil, London

[8] H. JIN: Reguirements of Annex I to MARPOL 73/78 and the practical Design, Nippon kaiji kyokai, 1985, 3

[9] Hy—OTAC Crude oil Washing Machine Instruction Manual

[10] 日本油轮协会：原油洗净调查研究委员会报告书，1976 年

[11] タこカ—荷役实务研究会：大型タこカ—の实务，成山堂书店出版，1981 年

[12] 日本船用机关学会：船用机关计画便览，コロ厂社出版，1969 年

第8篇　散装运输危险化学品和液化气体船舶的专用系统

第1章　散装运输危险化学品船舶的专用系统

1　定义及专用系统基本概念

1.1　有关名词术语的定义

1)货物区域：为散装化学品船舶上包括液货舱、污液舱、货泵舱(包括泵舱)、隔离舱、邻接液货舱的压载舱或留空处所，及上述处所之上整个长度和宽度范围内的甲板区域。如果货舱处所内设有独立液舱，则最后一个货舱后面或最前一个货舱前面的隔离舱、压载舱或留空处所不应算作货物区域。

2)化学品液货船：为建造或改建用来散装运输ＩＢＣ规则第17章所列液体货品的货船。

3)隔离舱；为两个相邻钢质舱壁或甲板之间的隔离处所。此处所可以是空舱，也可以是压载舱。

4)可燃性极限：为对燃料/氧化剂混合状态的极限条件，在此条件下，外加一个足够强的火源于给定的试验仪器中，正好能发生燃烧。

5)货舱处所：为由船舶结构围蔽，内部设有货物围护系统的处所。

6)独立：例如管系或透气系统，它们不与其他系统连接，并且没有任何设施可与其他系统进行潜在的连接。

7)分隔：例如一液货管系或液货透气系统不与另一种液货管系或液货透气系统相连接。此分隔可用设计或操作方法实现。在液货舱内不能使用操作方法，而应采取下列措施之一：

(1)拆去短管或阀并盲断管端；

(2)布置两个串联的盲通法兰，并设有探测这两个盲通法兰之间管段内有否渗漏的装置。

8)留空处所：为货物区域内在液货舱外部的围蔽处所，但不包括货舱处所，压載舱、燃油舱、货泵舱、泵舱或人员正常使用的处所。

9)起居处所：为公共处所、走廊、盥洗室、居住舱、办公室、医院、电影院、娱乐室、理发室、无炊具的配膳室以及类似处所。公共处所指大厅、餐室、休息室及类似的永久性围蔽处所等生活处所。

10)主管机关：为船旗国政府。

11)港口当局：为船舶装货或卸货港口所属国家的主管当局。

1.2 散装运输危险化学品船舶

简称散化船，是运载散装液体危险化学品货物的船舶。但是，不包括运载石油或下列类似易燃货品的船舶：

1）具有极大火灾危险性的货品，其危险程度超过石油产品或类似的易燃货品；

2）不仅具有易燃性，还具有其他极大危险性的货品，或虽然没有易燃性但有其他极大危险性的货品。

目前，散化船所能载运的化学品仅限于《国际散化规则》第17章最低要求一览表所列出的液体货物，这些液体在温度为37.8℃时，其蒸气压力不超过0.28MPa，且它们的特性均经过译定。

1.3 《散化规则》（BCH规则）和《国际散化规则》（IBC规则）

这两规则是目前散化船设计、制造和/或营运的基本依据，简介如下；

1.3.1 《散化规则》

1971年10月12日，国际海事组织（IMO）第七届大会通过了海大A212（vII）决议案，即《散装运输危险化学品船舶构造和设备规则》（code for the Construction and Equipment of ships Carrying Dangerous Chemicals in Bulk），简称《散化规则》或《BCH规则》，并于1972年4月12日生效。《散化规则》生效后，到目前已先后进行了十一次修改。《散化规则》只是推荐性要求，并非强制指令非执行不可的，但它仍被多数国家所采用，并纳入国家的规则之中，用来控制化学品船舶的构造和设备。同时，它也被航运界和造船界广泛采用。

1.3.2 《国际散化规则》

经过一段时间的实践和技术发展，在《散化规则》及其前几套修正案的基础上，国际海事组织重新制定了一个新规则，即《国际散装运输危险化学品船舶构造和设备规则》（International code for the Construction and Equipment of ships carrying Dangerous chemicals in Bulk），简称《国际散化规则》或《IBC规则》。这规则在1983年6月17日的国际海事组织海上安全委员会第48次会议上以海安会MSC 4（48）号决议案通过，并作为《74安全公约》第7章附录，成为强制执行的规则，并已于1986年7月1日生效。

《国际散化规则》所包括的技术领域和《散化规则》基本相同，但其内容尽可能更合理和充实。例如：使散化船破舱生存能力的要求和其他规则与公约的类似条款取得一致，增加了对货物管系的详细要求，并对危险蒸气可能积聚的处所提出了明确的通风要求。

1.4 货物种类

散化船上载运的货品，一般为石油化工产品、煤焦油产品、碳水化合物的衍生物、动物油和植物油以及大量的化学品。《国际散化规则》第17章表中共列出193种货品，但是，随着石油化学工业的发展，需要用散化船运输的危险石油化工产品逐年增加；所以在每次的国际海事组织BCH分委员会会议上，都有一些国家提出不少的新化学品，要求国际海事组织的有关部门来评定其危险性，以便补充到《国际散化规则》第17章的表中，并规定由散化船来运输。目前，该表已远不止193种危险化学品。

1.5 货物特性

散装运输的危险化学品的危险性，系指下列特性：

1)由化学品的闪点、沸点、爆炸范围和自然温度所确定的火灾危险性。

2)由下述情况确定的健康危害性：

(1)在气体或具有蒸气压力的蒸气状态下，对皮肤、眼、鼻、喉和肺粘膜产生的刺激或毒害作用；

(2)在液体状态下，对皮肤的刺激作用；

(3)毒性作用，由下列数值确定：

①口服致死剂量 50(LD50oral)；口服时，使 50%受试对象死亡的剂量。

②皮肤致死剂量 50(LD50skin)；皮肤接触时，使 50%受试对象死亡的剂量。

③致死浓度 50(LC50)；吸入时，使 50%受试对象死亡的浓度。

3)水污染危险性(毒害、气味、滋味)；

4)空气污染危险性；

5)对其他化学品或水产生反应或该化学品本身反应(包括聚合作用)的反应危险性。

1.6 船舶类型及液货舱布置

船舶在营运中，可能出现意外事故导致船舶破损，造成进水和液货的外漏，从而引起严重的后果。因此，有必要根据所装货品的危险程度，假定船舶的破损标准，并规定液货舱与船体外板之间的距离。为此，通常散化船分为三种类型。

I 型船舶：用于运输对环境或安全有非常严重危害的货品，需采取最有效的预防措施来消除货品外泄。

II 型船舶：用于运输对环境或安全有相当严重危害的货品，需采取有效的措施来消除货品的外泄

III 型船舶：用于运输对环境或安全有足够严重危害的货品，需采取中等程度的围护来增加破舱条件下的生存能力。

由上述定义来看，I 型船舶用于运输具有最大危险性货品的化学品船，II 型和 III 型船舶用于运输危险性相继递减的货品的散化船。《国际散化规则》对其适用的每一种化学品都规定了一种船型。到目前为止，只有对氯磺酸和磷规定用 I 型船舶载运，其他都使用 II 型或 III 型船舶。

液货不能装载于首尖舱和尾尖舱内。液货舱位置的布置要求如图 7.8.1—1 所示。

1.7 液货舱类型

按照液货舱(以下称液舱)与船体是否连接，液舱可分为独立液舱和整体液舱。按照液舱设计压力来分，可分为重力液舱和压力液舱。

液货围护壳壁不构成船体结构的连续部份者，即为独立液舱。。建造和设置独立液舱的目的，在于消除由于邻接船体结构的受力或变形所引起的应力。独立液舱不涉及船体结构的完整性。

液货围护壳壁与船体结构连成一体，壳壁为船体结构的组成部分者，为整体液舱。整体液舱能在同样情况下受力和经受同样的加于船体连续结构的负荷，整体液舱对船体结构的完整

性有非常重大的影响。

舱顶设计压力不大于 0.07MPa 的液舱为重力液舱。重力液舱可以是独立液舱，也可以是整体液舱。重力液舱的制造和试验，需按照主管机关认可的标准并考虑液货的运输温度和相对密度进行。

设计压力大于 0.07MPa 的液舱为压力液舱，压力液舱都为独立液舱，并且必须使用符合主管机关标准的压力容器设计准则进行设计。

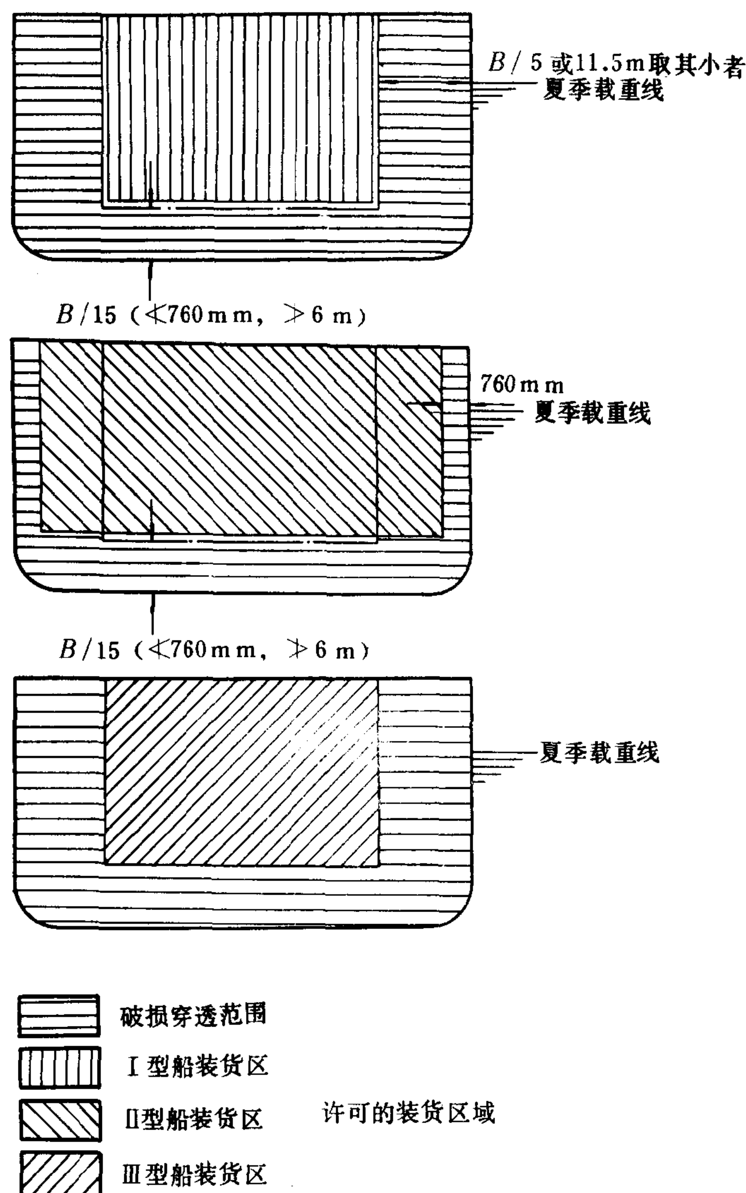


图 7.8.1-1 许可的液货舱位置

1.8 危险区域和安全区域

散化船载运的大多数化学品，在环境温度下都有大量的易燃气体或有毒气体或既易燃又有毒的气体散发出来；因此，这种船舶具有较大的燃烧和爆炸或毒性的潜在危害。就一艘散化船按其危险程度的大小来分区，可笼统地分成安全区域和危险区域。

安全区域是指不产生也不积聚易燃、易爆或有毒气体的区域，主要指尾隔离舱或泵舱后面的机器处所和船员生活区，以及首隔离舱或首泵舱前面的首楼区域；但是这些区域也不是绝对

安全的。因为，虽然从安全出发，国际散化规则规定了若干防护性条款，但危险区域的易燃、易爆或有毒气体还是有部分会扩散蔓延过来，只是数量很有限，因而，相对说较为安全。

危险区域是指货物区域以及液货管系布置区域。这个区域经常产生并积聚大量的易燃、易爆或有毒气体。对常规油船危险区域的主要问题是火灾或爆炸。减少这种危险的主要措施，是在可能产生液货蒸气的区域排除火源。从操作上要排除任何可能产生的火源，包括工作人员携带的火种；主要是排除电气着火源。而对散化船除了着火和爆炸危险以外，还必须考虑到毒性危害，所以应严格遵守《散化规则》和《国际散化规则》内，在“船舶布置”一节以及其他有关章节的规定。

2 液货装卸系统

2.1 系统的组成

液货装卸系统的功用，一是将岸上的待运化学品装入船上的液舱内，或将舱内的货品排到岸上的容器中；另是液舱之间互相驳运。为了完成上述使命，此系统必须具有输送化学液货的管路和货泵，控制液流的阀件，允许管路伸缩的膨胀接头以及其他辅助装置。

2.2 系统的分类

2.2.1 分组——总管系统

旧式的散化船上通常采用分组——总管系统，如图 7.8.1—2 所示。

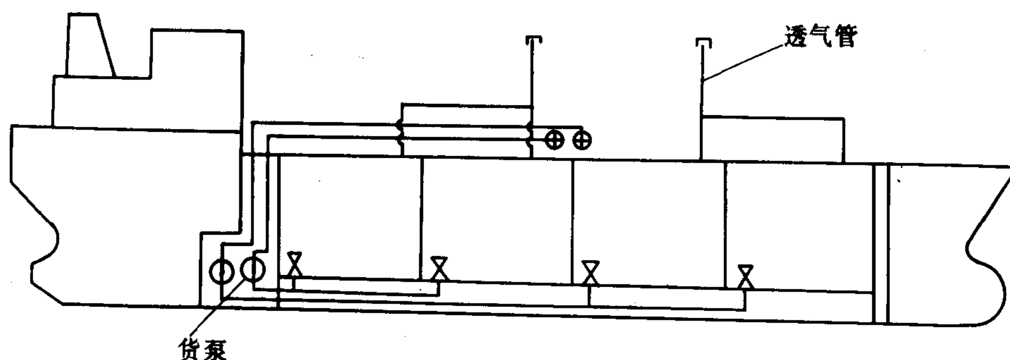


图 7.8.1—2 液货分组—总管装卸系统和透气系统

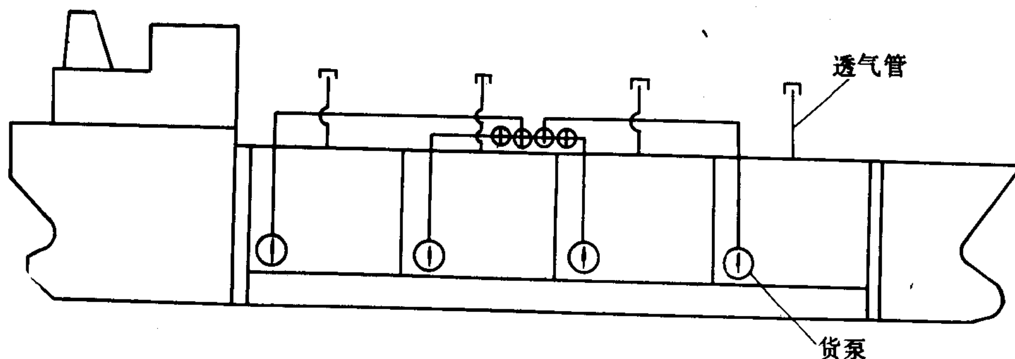


图 7.8.1—3 液货独立装卸系统和透气系统

这种系统的分隔能力较差，因此，使船舶载运液货的种类受到了很大的限制。虽然现在仍有一些新建的不很先进的散化船继续采用这种形式，但是这种形式将逐渐被独立系统所代替，即使在中小型化学品船也不例外。

2.2.2　独立系统

独立系统即一舱一泵系统，其货泵为沉浸式泵或深井泵。系统布置为图 7.8.1—3 所示。

这种系统的优点是具有最大的分隔能力，能在一艘船上载运品种更多的化学品；另外，通常从安全上认为货泵舱往往是着火、爆炸和人员伤亡的危险潜在地，因独立系统不需设置货泵舱，故从根本上去掉了一个危险潜在地，这是其独特优点。

如采用深井泵，其传动轴从甲板上的液压马达或电动机延伸至舱内；如为沉浸式泵，则泵由沉浸在液货中的液压马达直接驱动。在这种情况下，一个重要的问题是泵的结构应保证液货不会渗漏进入液压系统内，因为液压介质要返回到安全区域。如液压介质中混入任何易燃或有毒成分，都会带来严重的后果。因此须对密封性能定期检查，以确保密封的有效性。

2.3　受内压管管壁厚度

受内压管管壁厚度，需符合国际散化规则的规定。其计算公式参见本卷第 1 篇有关内容。其设计压力至少取 1.0MPa，但端部敞开的管子，设计压力可取不小于 0.5MPa。公式中的许用应力 σ，取下列两式中的较小值：

$$\sigma=\frac{\sigma_b}{A}\text{或}\sigma=\frac{\sigma_s}{B} \quad (7.8.1—1)$$

式中：σ_b ——环境温度下的材料抗拉强度下限值，MPa；

σ_s ——环境温度下的材料屈服强度下限值。如果应力——应变曲线上没有明显的屈服应力时，可采用 0.2%屈服应力；

A ——安全系数，不小于 2.7；

B ——安全系数，不小于 1.8。

管壁的最小厚度，需满足表 7.8.1—1 和表 7.8.1—2 中的要求。

表 7.8.1—1　**碳钢和碳锰钢钢管最小壁厚(mm)**

外径	10.2～12.0	13.5～19.3	20.0～44.5	48.3～63.5	70.0～82.5	88.9～108.0	114.3～127.0	133.0～139.7	152.4～168.3	177.8～219.1	244.5～273.0	298.5～368.0	406.4～457.2
壁厚	1.6	1.8	2.0	2.3	2.6	2.9	3.2	3.6	4.0	4.5	5.0	6.0	6.3

表 7.8.1—2　**不锈钢钢管最小壁厚(mm)**

外径	10.5	13.9～17.3	21.7～27.2	34.0～60.5	73.6～114.3	139.8～165.2	216.3～267.4	318.5～355.6	406.4～457.2	508	558.8	609.6
壁厚	1.2	1.65	2.1	2.8	3.0	3.4	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5

2.4　材　　料

由于化学品各自具有与不同金属反应的特性，为避免产生不良反应，在选用泵，管子和阀等材料时，应考虑到所载货品的特性、装载温度和压力。在《国际散化规则》第 17 章表“k”栏中，

以 N_1、N_2……N_8 等符号表示与相应货品或其蒸气所接触的泵，管子和阀等不能使用的材料，而以 y_1、y_2……y_5 等符号表示与相应货品或其蒸气所接触的泵、管子和阀等可以使用的材料。其具体要求如表 7.8.1—3 和表 7.8.1—4 所示。

表 7.8.1—3　**某些化学品不能使用的材料**

符　号	不能使用的材料
N_1	铝、铜、铜合金、锌、镀锌钢和汞
N_2	铜、铜合金、锌或镀锌钢
N_3	铝、镁、镀锌钢和锂
N_4	铜和铜轴承合金
N_5	铝、铜或它们的合金
N_6	铜、银、汞、镁和其他乙炔化合物形成的金属及其合金
N_7	铜和含铜量大于 1%的铜轴承合金
N_8	铝、锌、镀锌钢和汞

注：N_1、N_2……N_8 代表某些化学品不能接触的材料（具体化学品名称见《国际散化规则》第 17 章表"a"栏）。

表 7.8.1—4　**某些化学品可以使用的材料**

符　号	可以使用的材料
y_1	铝、不锈钢或具有适当保护衬层或涂层的钢
y_2	货品浓度在 98%或以上时为铝或不锈钢
y_3	货品浓度低于 98%时为特殊耐酸不锈钢
y_4	奥氏体不锈钢
y_5	不锈钢或具有适当护衬或涂层的钢

注：y_1：y_2……y_5 代表某些化学品可以使用的材料（具体化学品名称见《国际散化规则》第 17 章表"a"栏）。

熔点低于 925℃的结构材料，如铝及其合金，不能用作载运闪点不超过 60℃（闭杯试验）货品的液货舱外面的管路，但是与液货舱连接的外部短管，如果敷有耐火隔热层时，也可使用。

2.5　管路的连接

2.5.1　管段连接

由于散装运输化学品大都具有易燃性或毒性，或二者兼有，为了把化学品泄漏的可能性减少到最低程度，所以除了管子与阀和膨胀接头的连接可以采取法兰以外，管段与管段都要采取无法兰连接。其连接方式通常有下述三种：

1)根部焊透的对接焊接，可以用于各种情况。

2)套筒式焊接连接，其套筒尺寸和焊接工艺需经主管机关认可。这种连接只能用于外径 50mm 或以下的管子，但如可能产生缝隙腐蚀者，仍不得使用。

3)允许使用主管机关认可的螺纹接头，但这种连接只能用于外径 25mm 或以下的次要管路和仪表管路。

2.5.2　膨胀接头

在液货管路中可以使用弯管，或波纹管式膨胀接头，不能使用滑动伸缩式膨胀接头。

2.5.3　法兰与管段的连接

法兰与管段的连接，一般有三种型式，即整体对接型，套装焊接型和插入焊接型。插入焊接

型只能用于公称直径不大于50mm的管路。

2.6 试　　验

液货管系组装完毕后，需经受至少1.5倍设计压力的静压试验。但是，当系统全部或部分制造完成并装配好所有附件时，静压试验也可以在装船前在车间内进行。在车间内完成静压试验之后，如在船上安装过程中又进行过接头焊接施工，该接头焊缝仍须以1.5倍设计压力进行静压试验。

在船上安装完毕后，每一管系应进行密性试验，如以液体介质进行密性试验，则试验压力应至少等于正常使用时的工作压力。

2.7 修理时的注意事项

液货管路的修理与液货舱的修理一样，必须严格按照“人员安全”和“防火安全”的原则进行。“人员安全”是指货舱或工作处所应达到工作人员不需要穿戴防毒面具或防护服即可进入或接近，不会发生窒息、中毒或其他伤亡危险。“防火安全”是指货舱或工作处所无易燃液体或固体的残余物，如果发生火焰迅速蔓延时仍然不发生危险，以及其可能残留或产生的气体(或气雾)不致与舱内空气形成浓度超过最低爆炸极限(L·E·L)20%的混合气。

同时还应注意使周围处所符合“防火安全”的要求，为此，可采取注水或惰性化。

上述“人员安全”和“防火安全”应由主管机关按防爆要求进行检测合格并取得动火许可证。

3 液货温度控制系统

3.1 系统的作用

有些液货如酚、苯等凝固点较高、为使在运输过程中始终保持液态，故在运输过程中需要加热；而有些货品如二乙醚和二氯乙烯等，沸点较低，在运输过程中极易蒸发，如果货物围护系统的设计不能承受该液货在45℃时的蒸气压力，为了保证液货围护系统的安全，则应设有机械式制冷系统，对液货进行冷却，使液货在液货舱的设计压力下温度低于其沸点。上述加热和机械式制冷系统，统称为液货温度控制系统。是否需要对液货进行温度控制，由所运输液货的性质以及液货围护系统的设计来决定。

3.2 加热或冷却系统的布置

液货加热或冷却时，加热或冷却介质，应在下述管路内运行：

1)独立于船上其他服务项目(为另一液货加热或冷却系统服务除外)，并且不进入机器处所；或

2)在装运有毒货品的货舱之外；或

3)在介质循环到船上，其他用途或进入机器处所之前，介质取样分析，检查有无液货存在，以策安全。

3.3 液货加热系统

根据上述要求，液货加热系统的布置有下列几种方案：

1)加热盘管放在液货舱之外；

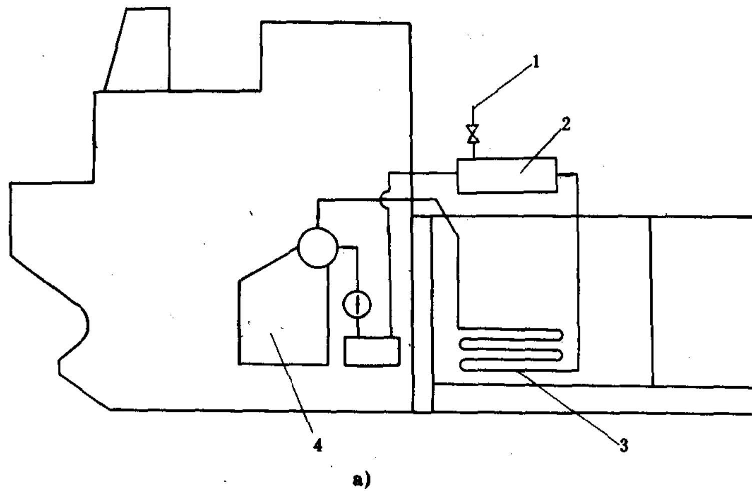
2)采用初级/次级双蒸汽加热系统，次级管路全部位于液货区域内；

3)冷凝水全部排出舷外；

4)冷凝水经甲板上的观察柜再返回机舱，观察柜设有取样和分析设备。

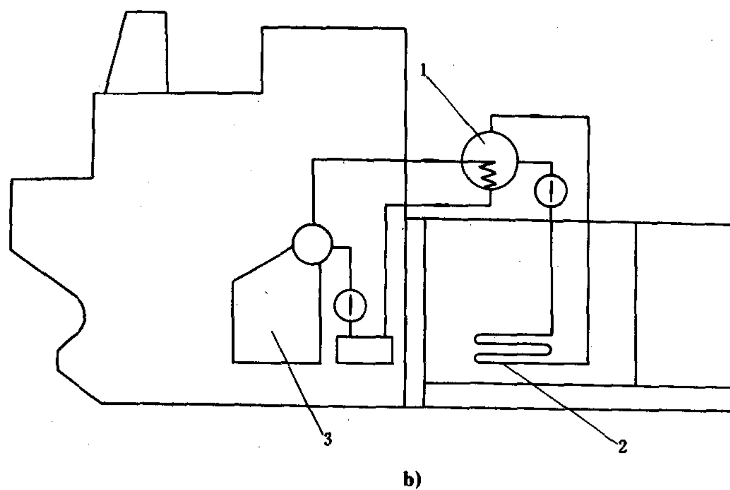
系统的布置如图 7.8.1—4a)、b)和 c)所示。

如今用得最多的是双蒸汽系统。



a） 有毒货物加热系统

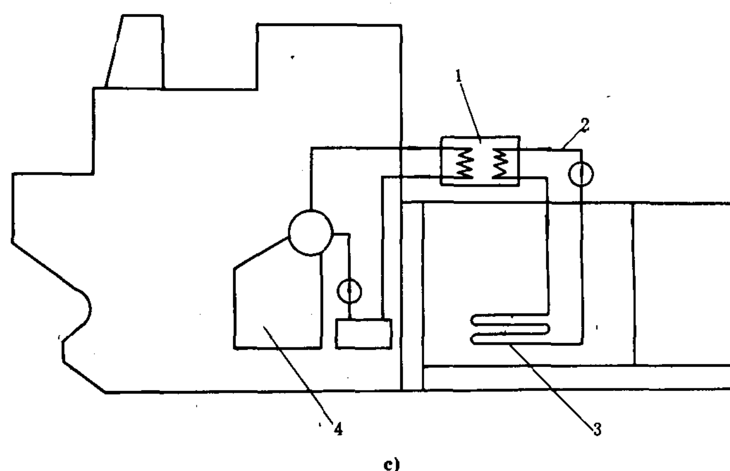
1—冷凝水取样出口；2—冷凝水柜；3—加热盘管；4—蒸汽锅炉



b)初级/次级蒸汽加热系统

1—蒸汽发生器；2—加热盘管；3—蒸汽锅炉

图 7.8.1—4



c） 水反应性货物的加热系统

1—热交换器；2—热油回路；3—加热盘管；4—蒸汽锅炉

图 7.8.1—4

3.4 冷却系统

为确保冷却及安全性，散化船的冷却系统与液货气体船的冷却系统基本上相同，但其系统布置则较为简单。详见本篇第3章的有关内容。

3.5 加热介质的选用

加热介质通常为水蒸气，但加热介质必须与被加热的液货是相容的，如果液货具有水反应性时，就不能采用水蒸气加热，应该用油或其他介质加热。一般，加热介质的温度不应超过220℃。

当液货不需要加热或需将可拆加热盘管从液舱内拆除时，应将加热系统用盲极封闭。

3.6 温度测量

为了不使液货过热或过冷，须对液货温度加以测量，液货的温度测量设备可分为限制式和封闭式两种。

1)限制式：测量设备穿入液货舱内，在使用时，允许少量液货蒸气或液体泄入大气中，如安放在限制式测量管内下部的可携式温度计。

2)封闭式：测量设备穿入液货舱内，并进行封闭，能防止液舱内的物质泄出，如传感器放在液舱内的遥测式温度计。

如果液货过热或过冷可能导致危险状态发生时，还应设置温度报警装置，以便监测液货的温度，及时采取措施，避免发生危险。

4 液货舱透气系统

为了保证液货舱结构的安全，各液货舱都设有透气装置，以便限制液货舱内的压力或真空

度。同时，透气装置也是保证正常的装卸作业和其他作业不可缺少的安全措施。

一般，透气系统须具有下述两种功能：

在装卸货、驱气和除气过程中，能使大量的气体进出液舱；在正常航行中，能使少量的舱内蒸气从液舱内排出，或少量的气体进入液舱。

4.1 透气系统的布置

液货舱透气系统的布置方式通常有两种，一种为公用总管系统；另一为独立系统，就是一舱一管系统。在决定采用哪种系统时，首先考虑所装的液货品种，如果装运多种液货，一般都采用完全独立的系统。其次考虑所装化学品的毒性和反应性危险，因为这些特性也决定有无必要将系统分开。即使所装液货没有上述危险，在采用非独立透气系统时，还必须充分注意防止由于互相污染和不能保持纯度而造成的货损，这在使用中应特别注意。

另外，透气系统也可以分为开式和控制式透气系统。

1)开式透气系统：指在正常作业中，允许液货舱内的液货蒸气通过它自由流动，除摩擦损失和防火网阻力外，不受任何限制的系统。这种系统只能用于闪点60℃(闭杯试验)以上，且吸入后对人体健康无明显危害的液货。开式透气系统可以是独立的，也可以是公用总管式的。在任何情况下，在独立透气管上或总管上都不能设置截止阀或其他关闭装置。

2)控制式透气系统：指每个液货舱的透气管上都装有压力/真空阀的透气系统。用压力/真空阀来限制液舱中的压力或真空度。控制式透气系统可以是独立的，也可以是公用总管式的，但它们仅将透气管的压力侧按货种汇合成一个总管或几个总管。在任何情况下，其压力/真空阀的上面或下面都不能装设截止阀或其他关闭装置，但可以对压力/真空阀加装旁通管路。

透气系统的布置原理图，见图 7.8.1—2 和图 7.8.1—3。

4.2 透气管出口的位置

从透气管排出的液货蒸气，大多为易燃气体或有毒气体或二者兼有，为避免发生危险，对透气管出口在露天甲板上的高度，以及与安全区域内的处所及着火源之间的距离，均应加以限制。

透气管出口在露天甲板上的高度应不低于 4m，如果透气管设在距离前后步桥 4m 之内时，则透气管出口高度应在步桥之上不低于 4m。

如果在透气管出口端装有主管机关认可型的高速透气阀(其典型结构，可参见本卷第 7 篇第 2 章有关内容)，且此阀能引导透气管排出的气体以至少 30m/S 的速度向上排出时，则透气管在露天甲板或前后步桥上的高度，可降低到 3m。目前，大多数散化船的透气管端均装有高速透气阀，在营运过程中，应定期检修高速透气阀，以确保其高速透气功能。

透气管出口与起居处所，服务处所和机器处所的空气进口或开口以及着火源的水平距离至少为 10m。

若液货为有毒货品，透气管出口在露天甲板或步桥以上的高度，应不低于 B/3(B 为船宽)或 6m，取其大者。透气管出口与起居处所，服务处所和机器处所的空气进口或开口以及着火源的水平距离至少为 15m。

易燃蒸气的透气出口，应设有效而易于更换的防火网或认可型的安全附件，如高速透气阀等。

4.3 压力/真空阀的调整

根据不同的液货和不同的用途，压力/真空阀需要有合适的调整值。一般除考虑液舱设计压力外，压力/真空阀的调整值取决于下列几个因素：

1)考虑限制危险的货物蒸气释放的必要性。有些液货由于其蒸气毒性相当严重，故必须限制其向外释放。因此，要相应提高其压力/真空阀的调整值。

2)考虑液货舱内保持惰化环境的需要，压力/真空阀也需要有合适的调整值。这种用途的压力/真空阀须能使液舱内在任何时候都保持至少为0.007MPa的正压力。

3)考虑到控制易蒸发液货和贵重液货蒸发损失的必要性，也要适当提高压力/真空阀的调整值，以便减少液货损失。

5 环境控制系统

为了保证船舶和人员的安全，对液货舱内的蒸气空间和液货舱的周围处所(有时需要)内的气体成分加以控制，形成安全的环境，此即环境控制。

5.1 环境控制的方法

1)惰化法：在液货舱及其有关的管路内以及某些规定的液货(如氧化丙烯)的液货舱周围处所内，充满不助燃也不与液货反应的气体或蒸气，并维持此种状态。

当采用惰化法时，如果岸上没有随时可供使用的惰性气体，则船上应携带或能制造足够的惰性气体，以便供给液货舱充注或卸货时使用，此外，还应能补偿航行途中的正常消耗。

船上的惰性气体系统，在任何时候都应能使液货舱内至少保持0.007MPa的表压力。

2)隔绝法：在液货舱及其有关管路内充注液体，气体或蒸气，使液货与空气隔绝，并维持此种状态。

当采用隔绝法时，提供隔绝介质的系统和装置，应具有与惰化法对惰性气体系统要求的类似效能。

为了保持正确的气体成分，在液面以上空间应设有监测装置，用来监测液面以上空间所覆盖的气体成分。

3)干燥法：在液货舱及其有关管路内充注干燥气体或蒸气，并维持此种状态。所谓干燥气体或蒸气，指在大气压力下露点为—40℃或更低的气体或蒸气。

如果采用干燥法并以干燥氮气作为介质，则供应干燥剂装置的效能，应与前面所要求的惰性气体装置相同。若液货舱的空气进口处用干燥剂作为干燥介质时，在船上应备有足够航行期间使用的介质。同时，在计算时，应考虑一天内的温度变化以及预期的湿度范围。

4)通风法：对液货舱或其周围处所进行强制通风或自然通风。

5.2 惰性气体系统

散化船上装设的隋性气体系统，如果采用烟气，则系统的布置和所采用的设备，应符合对油船的惰性气体系统的要求，可参见本卷第七篇有关章节。

若采用其他方法供应惰性气体，船上也应设置固定的管系，用来分配惰性气体。此外，系统中还要设置接受岸上惰性气体和向岸上回输惰性气体的必要接头。

每个被惰化的处所，都应能与惰性气体系统隔开；为了防止惰化处所内超压，应设置必要的控制装置和释放阀等。液化舱惰化的惰性气体管路，应尽可能与其他处所的系统分开。通常，惰性气体系统和液货管系之间的驱气和/或除气连接管路，在不使用时，应拆除可拆短管，并将相应接头用盲板封闭。

惰性气体系统的布置及隔离装置如图 7.8.1—5 所示。

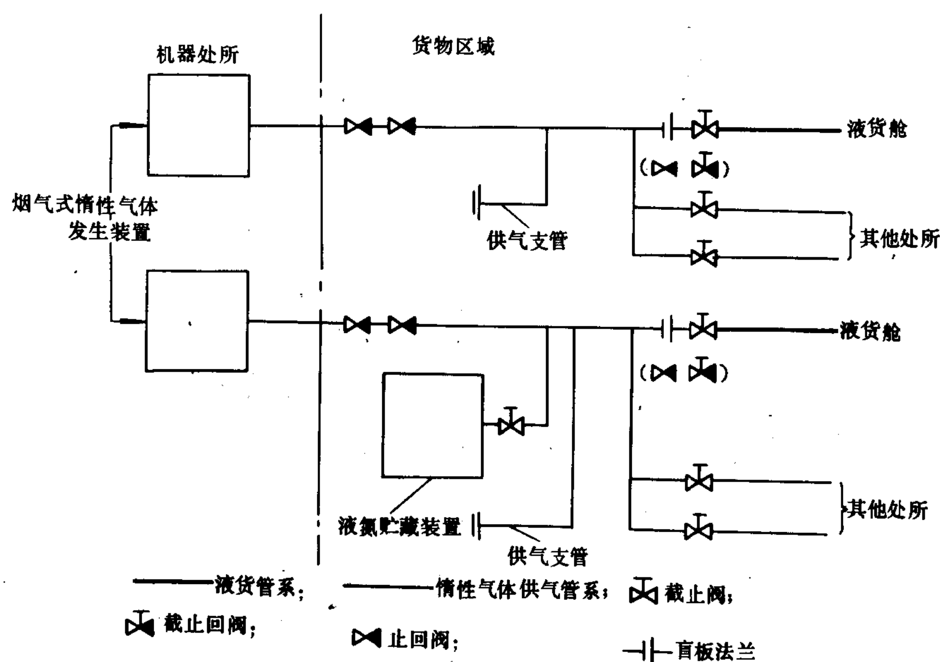


图 7.8.1—5　惰性气体系统

6　灭火系统

6.1　货泵舱灭火系统

散化船的货泵舱应设有固定灭火系统，一般可以任选《74 安全公约》第 II—2 章第 5 条规定的 CO_2 灭火系统或卤代烷灭火系统。这两种灭火系统释放的报警装置，都应能在易燃液货蒸气/空气混合气体中安全工作。

选用 CO_2 灭火系统时，船上携带的 CO_2 数量，应为货泵舱总容积 45%的自由气体。

如果选用卤代烷灭火系统，使用的灭火剂数量，按货泵舱的总容积来计算，其体积浓度分别为：

卤代烷　1301——7%

卤代烷　1211——5.5%

卤代烷　2402——0.3kg/m^3

如果拟装载的液货不宜采用 CO_2 或卤代烷进行灭火，经主管机关认可，也可以在货泵舱内设固定压力水雾灭火系统或高倍泡沫灭火系统。

上述灭火系统的工作原理，布置及使用方法参见本卷第 6 篇第 2 章。

6.2 液货舱区域的保护——甲板泡沫系统

1)散化船的液货舱内,一般不设置固定灭火系统,但应在液货区域的甲板上设置甲板泡沫系统,用以保护液货区域。这种系统使用的泡沫剂,通常为耐乙醇泡沫。

2)甲板泡沫系统泡沫溶液的供应速率应按照下述各点计算,并取其大者。

(1)按液货舱甲板面积计算,应为 $2L/(m^2 \cdot min)$,液货舱甲板面积指船舶最大宽度乘以货物区域的纵向长度;

(2)按有最大水平截面积的单个液货舱的面积来计算,为 $20L/(m^2 \cdot min)$;

(3)按最大泡沫炮保护的面积(此面积在泡沫炮的前方),为 $10L/(m^2 \cdot min)$,但不小于1250L/min,载重量小于4000t的散化船,泡沫炮的最小排量可为1000L/min。

船上储备的泡沫液数量,在以上述最大的喷射速率喷射时,至少能持续喷射30min。

甲板泡沫系统的泡沫溶液,是通过泡沫炮和泡沫枪喷射的,每个泡沫炮的喷射量应不少于(1)和(2)所要求的泡沫喷射速率的50%。任何泡沫炮喷射泡沫溶液的能力,应至少向它保护的甲板区域提供每 $10L/(m^2 \cdot min)$的泡沫炮溶液,而这个区域完全位于该泡沫炮的前方,其总排量不小于1250L/min。每个泡沫炮至前面被保护区域最远点的距离,应不大于它在静空气中射程的75%。

泡沫灭火系统的工作原理、布置及使用方法参见本卷第6篇第2章。

7 货物区域内的通风系统

7.1 装卸货过程中经常进入的处所

装卸货过程中经常进入的处所,是指货泵舱和装有液货处理设备的其它围蔽处所,以及需要在里面进行液货作业的类似处所。因为在作业过程中,不可避免地有液货或液货蒸气的泄漏,并积聚在处所内。为了及时清除这些易燃和/或有毒气体,需设机械抽风系统,且通风系统应能在处所外面进行控制。为了保证人员的安全,在进入这些处所之前,需要进行预通风,因此,应在处所外的明显地点设置说明用途的告示牌。

这些处所的通风系统应为固定的负压抽风,即诱导式通风,并能从花铁板上面和下面抽出,但装设驱动货泵的电动机机舱应为正压通风。这些处所的机械通风进口和出口需合理布置,以保证有足够的空气进入。按照处所的总容积来计算,通风系统需具有不少于30%次/h的换气能力。对于某些特别易燃和/或毒性较大货品的货泵舱,其通风系统的换气能力需增加到45%次/h。

这些处所通风管道内的气体具有较大的危险性,所以通风管道不应通过起居处所,服务处所或机器处所或其他类似处所。这些通风系统的排出管道应向上方排出,排出口与通风进气口,起居处所,服务处所,控制站和液货区域之外处所的开口的水平距离应至少为10m。为了防止异物进入通风系统内,在通风系统外部开口处,应设有网孔不大于13mm×13mm的保护网。

除了在装卸货过程中经常进入的处所外,还有其他处所,如非货泵的其他泵舱和其他围蔽处所也应按上述原则通风,只是其换气量可减少至不小于20次/h。

7.2 不经常进入的处所的通风

液货可能积聚的处所如舱底、隔离舱、箱形龙骨、管隧、货舱处所以及其他处所应能进行通风，以便在必须进入这些处所时，保证有一个安全的环境。

这些处所的通风系统可以是固定的，也可采用可移式通风机。但可移式通风机的型式需经主管机关认可。

无论经常还是非经常进入的处所，通风所用的通风机均应为防爆型的，具体要求与油船货泵舱通风机相同(参见本卷第5篇第3章)。

8 液位测量和气体探测系统

8.1 液位测量系统

为了及时掌握液舱内液货的存量，液货舱需设有适当的液位测量装置。

某些液舱允许采用开敞式液位测量装置，即在测量液位时允许舱内气体外溢，这时应符合下列条件：

1)国际散化规则第17章表中规定允许采用开式透气装置者；或

2)设有液货舱压力释放装置，在使用测量装置之前，可将舱内压力释放者。

除了以上情况外，液舱液位测量装置必需采用封闭式装置，液位由遥测显示器进行指示。这类测量装置的具体结构，工作原理及使用参见本卷第7篇第1章。但应注意这些测量装置的探测和传感元件必需耐散化液货及其气体的腐蚀。

8.2 气体探测装置

载运有毒或易燃货品或二者兼有时，应设有测毒和测爆两套蒸气探测设备。此种设备专为所探测的蒸气而设计，并经试验校正。如果不能兼用于检测毒性气体浓度和易燃气体浓度的毒气检测和测爆仪时，需配备两套具有单独功能的设备。

如果某些货品的有毒蒸气，没有适用的探测设备时，可要求主管机关免除对该液货蒸气进行探测的要求。如获准免除，则在“国际散装运输危险化学品适装证书”上应做出适当的记录，此外，还必须相应增加船上呼吸用空气的供应，并且要在“国际散装运输危险化学品适装证书”上有所记载。

蒸气探测设备可以是固定式的，也可以是可携式的。若装置一个固定系统，则至少还应配备一个可携式设备(测爆仪或毒气检测仪)。

9 高液位报警装置和溢流控制装置

国际散化规则第17章表中“m”栏规定，大多数化学品都需要在液货舱设置高液位报警装置或高液位报警装置连同溢流控制装置。

9.1 高液位报警装置

它应能在液货舱内的液位达到正常满载时，发出声光报警信号，并在每次装货之前加以试验，以证实其工作的可靠性和准确性，高液位报警装置应与液位测量系统和溢流控制装置分开，即其传感器和工作回路应单独设置。

9.2 溢流控制装置

有些化学品的液货舱（见国际散化规则第17章“m”拦），除了要求设高液位报警装置以外，还要设溢流控制装置或超高液位报警装置。溢流控制装置除了上述与高液位报警装置分开以外，也要与液位测量系统的正常液位报警装置分开。后者非常重要，因为现在很多厂家生产的液位测量系统都具有液位报警功能，但不是独立的，所以不符合国际散化规则的规定，因而不能作为高液位报警装置，更不能作为溢流控制装置。

图7.8.1—6为两种高液位报警装置和溢流控制装置（或超高液位报警装置）的系统图。其一是浮筒式系统，另一是电溶式系统。从图中可见，高液位和超高液位报警器虽然并入同一装置，但由于各自的传感器电路在电器上互相独立，所以这两种系统是符合国际散化规则要求的，因而可以采用。

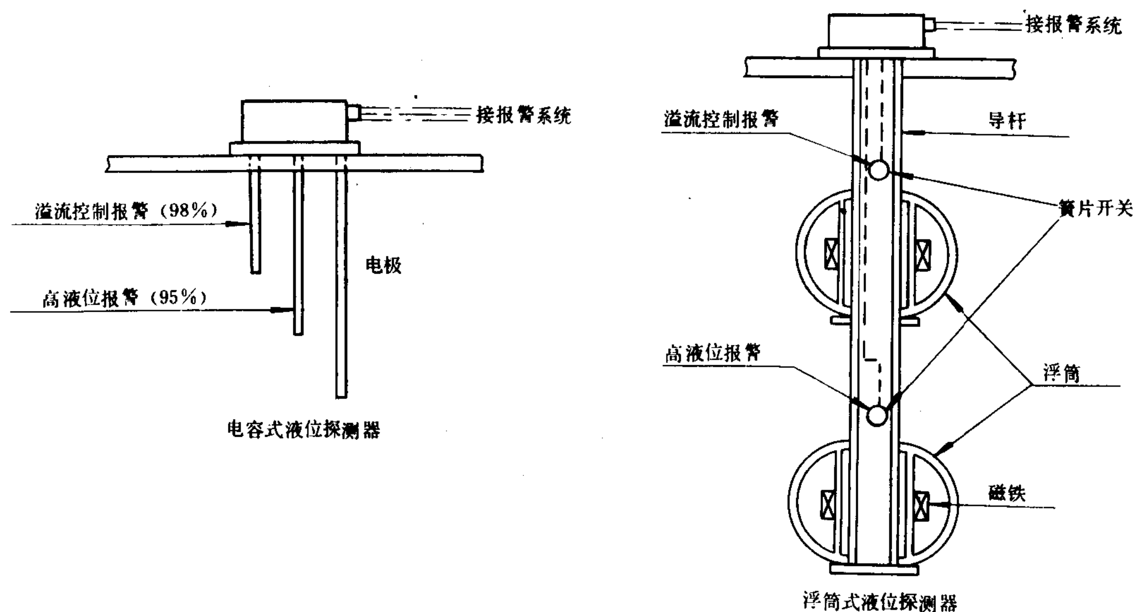


图7.8.1—6 液货舱高液位报警和溢流控制（超高液位报警）系统

9.3 液货舱装载率

最大液货装载率（LR）应不超过下列计算之值：

$$LR=\frac{3600V}{\tau}m^3/h \qquad (7.8.1-2)$$

式中：LR —— 液货舱最大装载率，m^3/h；

V —— 在超高液位警报装置动作时，液货舱内液面以上空间的容积，m^3；

τ —— 从发出警报信号到液货流入液货舱完全停止所需的时间，s。此时间应为相继操作的每一步骤（如操作人员对警报信号的响应、停泵和关阀等）所需时间的总和。

10 散化船专用系统的检验和维修

10.1 检验分类

为了签发“国际散装运输危险化学品适装证书”根据国际散化规则的规定，对专用及特殊设备，应进行初次检验、定期检验、期间检验、法定年度检验以及附加检验等。

10.1.1 初次检验

此项检验在船舶投入营运之前或在第一次签发《国际散装运输危险化学品适装证书》之前进行，应确保船舶的构造、设备、附件、装置和材料完全符合国际散化规则适用部分的规定。

10.1.2 定期检验

此项检验的间隔期由主管机关决定，但不得超过5年，应确保船舶的构造、设备、附件、装置和材料均符合国际散化规则适用部分的规定。

10.1.3 期间检验

此项检验在“国际散装运输危险化学品适装证书”的有效期内至少进行一次。如果在证书有效期内只进行一次期间检验，则检验应在证书有效期的中间日期前，后6个月内进行。期间检验应确保安全设备、其他设备及有关的泵和管系符合国际散化规则适用部分的规定，并处于良好的工作状态，期间检验应在“国际散装运输危险化学品适装证书”中进行签证。

10.1.4 法定年度检验

此项检验应在“国际散装运输危险化学品适装证书”签发每周年之日的前、后三个月内进行，法定年度检验是作一次总体检查，以确保构造、设备、附件和材料等各方面都适合船舶的预期营运目的。这种检验应在“国际散装运输危险化学品适装证书”中进行签证。

10.1.5 附加检验

此项检验可以是总体的，也可以是局部的，当根据事故或缺陷情况，经研究后要求检验或需要进行修理或更新时，应进行附加检验。对进行了必要的修理或更新后，确认此修理或更新的材料和工艺是满意的；船舶适于继续航行，不会给船舶或船上人员带来危险。

10.2 检验后的维护

应对船舶及其设备进行定期的维修，确保其状态始终符合国际散化规则的规定。

10.2.1 管路的检验和维修检查要点

1)需检查的管路：

液货/污油水管路；

液货舱透气管路；

液货加热管路；

液货冷却管路；

压载水管路；

洗舱水管路；

惰性气体管路；

控制(油/空气)管路；

液压/气压动力管路；
仪表/测量管路。
2)检查的重点及设备：
压力/真空阀；
截止阀/旋塞；
膨胀接头；
连接附件；
软管；
滤器；
阻焰器；
法兰；
焊接接头。
3)应查明的主要情况：
(1)腐蚀、尤其对不锈钢表面及涂层管的内表面，应仔细检查；
(2)工作状态；
(3)阻塞情况；
(4)渗漏情况。

10.2.2 液货处理设备的检验和维修检查要点

1)需检查的设备：
货泵(各种型式)；
通风机(各种型式)；
洗舱机；
制冷装置；
热交换器(液货加热用)；
喷射器；
喷雾器；
惰性气体/氮气系统。
2)检查的重点及装置：
轴、轴承、联轴器；
轴封装置；
叶轮、叶片、齿轮、螺杆；
气缸、衬套；
气缸盖、罩壳；
活塞、连杆(或活塞杆)、活塞杯；
吸入阀、排出阀；
底座、支撑装置；
喷嘴；
加热管、部件、端板；
洗涤塔、甲板水封装置。
3)应查明的主要缺陷：

应仔细检查有无腐蚀、裂纹、磨损、螺栓松动、空泡腐蚀、渗漏、变形、划痕等缺陷。

10.2.3 仪表及测量装置的检验和维修检查要点

1)需检查的仪表和装置：

液货液位测量装置；

液货液体/蒸气流量计；

液货液体/蒸气压力测量装置；

液货温度测量装置；

液货蒸气/氧气浓度测量仪。

2)检查的重点及设备：

控制器路(电气・气动・液压)；

驱动机械；

密封装置；

取样管路；

传感器和监视器。

3)应查明的主要情况：

应仔细查明它们的工作状态及腐蚀情况等。

10.2.4 其他安全设备的检验和维修检查要点

1)检查的主要设备：

有关的其他安全设备主要为灭火系统。

2)检查的重点及设备：

抗溶性泡沫灭火系统；

普通泡沫灭火系统；

水雾装置；

化学干粉灭火系统；

CO_2 或卤代烷灭火系统；

喷水器。

3)应查明的主要情况：

应仔细检查它们的工作状态，并查明灭火剂是否失效。

第 2 章　防止散装化学品船舶的污染

1　有毒液态物质的分类和防止污染措施

1.1　分　　类

73/78 防污公约附则Ⅱ根据有毒液态物质，对海洋资源或人类健康危害程度，或对海上的休息环境，或对其他合法利用的危害程度，分成 A、B、C 和 D 四类。A 类危害最严重，D 类相对较轻，目前作出分类的物质已达近 500 种，详细情况可以查阅附则Ⅱ的附录Ⅱ散装运输有毒液体物质名单。表 7.8.2—1 为附录Ⅱ所示的四类有毒液体物质的举例。

表中带有括弧的物质类别符号表示该物质的污染类别是暂定的，需要作进一步的试验，才能最后确定其污染危害的等级。

表 7.8.2—1　　**散装运输有毒液态物质名单**(摘录)

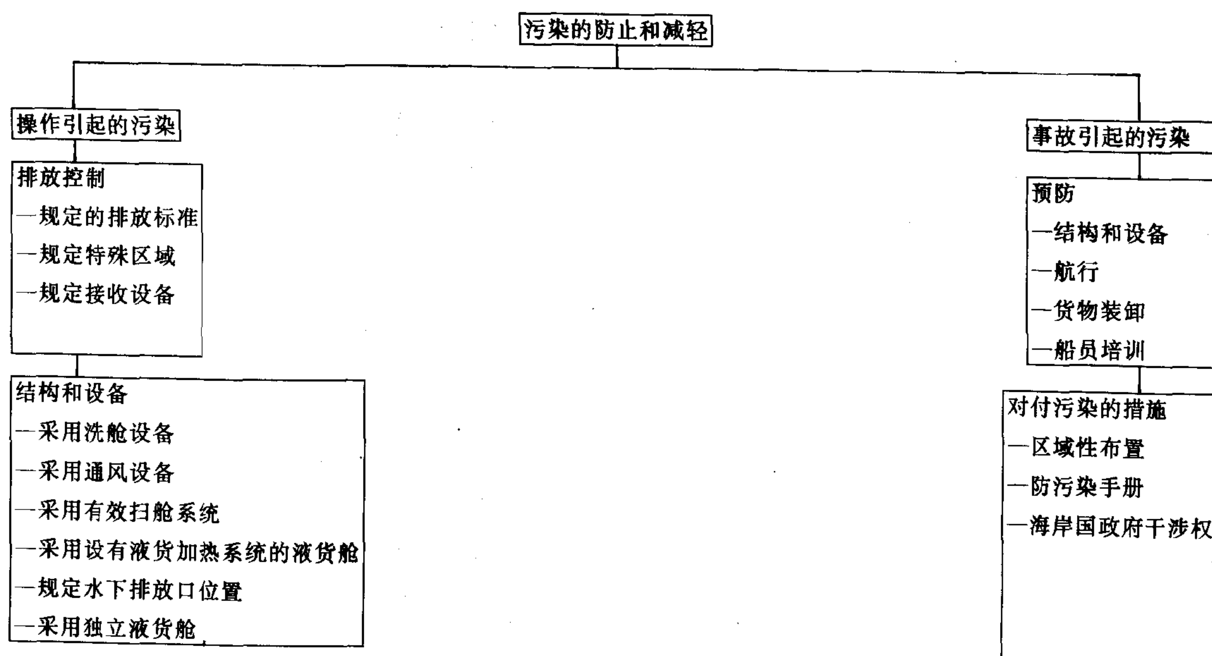
物　质　名　单	联合国编　号	操作排放污染类别	剩余浓度（质量百分数）	
		（附则Ⅱ第 3 条）	（附则Ⅱ第 5(1)条）	（附则Ⅱ第 5(7)条）
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ特殊区域以外	Ⅳ特殊区域以内
Carbolic oil　酚油		A	0.1	0.05
Carbond isulphide　二硫化碳	1131	A	0.01	0.005
Carbon tetrachloride 四氯化碳	1846	B		
Chlorobenzene　氯苯	1134	B		
Chloroform　氯仿	1888	B		
Coconut oil　椰子油		D		
Coconut oil,fatty acid methyl ester　椰子油，脂肪酸甲酯				
Cod liver oil　鳕鱼肝油		D		
Corn oil　玉米油		D		
Cotton seed oil　棉籽油		D		
Creosote(Coal tar)　杂酚油(煤焦油)		(c)		
Creosote(wood)　杂酚油(木材)		A	0.1	0.05
2,2—Dichlor oisopropyl ether　2,2—二氯异丙醚	2490	C		
Dichloromethane　二氯甲烷	1593	D		
2,4 —Dichlorophenol　2,4—二氯酚	2021	A	0.1	0.05
2,4—Dichlorophenoxyacetic acid　2,4 —二氯苯氧基醋酸		(A)	0.1	0.05

表中第Ⅲ和第Ⅳ栏中的 0.1 或 0.01 和 0.05 或 0.005 表示货舱内 A 类物质残余物浓度分别低于该数值后才能在特殊区域外和特殊区域内排放。

1.2 防止污染措施

船舶在操作和事故中为了防止和控制有毒液体物质的排放造成污染，必须从各方面，包括船舶的结构和设备、岸上接收设施、排放控制、船员培训、地区性应急计划等采取措施，共同保护海洋环境不受污染。表 7.8.2—2 表明为防止和减轻船舶造成有毒液体物质污染海洋而采取的具体措施，如果严格执行这些规定，将可防止或减少有毒液体物质对海洋的污染。当前，我国建造的散装化学品船舶在防止海洋污染方面，至少要满足 73/78 防污公约和中国船舶检验局颁布的《海船防污染结构和设备规范》的要求。

表 7.8.2—2　　防止和减少散装化学品船舶造成海洋污染的措施



2 73/78 防污公约附则Ⅱ对散装化学品船舶的要求

2.1 船舶应具备的防污文件

为保护海洋环境不受污染，附则Ⅱ提出了一系列具体要求，要求船旗国和港口国共同负起责任，搞好保护海洋环境不受污染工作。就船舶而言，对船舶的结构、设备、操作、排放标准等要求，附则Ⅱ都有明文规定。附则Ⅱ并明确指出：船长、港口监督员和验船师都有权力和义务共同遵守 73/78 防污公约对各方提出的要求。

1)对船长的要求：应按照《程序和布置手册》的规定进行操作，包括装卸货、转驳、预洗、压载、排除压载等；并应记录在货物记录簿内，不得虚假；船长还应保证不将残余物或残余物/水混合物非法排放入海。

2)对港口监督员的要求：应检查船上作业是否按主管机关批准的《程序和布置手册》进行，还应检查货物记录簿、检查货舱残余物浓度等，并在货物记录簿上签证。

3)对验船师的要求：应按附则Ⅱ"检验导则"进行检验，以保证船舶及其防污设备处于正常状态。

每一艘散化船在执行附则Ⅱ的规定时，至少要具备下列三种防污文件：

1)适用于本船并经主管机关批准的程序和布置手册；

2)货物记录簿；

3)国际防止散装运输有毒液体物质污染(NLS)证书或者公约缔约国按经修改的《国际散化规则》或《散化规则》检验并签发的适装证书(COF)。

2.2 有毒液态物质排放规定

表7.8.2—3归纳了73/78防污公约附则Ⅱ规定的船舶排放有毒液态物质的条件和标准。此排放标准与船舶的结构、设备、操作程序等有密切关系。

表7.8.2—3 **有毒液态物质的排放规定**

<table>
<tr><th>排放区域
排放要求
物质类别</th><th colspan="3">特殊区域外</th><th>特殊区域内</th><th>排放时应遵守的条件</th></tr>
<tr><td>A</td><td colspan="3">禁止排放。除非满足下列所有条件：
货舱排空后，进行强制预洗，其剩余物浓度达到表7.8.2—1第III栏规定后，继续将该液货舱排空，并符合排放时应遵守的条件即可排放。</td><td>禁止排放。除非满足下列所有条件：
货舱排空后，进行强制预洗，其剩余物浓度达到表7.8.2—1第IV栏规定后继续将该液货舱排空，并符合排放时应遵守的条件即可排放。</td><td>1. 处于航行状态；自航船舶≥7kn 非自航船舶≥4kn
2. 水线下排放
3. 距最近陆地12nmile以外
4. 水深≥25m</td></tr>
<tr><td rowspan="5">B</td><td colspan="3">禁止排放。除非满足下列所有条件；
1. 排放程序和布置标准须经批准，排出物浓度和排放率使排放浓度不超过1mg/l(船尾迹流)；
2. 每一货舱之内残余物；</td><td rowspan="5">禁止排放，除非满足下列所有条件；
1. 与特殊区域外第1点要求相同；
2. 货舱卸货后已经过预洗，洗舱水已排入接收设备；
3. 符合排放时应遵守的条件。</td><td rowspan="5">1. 处于航行状态；自航船舶≥7kn 非自航船舶≥4kn
2. 水线下排放
3. 距最近陆地12nmile以外
4. 水深≥25m</td></tr>
<tr><td>新船①</td><td rowspan="3">管内及吸口处</td><td>≤0.1m^3</td></tr>
<tr><td>现有船舶到1994.10.2后</td><td>≤0.3m^3</td></tr>
<tr><td>现有船舶②</td><td>≤1m^3或舱容的1/3000(取大者)</td></tr>
<tr><td colspan="3">3. 符合排放时应遵守的条件。</td></tr>
</table>

续上表

<table>
<tr><td>排放区域
排放要求
物质类别</td><td colspan="3">特殊区域外</td><td>特殊区域内</td><td>排放时应遵守的条件</td></tr>
<tr><td rowspan="5">C</td><td colspan="3">禁止排放,除非满足下列所有条件：
1. 排放程序和布置标准须经批准,排出物浓度和排放率使排放浓度不超过10mg/L(船尾迹流)；
2. 每一货舱内残余物；</td><td rowspan="5">禁止排放。除非满足下列所有条件；
1. 与B类物质在特殊区域外排放的第1点要求相同；
2. 每一液货舱内残余物；$\leqslant 1m^3$ 或舱容的1/3000(取大者)；
3. 符合排放时应遵守的条件。</td><td rowspan="5">1. 处于航行状态；自航船舶≥7kn 非自航船舶≥4kn
2. 水线下排放
3. 距最近陆地12nmile以外
4. 水深≥25m</td></tr>
<tr><td>新　船</td><td rowspan="3">管内及吸口处</td><td>$\leqslant 0.3m^3$</td></tr>
<tr><td>现有船舶到1994.10.2后</td><td>$\leqslant 0.9m^3$</td></tr>
<tr><td>现有船舶</td><td>$\leqslant 3m^3$ 或舱容的1/1000(取大者)</td></tr>
<tr><td colspan="3">3. 符合排放时应遵守的条件</td></tr>
<tr><td rowspan="2">D</td><td colspan="4">一　切　区　域</td><td rowspan="2">1. 处于航行状态；自航船舶≥7kn 非自航船舶≥4kn
2. 12nmile以外</td></tr>
<tr><td colspan="4">禁止排放。除非满足下列所有条件；
1. D类物质与水之比不大于1：10；
2. 符合排放时应遵守的条件。</td></tr>
</table>

① 新船是指1986年7月1日及以后新建造的散化船。

② 现有船舶是指1986年7月1日以前建造的散化船。

3　排放有毒液态物质的程序和布置

73/78防污公约附则Ⅱ第5、第5A条和第8条关于控制有毒液态物质的排放和措施中规定；不需采用仪器监控的手段,而是通过设备的布置和执行规定的操作程序来控制有毒液体物质的污染。为此必须制定一份操作程序和布置标准,用来衡量各种散化船向海洋排放有毒液态物质或残余物/水混合物是否达到附则Ⅱ规定的排放标准。由国际海事组织制定的《程序和布置标准》(procedure and Arrangement 简标p&A)(以下简称《标准》)能够达到这一目的。只要按《标准》规定的程序和布置去做,就能满足附则Ⅱ的排放规定。

本节仅介绍有关重点问题,详细内容可查阅国际海事组织制定的《标准》

3.1　吸排管路系统布置

1)凡1986年7月1日及以后建造的散化船,其设置的吸排管路系统,应使卸货后在液货舱的吸口处及相邻管路中货物残余物应不大于表7.8.2—4的规定。

2)吸排管路系统按本节3.2规定的方法以水作介质进行试验,证明符合表7.8.2—4规定后才可使用。吸排管路系统应为固定设施,并能在货舱开口关闭情况下工作。

表 7.8.2—4

物质类别 \ 排放区域	特殊区域外	特殊区域内
B	0.1 m^3	/
C	0.3 m^3	0.1m^3

3)吸排管路系统的布置：

(1)散化船常用的吸排管路系统的布置如图 7.8.2—1～6 所示。

(2)扫舱系统的布置；

散化船的扫舱系统可与货物管路系统组合在一起；也可以是独立系统，如图 7.8.2—7 、图 7.8.2—8 所示。

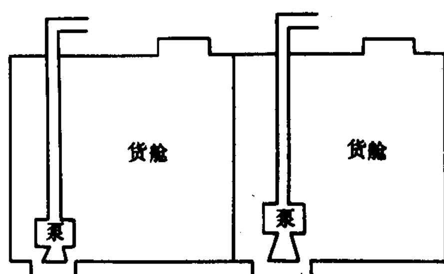


图 7.8.2—1　液货舱设有深井并装有深井泵的布置

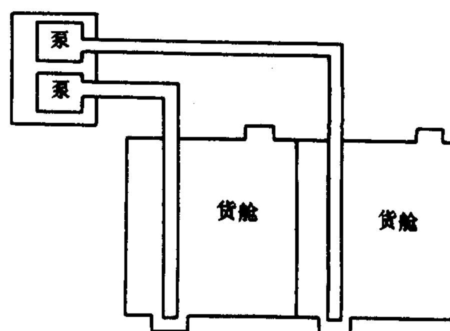


图 7.8.2—2　液货舱设有深井，货泵装设在高于货舱的泵舱内

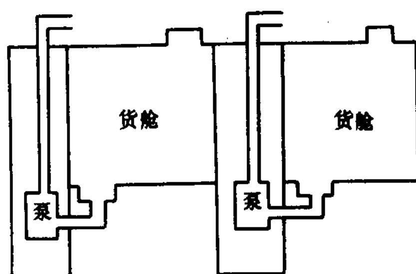


图 7.8.2—3　液货舱设有深井且货泵装设在低于货舱的舱内

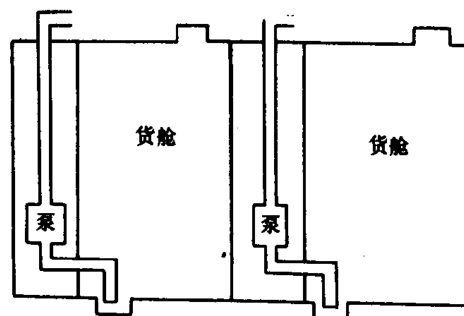


图 7.8.2—4　液货舱设有深井，货泵装设在高于深井的泵舱内

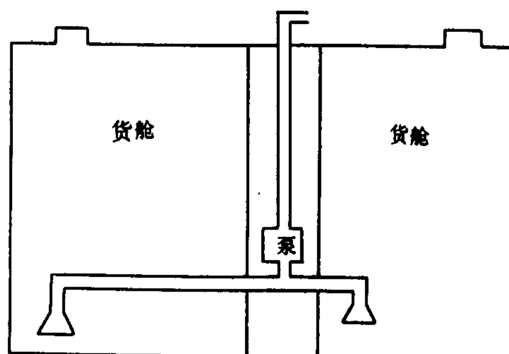


图 7.8.2—5　货泵设在泵舱且共用同一排放管路的布置

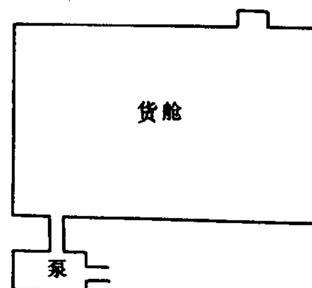


图 7.8.2—6　货泵低于货舱的布置

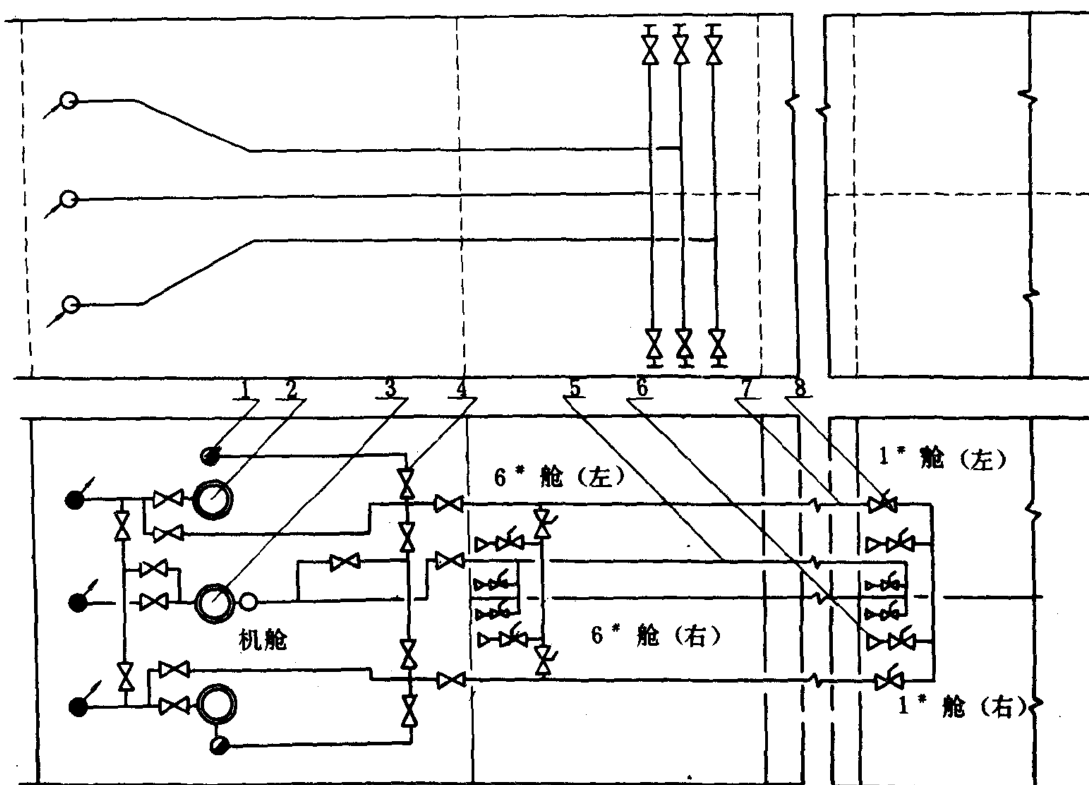


图 7.8.2—7　完全与货物管路系统分隔的独立扫舱系统图

1—止回阀；2—液货泵；3—扫舱泵；4—截止阀；5—扫舱总管；6—吸口；7—扫舱集合管；8—遥控操纵阀

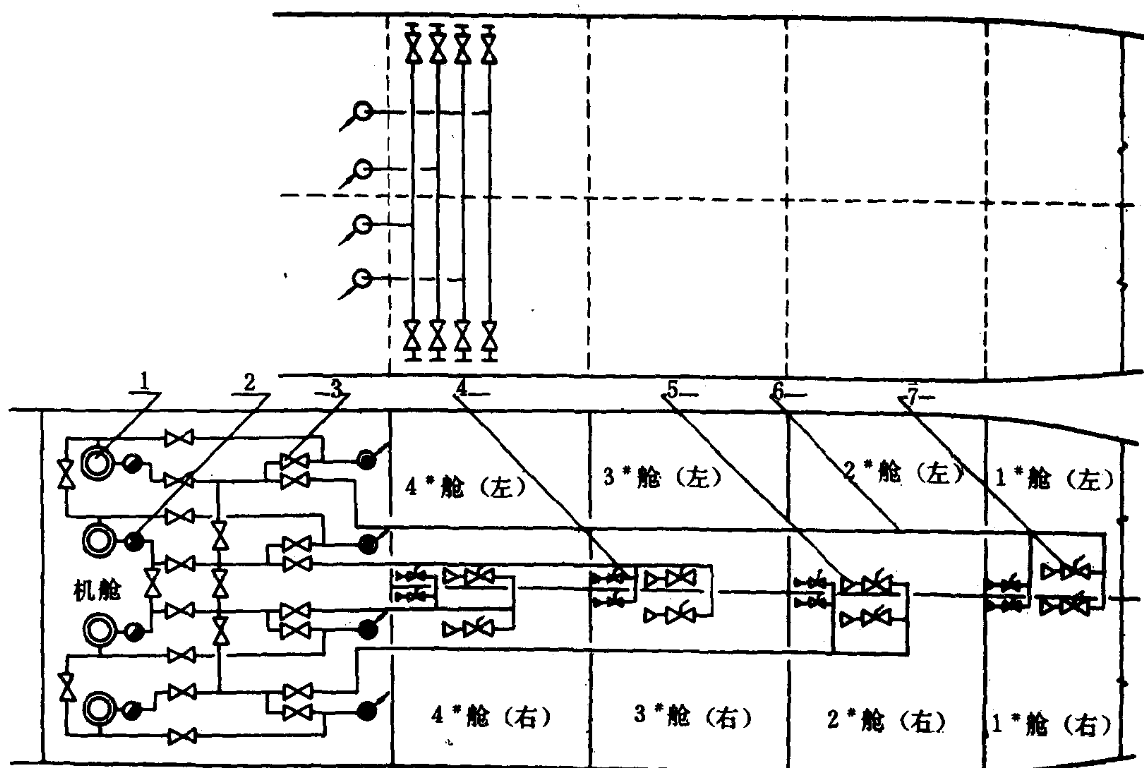


图 7.8.2—8　具有单独扫舱吸口，扫舱支管与货物管路连接的扫舱系统图

1—液货泵；2—止回阀；3—截止阀；4—扫舱支管；5—吸口；6—液货集合管；7—遥控操纵阀

3.2 吸排管路系统的水试验

吸排管路系统在验收时必需以水为介质试验其残余物存留量。

选定一个试验用舱，该舱应有储水槽和深井。吸排系统由深井泵或潜水泵及独立扫舱管系或带有扫舱阀的货物管路系统组成。

3.2.1 试验条件

1)试验时船舶横倾不大于1°，尾部纵倾不大于3°。

2)水试验时选择的纵、横倾状态应为船舶程序和布置手册中规定的最小有利纵、横倾角度。

3)在水试验时，应设有保持液货舱卸货汇集管处的背压不低于0.1MPa的设施(见图7.8.2—9和图7.8.2—10)。

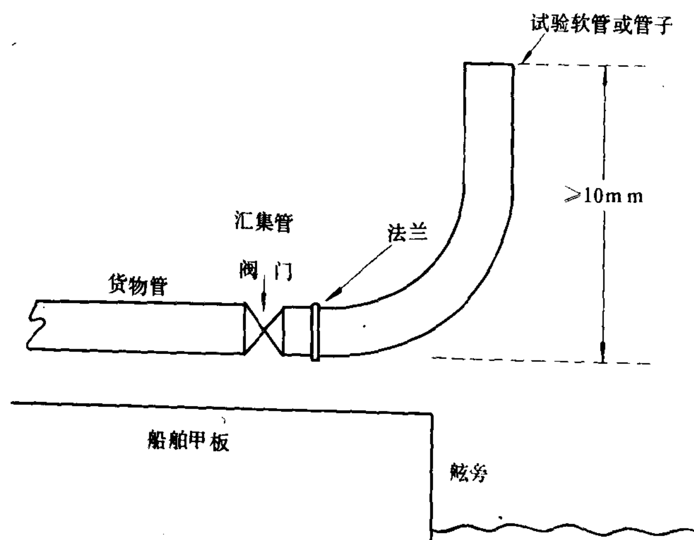


图 7.8.2—9

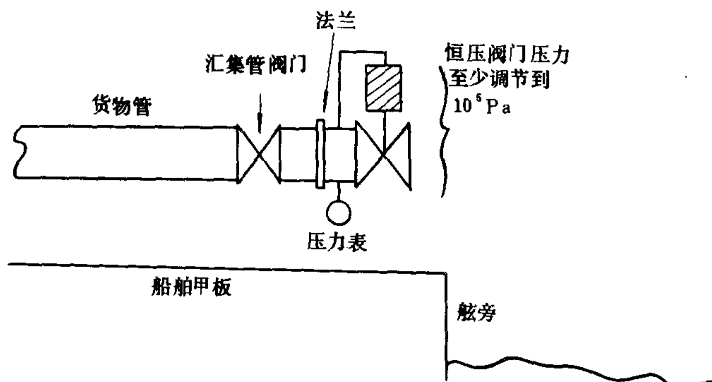


图 7.8.2—10

3.2.2　试验程序

1)确信拟试验的液货舱及其附属管路已清洗干净，不存在任何液货；

2)将水注入液货舱到正常扫舱时的深度；

3)按照批准的船舶程序和布置手册，抽吸并清扫液货舱及其附属管路内的水；

4)将留存在液货舱及其附属管路内的水收集在经校准的容器内进行计量，留存水应从下列各处收集：

①液货舱吸口及其邻近处所；

②液货舱底部各汇集阱区域；

③货泵的低泄放点；

④所有液货舱附属管路的最低泄放点，直到汇集管路截止阀为止。

5)按以上收集到的总水量容积确定液货舱的扫舱量；

6)如果船舶的各液货舱(或一组液货舱)共用一台泵或管路，则公用管系部分的水试验残余物量可按比例分配到各舱。但必须在批准的船舶程序和布置手册中写明："在各液货舱依次全部卸货完毕之前，泵或管路不能进行清洗"。

3.3　粘着残余物的计算

如果按上述3.2方法试验结果表明运载B、C类物质的现有散化船吸排管路系统卸货后，其残余物分别不能满足小于$0.3m^3$和$0.9m^3$时，则必须计算粘着在液货舱舱壁上的液货残余量。这时液货舱及附属管路内残余物的总量为用水试验结果与算得的粘着量之和，其值应分别小于$1m^3$和$3m^3$。粘着残余物计算公式如下：

$$Q_R = 1.1 \times 10^{-4} Ad + 1.5 \times 10^{-5} Aw + 4.5 \times 10^{-4} L^{1/2} \quad A_b \qquad (7.8.2\text{—}1)$$

式中：A_b ——液货舱底部面积和面向上方的液货舱构件面积的水平分量，m^2；

A_d ——甲板下面积和面向下方的液货舱构件面积的水平分量，m^2；

Aw——液货舱壁表面积和液货舱构件面积的垂向分量，m^2；

L ——液货舱长度，m；

Q_R ——粘着在液货舱表面上的残余物总量，m^3。

注：① 为计算A_b、A_d和A_w，倾斜面(与水平面夹角大于30°)和曲面应作垂直面处理。

②计算A_b、A_d和A_w允许用近似法

3.4　许可的最大排放率

卸货后舱内的残余物量对B、C类物质，如分别大于$0.3m^3$和$0.9m^3$的现有散化船，在海上排放B类物质残余物/水混合物前，除按本章3.7设计的水下排放口确定最大排放率外，还应由下列公式之一确定排放率，并取两者的较小者：

1)可溶和的残余物/水混合物

使用一排出口时：

$$Q_D = \frac{kv^{1.4}L^{1.6}}{C_s} \qquad (7.8.2\text{—}2)$$

使用两排出口时：

$$Q_D = \frac{1.5kv^{1.4}L^{1.6}}{Cs} m^3/h \quad (7.8.2—3)$$

式中：Q_D ——残余物/水混合物排放率，m^3/h；

v ——船速，kn；

L ——船长，m；

K ——系数为 4.3×10^{-5}；

Cs ——综合浓度，$Cs=\frac{N}{Vr}$；

其中：N ——含有B类残余物的液货舱数，这些残余物已驳运至污液舱。（为简单起见，假定每舱含有 $1m^3$ 的残余物）；

Vr——污液舱排放前残余物/水混合物的容积（从量空间表确定），m^3。

2)不相容积的残余物/水混合物

使用一排出口时；

$$Q_D = kv^{1.4}L^{1.6}m^3/h \quad (7.8.2—4)$$

使用两排出口时：

$$Q_D=1.5kv^{1.4}L^{1.6}\ m^3/h \quad (7.8.2—5)$$

3.5 流量控制和记录装置

在3.4所述的现有散化船，如果在海上排放B类物质残余物/水混合物，应装设记录装置，如果采用定量泵吸排系统，应有设备记录排放开始和结束所用的实际时间。应记录的残余物/水混合物排放入海时该设备必需处于运转状态。数据的记录可以是手动或自动的。记录应表明时间和数据，并至少应保持三年。如果采用变量泵吸排系统，应设有测量流量的设备，流量记录装置的精确度应在实际流量的15%以内。

3.6 水下排放口位置

散化船的水下排放口必须位于货舱区域内舭部弯曲处附近；排放口的布置应避免在船舶吸入海水时将残余物/水混合物重新吸入。

3.7 水下排放口尺寸

水下排放口的布置应确保按《标准》规定排放入海的残余物/水混合物不会通过船舶的边界层。为此，当排放口和船壳板相垂直时，排放口的最小直径由下列公式确定；

$$D=\frac{Q_D}{5L} \quad m \quad (7.8.2—6)$$

式中：D ——排放口最小直径，m；

L ——从首垂线到排放口的距离，m；

Q_D——船舶可通过排放口排放残余物/水混合物的最大排放率，m^3/h。

当排放方向与船壳外板成一角度时，上述关系式应加以修正，将用垂直于船壳板的 Q_D 分量来代替 Q_D。

3.8 强制预洗

3.8.1 必须强制预洗的液货物质

由于1986年7月1日及以后建造的散化船规定必须设置有效的泵和管路系统，扫舱比较理想，因而大大减少了强制预洗物质的种类，必须进行强制预洗的物质仅留下：

1)A类物质；

2)B、C类的高粘度、易凝固物质；

3)须在特殊区域内排放的B类物质。

“高粘度物质”系指：

1)若为B类物质和在特殊区域内排放的C类物质，在卸货温度下的粘度等于或大于25mpa·s；

2)若为在特殊区域外排放的C类物质，在卸货温度下的粘度等于或大于60mPa·s。

“凝固物质”系指下列情况之一的有毒液体物质：

1)若为熔点低于15℃的物质，在卸货时的温度高出该熔点小于5℃；或

2)若为熔点等于或大于15℃的物质，在卸货时的温度高出该熔点小于10℃。

3.8.2 洗舱机最少运转循环数

必须强制预洗的各类物质，所使用的洗舱机运转循环数应不少于表7.8.2—5的规定。

表7.8.2—5 **洗舱机在每一位置上的运转循环数***

物质类别	洗舱机运转循环数	
	非凝固物质	凝固物质
A类（残余物浓度要求为0.1%或0.05%）	1	2
A类（残余物浓度要求为0.01%或0.005%）	2	3
B类	1/2	1
C类	1/2	1

* 洗舱机水平运转一周(360°)称为一个循环。

3.8.3 预洗程序要点

1)液货舱应采用有足够水压力的旋转喷射水柱进行冲洗，对A类物质或凝固物质，洗舱机的运行应能冲洗到所有液货舱表面；对B、C类物质只需在一个高度上进行回转冲洗；

2)粘度在20℃时不小于25mPa·s的物质及凝固物质应用热水(温度至少60℃)洗舱；

3)洗舱机运转循环数应符合表7.8.2—5要求；

4)洗舱后，洗舱机应继续运转一定时间，以冲洗泵、管路和滤器；

对凝固物体还有下列内容

5)卸货后应尽早进行洗舱，如有可能，液货舱洗舱前需进行加热，并清除舱口及人孔上的残余物。

3.9 通风清除液货舱内残余物

3.9.1 通风清舱的适用性

73/78 防污公约附则 II 第 5 条规定，经主管机关批准的通风程序可用于清除舱内残余物。经过通风清舱后，加入该舱内的水可视作清洁水，不受 73/78 防污公约有关排放要求的限制。但通风清除残余物从挥发角度看，只有在 20℃时饱和蒸气压力超过 5×10^3Pa 的产品才适用。在目前附则 II 的附录中有 36 种产品属于这情况。

用通风清除液货舱内有毒液态物质残余物前，还应考虑到有关货物的可燃性和毒性的危险。在安全方面，应考虑到国际散化规则、散化规则中有关货舱开口操作要求及《国际航运公会液货船安全指南（化学品）》中的通风程序。

《标准》中的通风程序要点如下：

1）管路内的液货应安全泄净，并用通风设备进一步将液体清除；

2）船舶纵、横倾角度应调整到有利于舱内残余物的充分挥发；

3）按图 7.8.2—11 要求，选取足够气流量的通风设备；

4）通风设备尽可能布置在靠近并使气流直接吹到液货舱汇集阱或吸入点上；

5）通风要继续到液货舱内看不到有液体留存为止。

3.9.2 对通风设备的要求

如果采用通风方法来清除液货舱中的残余物，应选用能产生气流达到液货舱底部的通风设备，见图 7.8.2—11 。

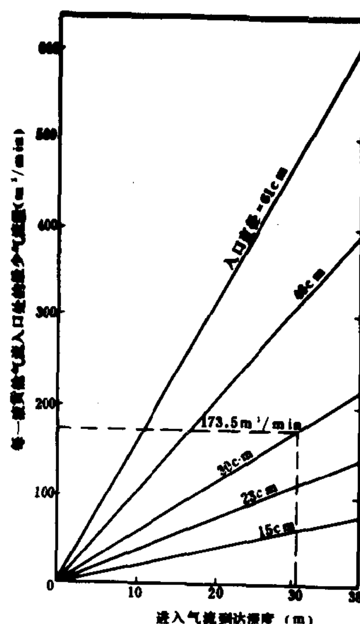


图 7.8.2—11 最少气流量与气流贯穿深度的函数关系

3.10 液货舱清洁和残液处理程序

运载各类有毒液体物质的液货舱需要清洁；洗舱水/压载水以及污液需要处理。液货舱清洗及洗舱水/压载水处理和含有各类物质的洗舱水或污液处理的流程表如表 7.8.2—6 和表 7.8.2—7 所示。

散化船的液货舱清洁和残液处理应按上述流程图表和表 7.8.2—8 及表 7.8.2—9 规定的程序进行正确作业。

流 程 图 表

含有A、B、C和D类物质残余物的液货舱清洁及洗舱水/压载水的处理

表7.8.2—6　　　　**液货舱清洁及洗舱水/压载水处理流程图**

泵吸/扫舱要求		B类液货舱	C类液货舱
新　船	1986	0.1m^3(N0.1)[*1]	0.3m^3(N0.3)
现有船舶	1994	0.3m^3(E0.3)[*2]	0.9m^3(E0.9)
现有船舶	1987	1.0m^3(E1.0)	3.0m^3(E3.0)

舱及管路可能排放的最大范围

- 残余物是A类物质 —是— CDP1[*3](a)或CDP2
- 否 → 残余物是B类物质 —是— 船舶在特殊区域内
  - —是— 凝固或高粘度物质 —是— CDP1(a)或CDP1(b)或CDP2
    - 否 → CDP1(a)或CDP1(b)或CDP2或CDP3
  - 否 → 船舶在特殊区域外 —是— 凝固或高粘度物质 —是— CDP1(a)或CDP1(b)或CDP2
    - 否 → N0.1和E0.3液货舱 —是— CDP2或CDP4
    - 否 → E1.0液货舱 —是— CDP2或CDP5(a)或CDP5(b)
- 否 → 残余物是C类物质 —是— 船舶在特殊区域内
  - —是— 凝固或高粘度物质 —是— CDP1(a)或CDP1(b)或CDP2或CDP6
    - 否 → N0.3、E0.3液货舱 —是— CDP2或CDP4
    - 否 → E0.9、E1.0 E3.0液货舱 —是— CDP1(a)或CDP1(b)或CDP2或CDP6
  - 否 → 船舶在特殊区域外 —是— 凝固或高粘度物质 —是— CDP1(a)或CDP1(b)或CDP2
    - 否 → CDP2或CDP4
- 否 → 残余物是D类物质 —是— 残余物是否作C类物质处理 —是— N0.1、N0.3、E0.3、E0.9、E1.0、E3.0液货舱 —是— CDP2或CDP7
  - 否 → CDP2或CDP8
- 否 → 排放入海不属附则II范围

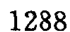
注：本流程图给出广泛要求的、适用于新船及现有船舶。

对具体船舶，流程图中的一部分是适用的。

*1：N是指新散化船。

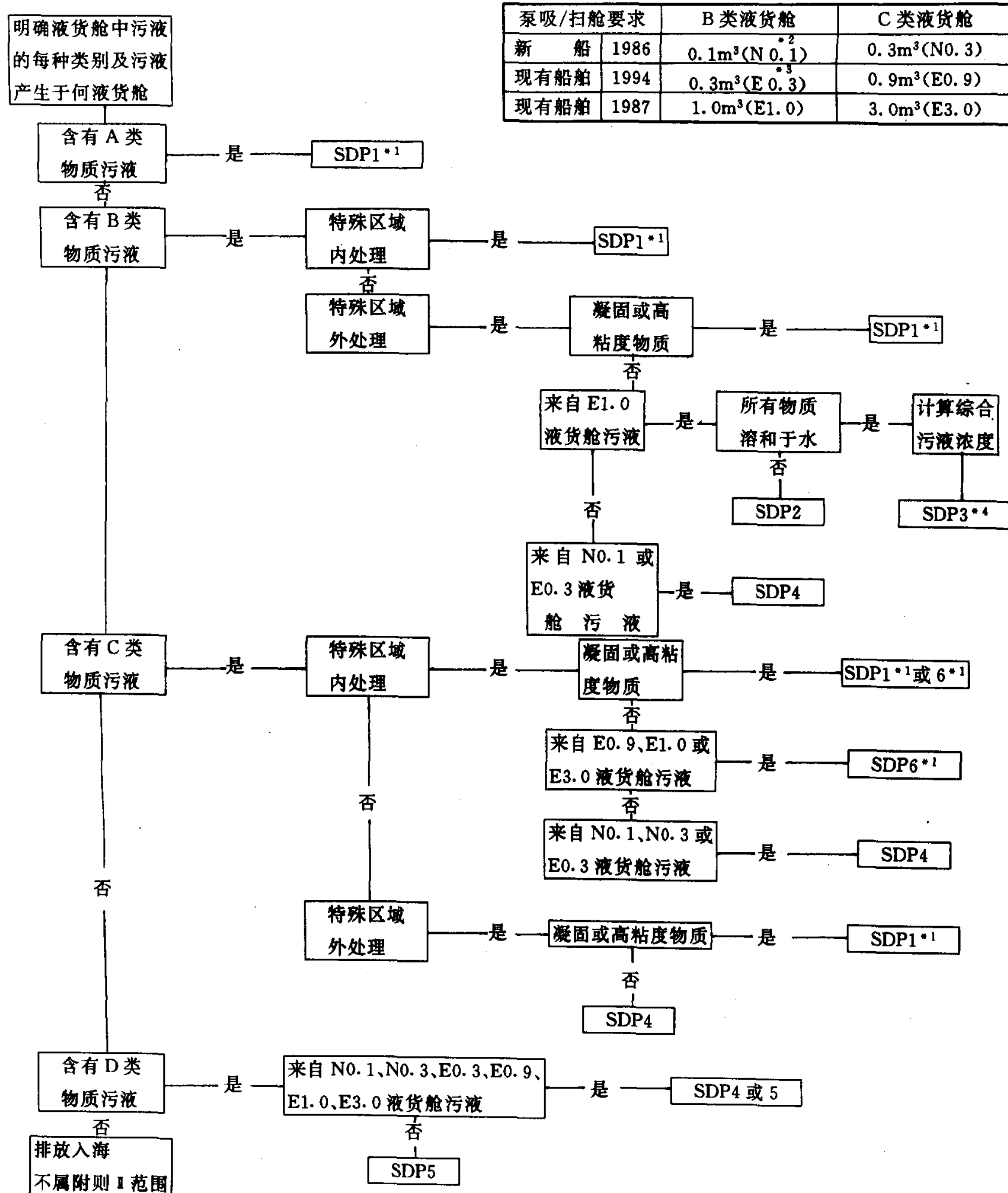
*2：E是指现有散化船。

*3：CDP是指清洁和处理程序，具体要求可按表7.8.2—8进行。



从含有洗舱水或污液的污液舱(指定的)或液货舱
对含有A、B、C或D类物质的预洗或洗舱水的处理

表 7.8.2—7　　　　**含有各类物质的洗舱水或污液处理流程图**



泵吸/扫舱要求		B类液货舱	C类液货舱
新　船	1986	$0.1m^3$(N 0.1)*2	$0.3m^3$(N0.3)
现有船舶	1994	$0.3m^3$(E 0.3)*3	$0.9m^3$(E0.9)
现有船舶	1987	$1.0m^3$(E1.0)	$3.0m^3$(E3.0)

注:本流程图给出广泛要求的、适用于新船和现有船舶,对具体船舶,流程图中的一部分是适用的。

*1:按《程序和布置手册》中规定的预洗程序预洗过的液货舱,随后洗舱产生的污液可以按照SDP4排放,但不能混有按SDP1、2、3或6要求排放的其它污液。

*2:N是指新散化船。

*3:E是指现有散化船。

*4:SDP是指污液处理程序,具体要求可按表 7.8.2—9 进行。

表 7.8.2—8

清洁和处理程序 (CDP)	程序的顺序									
	1 (a)	1 (b)	2	3	4	5 (a)	5 (b)	6	7	8
实施按附录B的预洗并排放残余物至接收设备	×	×								
实施按附录B的预洗并驳运残余物至污液舱按第10章10.5或10.6kn排放入海						×	×			
实施至少一个循环的随后冲洗		×					×			
实施按附录C的通风程序			×							
残余物可留存船上并在特殊区域外排放				×						
在卸货温度下，物质粘度(60mpa)s的残余物可以留存船上并在特殊区域外排放。亦可 进行预洗液货舱并将污液排至岸上代替								×		
用水稀释液货舱中的残余物，获得残余物最大浓度为10%或以下										×
压载液货舱或洗舱至商业要求	×			×	×	×		×	×	
压载水/残余物/水混合物(预洗舱水除外)的排放条件：										
距陆地大于12nmile	×	×		×	×	×	×	×	×	
船速大于7kn	×	×		×	×	×	×	×	×	×
水深25m	×	×		×	×	×	×	×		
使用水下排放	×	×		×	×	×	×	×	×	
给液货舱的压载水		×						×		
压载水的排放条件：										
距陆地大于12nmile		×					×			
水深25m以上		×					×			
替代办法，残余物/水混合物可排至岸上。 (注：可以任选但不是MARPOL要求)	×	×		×	×	×	×	×	×	×
随后灌入液货舱内的任何水，可不受限制而排放入海	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

注：根据CDP规定的序号从顶栏开始，并按标有“×”标志的顺序完成每一程序。

表 7.8.2—9

污 液 处 理 程 序 (SDP)	程序的顺序					
	1	2	3	4	5	6
污液必须排放到岸上	×					
按照补遗D制定不相溶和的残余物/水混合物的排放率		×				
按照补遗D制定可溶和的残余物/水混合物排放率			×			
获得的数字表明该排放率是允许排放的		×	×			
在卸货温度下，物质粘度＜60mpa·s的残余物						×

续上表

污液处理程序 (SDP)	程序的顺序					
	1	2	3	4	5	6
可以留存在船上并可在特殊区域外排放 亦可进行预洗液货舱并将污液排至岸上代替						
用水稀释污液获得 10%或以下的溶液					×	
——排放率不受限制						
通过水下排放口的最大允许排放率				×		×
附加的排放条件						
——船速至少 7 kn		×	×	×	×	×
——离最近陆地 12nmile 以外		×	×	×	×	×
——水深至少 25 m		×	×	×		×
——使用水下排放		×	×	×		×

注：根据 SDP 规定的序号，从顶栏开始，并按标有“×”标志的顺序完成每一程序。

4 检　　验

运输散装有毒液体物质的船舶，根据需要进行下述内容的检验：

4.1 初 次 检 验

是指 73/78 防污公约要求对船舶及其设备施行全面的、完整的检查，并按需要进行试验，以保证国际防止散装运输有毒液体物质污染(NLS)证书或适装证书(COF)能予首次签发。

初次检验应包括：

1)检查图纸、说明书和其他文件，证实船舶及其设备的设计符合附则Ⅱ的有关要求，并确认 NLS 防污染设备已按照附则Ⅱ的要求认可；

2)确认船上已有所要求的证书、货物记录簿、程序和布置手册以及其他有关文件；

3)检查船舶及其设备的状况和进行试验(如有要求时)，确定制造和安装符合批准的图纸、说明书和其他技术文件要求，以及材料和工艺等各方面都合格满意。

4.2 法定年度检验

是指对船舶及其设备施行一般性的检查，包括船舶各系统及设备的操作试验，其范围以验证该船及其设备在营运中能保持良好状态。

年度检验每年进行一次，应在证书签发日期(月、日)之前或之后 3 个月内进行。检验合格后应在签发的证书上签署。

当法定年度检验与期间检验相重时，则可不要求进行该次的法定年度检验。

法定年度检验仅限于作一总体检查，包括下列各项：

1)检查证书，对船舶及其设备作外部检查，确认其正常状况；

2)外部检查并确认船舶及其设备没有进行未经批准的变更。

4.3 期间检验

期间检验应在证书有效期内至少进行一次，此种检验应保证设备及附属的泵和管系完全符合附则II所适用的要求，并处于良好的工作状态。

检验合格后应在签发的证书上签署。如果在证书有效期内只进行一次此种检验，则应在该证书有效期中间日期之前或之后六个月内进行。

4.4 定期检验(换证检验)

是指在规定期限内按公约要求，对船舶及其设备施行全面、完整的检查，并按需要进行试验，以保证可以换发新的NLS证书。定期检验的间隔期限由主管机关规定，但不得超过5年。

各种检验的详细内容可参阅国际海事组织环保会23届会议通过的《附则II检验导则》。

第 3 章　散装运输液化气体船舶的专用系统

1　定义及专用系统基本概念

1.1　有关定义

除了本篇第 1 章有关名词术语的定义外，尚有：

1)货物围护系统：用来围护货物的装置，包括主屏壁和次屏壁以及附设的隔热层和屏壁间处所，还包括支持这些构件所必需的邻接结构。如果次屏壁是船体结构的一部份，它可以是货舱处新的界面。

2)货物控制室：用来控制货物装卸作业，并符合某些特定要求的处所，详见国际气体规则的规定。

3)货物服务处所：货物区域内面积大于 2m² 供货物装卸设备用的工作间，储物间及储藏室等处所。

4)液货舱：壳体为液密且用于装载货物的主要容器，包括不管有无隔热层或次屏壁（或两者）的所有此类容器。

5)易燃货品：国际气体规则第 19 章的表内“f”栏中标有“F”标记的货品。

6)气体危险处所或区域，指下列处所：

(1)货物区域内末设置或末配备认可的设备，难以确保其大气在任何时候均处于气体安全状态的处所；

(2)货物区域以外，有液货液体或气体的任何管路通过（或在其中终止）的围蔽处所，但安装了认可的装置能防止货品蒸气逸入该处所者除外；

(3)货物围护系统和货物管系；

(4)下列处所：

①要求设有次屏壁的货物围护系统中装载货物的货舱处所；

②不要求设有次屏壁的货物围护系统中装载货物的货舱处所。

(5)用一钢质气密限界与 1)中所述的货舱处所相隔开的处所；

(6)货泵舱和货物压缩机机舱；

(7)在开敞甲板上或开敞甲板上的半围蔽处所内，离开液货舱出口、气体或蒸气出口，液货管法兰或阀或离开货泵舱和货物压缩机机舱的出入口或通风口 3m 以内的区域；

(8)在货物区域内的开敞甲板上和开敞甲板上货物区域前后 3m 内，离露天甲板 2.4m 高范围内的处所；

(9)离货物围护系统外表面（该表面是露天的）2.4m 以内的处所；

(10)内部设有货品管路的围蔽或半围蔽处所。但这些处所设有符合国际气体规则 13、6、5 要求的气体探测设备，以及利用蒸发气体作为燃料并符合国际气体规则第 16 章要求时，不认为是气体危险处所；

(11)贮存货物软管的处所；

(12)设有直接通向气体危险处所或区域的开口的围蔽处所或半围蔽处所。

7)气体安全处所:气体危险区域以外的处所。

8)隔热处所:全部或部份地由隔热材料填充的处所,它可以是(或非)屏壁间处所。

9)屏壁间处所:主屏壁和次屏壁之间的处所,不管是否全部或部份被隔热材料或其它材料填充。

10)液货舱的释放阀最大允许调整值:"MARVS"(Maximum Allowatle Relief Value Setling)。

11)主屏壁:货物围护系统具有两层界面时,用来装货的内层结构。

12)次屏壁:货物围护系统中的液密外层结构,对可能通过主屏壁泄漏出来的液货提供暂时的围护,并可防止船体结构的温度下降到不安全的程度。次屏壁的型式在国际气体规则第4章中有完整的定义。

13)液舱盖:用来保护突出于露天甲板上的货物围护系统免受损害的结构或用来保证甲板结构连续性和完整性的结构。

14)液舱气室:液货舱的向上延伸部份。如货物围护系统在甲板下方,则液舱气室伸出露天甲板或液舱盖之上。

15)毒性货品:国际气体规则第19章表中"f"栏内的有"T"货品。

1.2 散装运输液化气体船舶(简称液化气体船)

液化气体船是指建造或改建用来散装运输国际气体规则第19章表中所列任何液化气体或其他货品的货船。

1.3 《气体规则》(GC规则)和《国际气体规则》(IGC规则)

这两规则是目前世界各国均采用的重要规则,简介如下:

1.3.1 《气体规则》

《BCH规则》制定以后,国际海事组织海上安全委员会即开始起草《散装运输液化气体船舶的构造和设备规则》。1975年国际海事组织大会以海大A328(Ⅸ)决议案形式通过了该规则,即《气体规则》。由于规则是在短时间内首次制定的国际性规定,故需要根据实践取得经验后,不断修改和更新。气体运输船装运的新产品,也应按安全要求加以评定并列入规则中。现在,这规则已有了四套修正案。气体规则虽然是建议性的,但它仍被船东和有关的国家主管机关所广泛采用。

1.3.2 《国际气体规则》:

经过一段时间的实践和技术发展,在气体规则及其四套修正案的基础上,国际海事组织重新制定了一个新规则,即《国际散装运输液化气体船舶构造和设备规则》(International Code-for the Construction and Equip ment of ships Carryinq liguefied Gases in Bulk)简称《国际气体规则》(IGC规则)。这规则在1983年6月17日的海上安全委员会第48次会议上以海安会MSC、5(48)号决议案通过,并以MSC. 6(48)号决议案作为74安全公约第七章的附录,成为强制执行的规则,已于1986年7月1日起生效。

国际气体规则是对海上散装安全运输液化气体船舶基本要求的全面文件,共分19章,在气体规则的基础上制定,这两规则的技术内容,除了少数项目以外,基本上是相同的。

1.4 散装运输液化气体的特性

液化气体船所装运的货物，在常温常压下呈气体的物质，在国际气体规则中规定为在温度37.8℃时饱和蒸气压力超过0.28Mpa的液化气体。这些气体具有多种危险性，如易燃性、毒性、腐蚀性、反应性、低温等特性。

表7.8.3—1所示为国际气体规则所规定的不同货品对船型的要求，以及霍摩尔(HOMMEL)的《危险品手册》中对各种货品的危险性所作的描述。其中(H)指对健康的危险指数，(E)指易燃性危险指数，(R)为反应性危险指数。指数的范围从0到4，其中0表示无危险，4表示危险性最严重。评价危险性的其他标准还有蒸气压力和水中的可溶性，如蒸气压力越低和水中可溶性越高，其挥发率越低，因而危险性也就越小。

表7.8.3—1 **船型要求和货品的危险性**

货名	联合国编号	危险性指数			蒸气压力(20℃时)MPa	水溶性	要求的船型
		H	F	R			
乙醛	1089	2	4	4	0.1	是，完全	2G/2PG
氨(无水)	1005	3	1	0	0.87	是，60%	2G/2PG
丁二烯	1010	2	4	2	0.12	是，但小	2G/2PG
丁烷	1011	1	4	0	0.21	是，但小	2G/2PG
丁烯	1012	1	4	0	0.26	否	2G/2PG
氯	1017	3	0	1	0.68	是，但小	1G
二甲基胺	1032	3	4	0	0.17	是，完全	2G/2PG
乙烷	1961	1	4	0	—	是，但小	2G
氯乙烷	1037	2	4	0	0.13	否	2G/2PG
乙烯	1038	1	4	2	—	是，但小	2G
环氧乙烯	1040	2	4	3	0.15	是，完全	1G
甲烷(LNG)	1972	1	4	0	—	否	2G
溴甲烷	1062	3	0	0	0.19	是	1G
氯甲烷	1062	2	4	0	0.51	是	2G/2PG
氮	2040	0	0	0	—	—	3G
丙烷	1978	1	4	0	0.83	否	2G/2PG
丙烯	1077	1	4	1	1.02	否	2G/2PG
制冷剂*1	—	0	0	0	—	—	3G
二氧化硫	1079	3	0	0	0.33	是	1G
氯乙烯	1086	2	4	4	0.35	是	2G/2PG
乙醚*2	1155	2	4	0	0.06	是	2G/2PG
异戊间二烯*2	1218	2	4	2	0.05	是，但小	2G/2PG
异丙胺*2	1221	2	2	0	0.06	是，完全	2G/2PG
乙胺*2	1036	3	4	0	0.12	是，完全	2G/2PG
氧化丙烯*2	1280	2	4	3	0.06	是	2G/2PG
乙氧基乙烯*2	1302	2	3	2	0.06	是，但小	2G/2PG
亚乙烯基氯*2	1303	2	4	3	0.07	否	2G/2PG

*1 制冷剂：使用无毒和不易燃的气体，

如：(1028)二氯二氟甲烷

(1029)二氯一氟甲烷

(1958)二氯四氟乙烷

(1018)一氯二氟甲烷

(1021)一氯四氟乙烷

(1022)一氯三氟甲烷

*2 气体规则和散化规则中目前所列出的"低沸货品"。

1.5 液化气体货物的种类

通过船舶散装运输的液化气体，在常温和大气压力下都呈气体状态。这些货物目前在国际气体规则第 19 章表中列有 30 种，随着石油化学工业的发展，它们的种类还会进一步增加。其中有代表性的也就是运量最大的是液化天然气(LNG)，主要成份是甲烷，和液化石油气(LPG)，如丙烷、丁烷等。

1.6 液化气体船舶的类型及液货舱布置

液化气体船舶象散化船一样，在受到海损或破损后，必需有措施保护船舶及其周围环境。为此，需把液舱布置在舷内侧距船体外板规定的最小距离之处。假定的破损条件和液舱与船体外板间的距离，均取决于所装货品的危险程度。

根据上述不同情况，液化气体船舶可分为四种类型。

1)1G 型船舶：用于载运具有最大危险性的货品，需要采取最严格的保护措施，以防货物外泄。

2)2G 型船舶：用于载运具有中等危险性的货品，需要采取相当严格的保护措施，以防货物外泄。

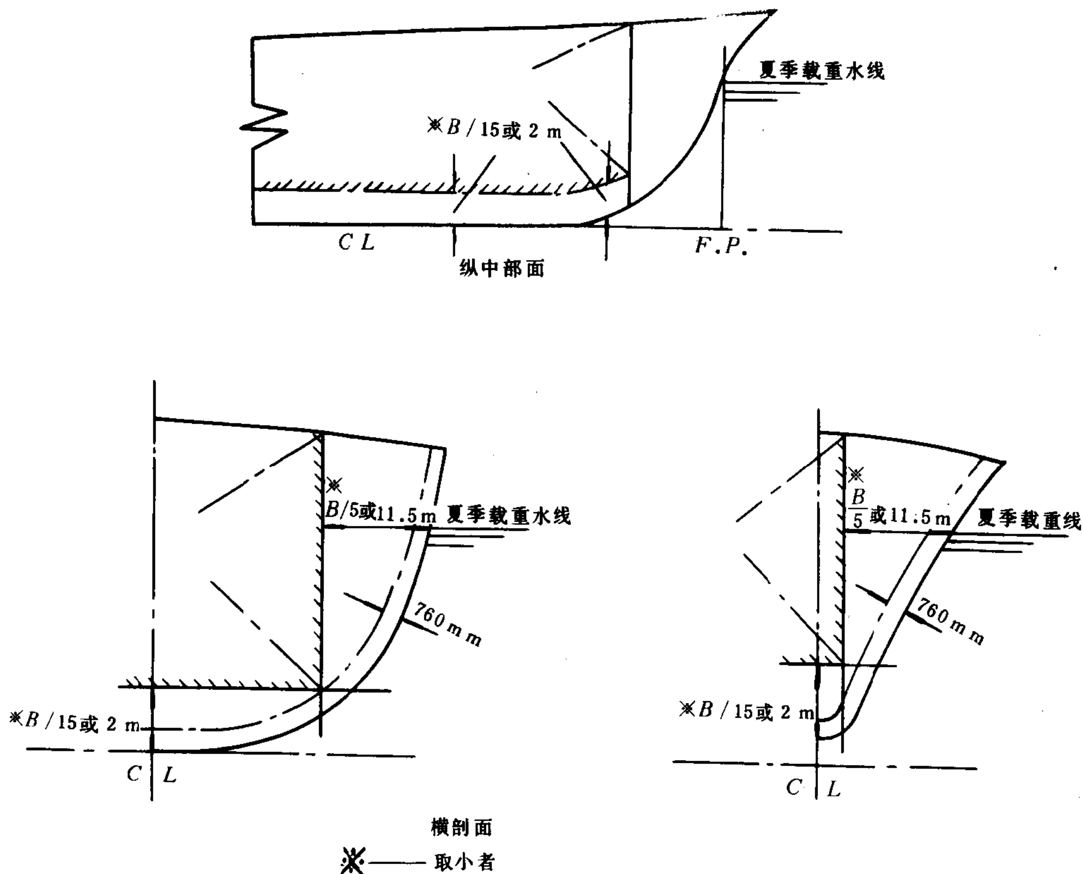


图 7.8.3—1 液舱的布置要求

3)2PG 型船舶：用于载运具有相当危险性的货品，且船长不超过 150m，它需要采取相当严格的保护措施，以防货物外泄。货品装在 C 型独立液舱内，液货舱的释放阀最大许可调整值(MARVS)至少为 0.7MPa，其液货围护系统的设计温度为－55℃或以上。这种船舶的长度超

过 150m 时，则应认为是 2G 型船舶。

4)3G 型船舶：用于载运具有较低危险性的货品，需要采取中等程度的保护措施，以防货物外泄。

对液舱的布置要求，如图 7.8.3—1 所示。

1.7 液货舱的型式

1)整体液舱：液舱是船体结构的组成部分，并且以相同的方式承受相邻船体结构所受载荷的影响。整体液舱载运的货物，一般限制在大气压力下温度为−10℃以上的液化气体。

2)薄膜液舱：是一种非自身支持的液舱，它由邻接的船体结构通过隔热层所支持的一层薄膜组成在热膨胀(或其他膨胀)或收缩时薄膜应得到补偿，免受过大的薄膜应力作用。

3)半薄膜液舱：它在未装货时由自身支持液舱；装货后，舱顶、舱底和侧壁均受到相邻船体结构的支持。

4)独立液舱：是自身支持液舱，不是船体结构的组成部分，与船体强度无关。

独立液舱有三种类型：

(1)A 型独立舱：是用经典的船体结构分析方法设计的，这种液舱通常为棱柱形。

(2)B 型独立舱：是采用模型试验，通过精确分析手段和分析方法来确定应力大小，疲劳寿命和裂纹扩展特性之后设计的液货舱。通常，B 型独立舱是球形的。最近，日本已开发出棱柱形 B 型独立舱，但尚未被国际所接受。

(3)C 型独立舱：也称压力容器，它是满足压力容器标准的液舱，其设计蒸气压力是主要载荷。通常，它是园桶形，但双联圆筒形容器也属于此类。

5)内部隔热舱：是一种非自身支持液舱，由适合于货物围护系统的隔热材料所组成，并受到邻接的内层船体结构或独立液舱的支持。隔热层的内表面与液货直接接触。内部隔热液舱有两种类型。

(1)1 型液舱：舱内的隔热层或隔热材料与一层或多层衬里组合成隔热层，只起到主屏壁的作用。必要时，内层船体或独立液舱结构应起到次屏壁作用。

(2)2 型液舱：舱内的隔热层或隔热材料与一层或多层衬里组合成隔热层，能同时起到主屏壁和次屏壁两种作用，而且，这些屏壁能明显地识别。

1.8 液化气体船的危险区域和安全区域

液化气体船舶所载运的液货，大都是液化了的易燃，有毒或既易燃又有毒的气体。因此，在载运过程中，不可避免地有上述气体蒸发出来，因而，这种船舶与散化船一样，具有较大的燃烧、爆炸或毒害的潜在危险性，为了尽可能降低上述危险性，将船舶分为危险区域和安全区域，以便针对不同区域，提出不同的安全要求。

危险区域是指那些经常产生并积聚大量易燃、有毒或既易燃又有毒的气体的区域，如货物区域以及货管布置区域等。

安全区域是指那些不产生也不积聚上述气体的区域，或者除危险区域以外的区域，如起居处所，机器处所，控制室以及首隔离舱或首泵舱前面的首楼区域。

2 货物液体、蒸气和处理管路系统

2.1 液货管系和处理管系

液货管系指液货(包括蒸气)的装卸管系。处理管系指除了液货装卸管系以外对液货进行处理作业的有关管系;在此类管系中受压力作用的容器即为处理压力容器。加压驳运系统、再液化系统等都是处理管系。其中的压力容器有换热器(气化器)的气液分离器等都是处理压力容器。

液货管系的布置与散化船液货管系的布置类似,也大致分为分组——总管系统的独立系统(一舱一泵系统)两类。

2.2 受内压管管壁厚度

受内压管管壁厚度需符合国际气体规则的规定。其计算公式及公式中符号的涵义均与本篇第1章2.3所述相同。

管壁的最小厚度要求,能见本篇第1章表7.8.1—1和表7.8.1—2的规定。

2.3 设 计 压 力

管路、管系及其附件的设计压力,应取下述情况的较大值;

1)可能与释放阀隔离,并含有某种液体和蒸气的管系及其附件,应为45℃时的饱和蒸气压力。

2)可能与释放阀隔离,并只含有蒸气的管系及其附件,应为45℃时的过热蒸气压力,经主管机关同意,可取较高或较低值,这时假定系统中饱和蒸气的初始状态处于系统的工作压力和工作温度。

3)液货舱和货物处理系统释放阀的最高允许调整压力(MARVS)。

4)有关泵和压缩机的安全阀的调整压力。

5)货物管系在卸货或装货期间可能承受的最大总压头。

6)管路系统中释放阀的调整压力。

一般,设计压力不得小于1MPa,管端开口敞开管路的设计压力不得小于0.5MPa。

2.4 材 料

货物管路系统及压力容器所使用的材料,应根据最低设计温度来选取。

常用的材料如表7.8.3—2所示。

液货舱外面的管子,其材料溶点不得低于925℃。

2.5 管路附件的型式试验

管路附件包括阀和波纹管膨胀接头。

2.5.1 阀的型式试验

工作温度低于－55℃的阀,在最低设计温度下,进行密性试验,其试验压力须不小于阀的设计压力。

表 7.8.3—2　　**液舱、压力容器和货物管系等使用材料**

最低设计温度℃	液货舱，压力容器	货物管系其他(阀泵等)
0	碳锰钢(全镇静、细晶粒)	
−55	低温用碳锰钢(全镇静、细晶粒)	
−60	$1\frac{1}{2}\%$镍　钢	$2\frac{1}{4}\%$镍　钢
−65	$2\frac{1}{4}\%$镍　钢	
−70	$3\frac{1}{2}\%$镍　钢	
−90	$3\frac{1}{2}\%$镍　钢	$3\frac{1}{2}\%$镍　钢
−105	5%镍　钢	
−165	9%镍钢；铝合金，如5083型奥氏体不锈钢，如304、316、321和347型36%镍钢	

2.5.2　波纹管膨胀接头的型式试验

1)不预压的波纹管元件，应经不小于5倍设计压力的压力试验，试验持续时间5min，以不破裂为合格。

2)带有所有附件的型式试验用膨胀接头，在制造厂推荐的最大位移条件下，经两倍设计压力的试验，应无永久变形。

3)完整的膨胀接头，应经下列试验：

(1)热运动循环试验，在压力、温度、轴向运动、回转运动和横向运动条件下，进行试验，试验次数应不少于实际工作中可能遇到的循环次数。

(2)循环疲劳试验 在营运过程中，由于船体变形可导致管路中各组成部分的相应变形，因此，要求波纹管膨胀接头需具有足够的疲劳强度。试验时在无内压的情况下，以不高于5次/s的频率作变形运动，至少进行2×10^{6}循环变形。如果实际上不受船体变形的影响时，则可不进行此项试验。

如能提供完整的文件，证明膨胀接头适合于承受预计的工作条件时，则可免做型式试验。

2.6 管路的连接

2.6.1　管段的无法兰连接

管段与管段的连接，除了法兰连接以外，可以采用下述无法兰连接：

1)完全焊透的对接焊：设计温度低于−10℃时，应为双面焊或与双面焊等效的焊接。这可采用在第一道焊道加背环嵌入溶化焊条或惰性气体封底等办法来达到。设计压力超过1.0MPa且设计温度为−10℃或−10℃以下时，焊接以后，背环应除掉。

2)滑动套筒焊接：外径小于或等于50mm和设计温度不低于−55℃的端部敞开的管路可以采用。

3)螺纹连接：用于外径小于或等于25mm的次要管路和仪表管路。

2.6.2　管段与法兰和连接

1)对接焊接：用于设计温度低于−55℃的管路。

2)套装焊接：用于设计温度低于−10℃并直径小于或等于100mm的管路。

3)插入焊接：用于设计温度低于−10℃并直径小于或等于50mm的管路。

2.7 液货系统阀的设置

货物管系和液货舱应根据释放阀最大许可调整值(MARVS)的大小来设置必要的控制阀。

1)当液货舱释放阀最大许可调整值(MARVS)不超过0.07MPa(表压)时,液货舱所有的液体和蒸气连接管,都应设置截止阀,其位置应尽可能靠近液货舱。这些阀可以是遥控的,但必须能就地手动操作。另外,在船上其他部位,还应设有一个或几个应急关闭(遥控的)阀,以便必要时切断船和岸之间的液体和蒸气货物的输送,所以,这类阀应与货泵或压缩机联动。

2)当液货舱释放阀最大许可调整值(MARVS)超过0.07MPa(表压)时,液货舱所有的液体和蒸气连接管,都应设有一个手动操作截止阀和一个遥控的应急关闭阀。这些阀应尽可能靠近液货舱。如管径不超过50mm时可用超流量关闭阀来代替应急关闭阀。上述手动操作截止阀和遥控的应急关闭阀可以组合为一体。

所有设有应急关闭阀的管路系统,其阀的关闭,至少可以在船上两个远离的地点用单独的控制装置进行操作,其中一个地点应是液货集中控制站或货物控制室。

综合以上情况。液货管系阀的设置可由表7.8.3—3来表示

表7.8.3—3　**液货管系阀的设置**

液舱种类	管路种类	截止阀等设置地点		
		液舱附近	通岸接头处	其他(液舱和通岸接头间)
释放阀最大许可调整值(MARVS)>0.07MPa压力式或低温压力式	货物/气体一般用管	手动操作截止阀和遥控应急关闭阀(手动操作截止阀和遥控应急关闭阀的两项功能合在一个阀内也可以)	遥控应急关闭阀	液货装货管:和高液位报警系统连动的自动关闭阀(左栏的应急关闭阀具有上述功能也可以)其他:其他管路连接地点适当设置阀门。
	同上 但管径不超过50mm者	同上 或手动操作截止阀和超流量关闭阀		
	非货物输送管	同上 栏第二种情况	同上,或设盲板法兰	
	带有小孔的测量管(其他)	手动操作截止阀	—	同上 栏的其他情况
释放阀最大许可调整值(MARVS)≤0.07MPa低温式	货物/气体一般用管	手动操作截止阀	遥控应急关闭阀	液货装货管:和高液位报警系统连动的自动关闭阀(左栏的应急关闭阀具有上述功能也可以)其他:其他管路连接地点适当设置阀门。
	非货物输送管		同上 或设盲板法兰	
	测量管		—	

2.8 液货驳运系统

1)货泵驳运系统:此种系统由货泵输送货物。它至少应设有两套独立的设施,能把货物从每一液货舱内排出。其设计应能在一个货泵或一套输送设施发生故障时,不妨碍其他货泵或另一套输送设施的使用。

2)加压驳运系统:此种系统利用液货蒸气加大液货舱内的压力,将该舱内的液货排出。气体加压可以作为一种输送货物的设施,但这些液货舱的设计,应使其安全系数在货物输送作业中不会减少,且气体加压输送货物过程中,应防止释放阀开启。其布置如图 7.8.3—2 所示。

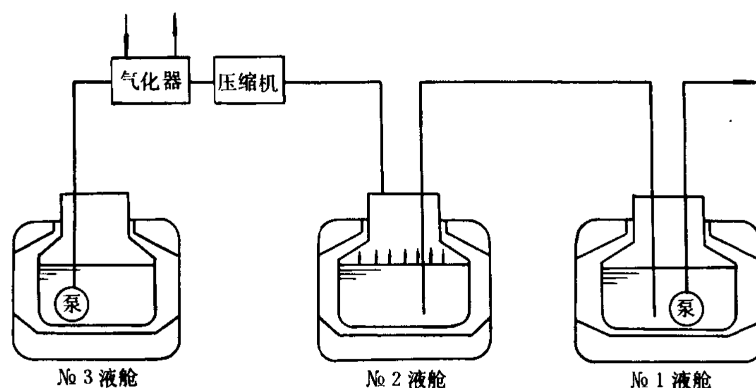


图 7.8.3—2 加压驳运系统布置

2.9 试 验

液货舱内外管路均应经压力试验和功能试验,以检验它们的制造质量和安装质量。

2.9.1 压力试验

所有液货管路及处理用管路,均应经压力试验。压力试验分为强度试验和密性试验。

1)强度试验:以 1.5 倍的设计压力进行静液压试验,试验介质可以是水,或经主管机关或船级社同意的其他液体。

2)密性试验:在船上安装结束以后,应进行密性试验,其试验压力取决于所采用的泄漏检测方法。试验介质应为气体,如空气或其他气体(如氮气)等。

2.9.2 功能试验

所有管系包括阀、附件以及处理和控制液货或蒸气用的设备,应在第一次装货作业之前,在正常工作条件下,进行功能试验。

2.10 修理时的注意事项

液货管系的修理注意事项参见本篇第 1 章 2.7 的内容。

3 舱底水和压载水系统

货舱处所内积水的排除,应由独立的排水系统来完成。该系统与主机舱处所的排水系统不得有任何连接。当设有次屏壁时,须设有处理泄漏入货舱处所或隔热层处所内液货的装置。一般,通过喷射器进行排除。

排水系统应适合于抽除液货舱漏出的液货。其布置应确保能将泄漏出的液货回输至液货舱内或通过应急管路排至舷外。

其布置如图 7.8.3—3 所示

由于所有的压载水舱均由屏壁间处所或隔离舱与液货舱加以隔开，所以，可以将压载水系统引至机器处所内适当的泵，通过这些泵进行压载或将压载水排除。

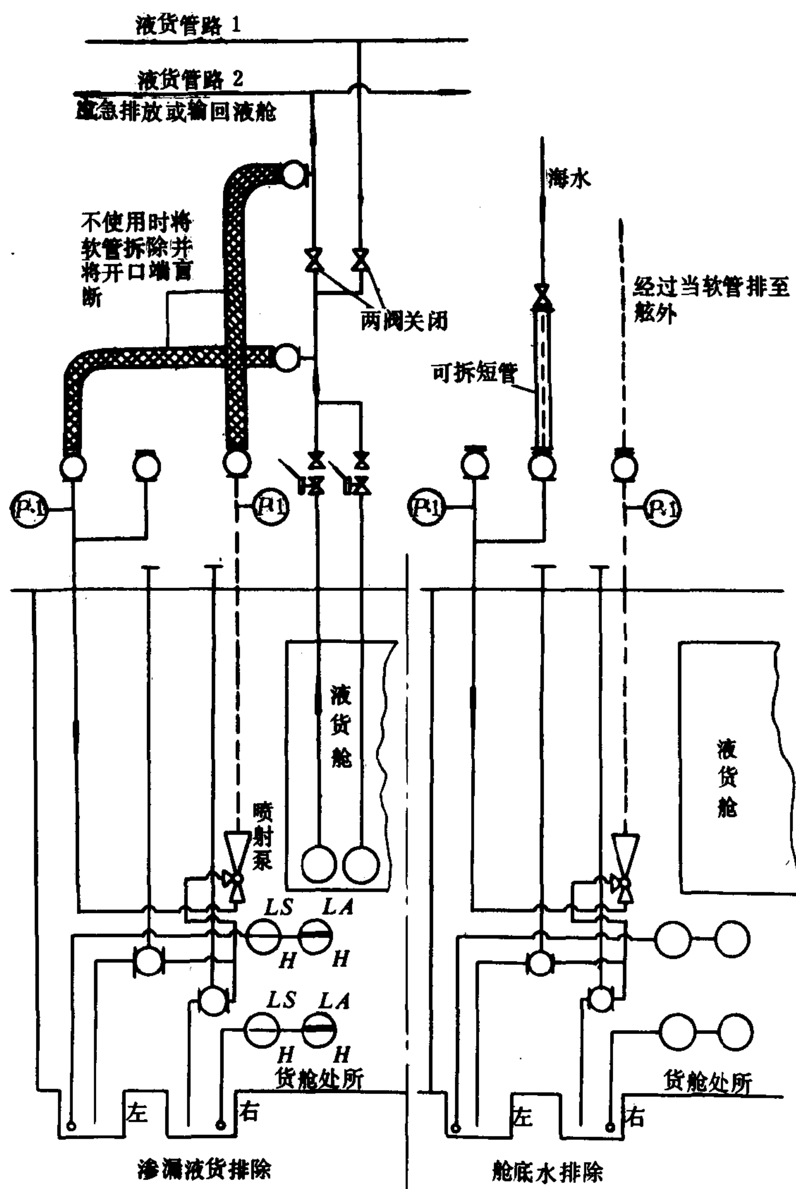


图 7.8.3—3　货舱处所液货和舱底水排除系统布置

4　液货舱透气系统

一般凡可能承受超过其设计压力的处所，都应设有透气装置，以使该处所得到超压保护。其中，液货舱必须设有适合于货物围护系统的设计和所载货物特性的压力释放系统。此外，货舱处所，屏壁间处所和液货管路，必要时也应设有适当的压力释放装置，该装置应与透气系统连通。

4.1 压力释放系统

4.1.1 压力释放阀的数量

每个舱容超过 $20m^3$ 的液货舱，至少要设两个排量大致相等的压力释放阀；舱容不超过 $20m^3$ 者，可以只设一只压力释放阀。当压力释放阀装有锁闭装置以利维修时，其布置应连锁，以便当一释放阀被关闭时，另一压力释放阀对液货舱是有效的。

4.1.2 压力释放阀和透气出口的布置：

压力释放阀应与透气系统连接，透气系统应使液货蒸气垂直向上排出。透气管出口的高度，应在露天甲板以上不小于 B/3（B 为船宽）或 6m，取其大者；并高出工作区域和前后步桥至少 6m。

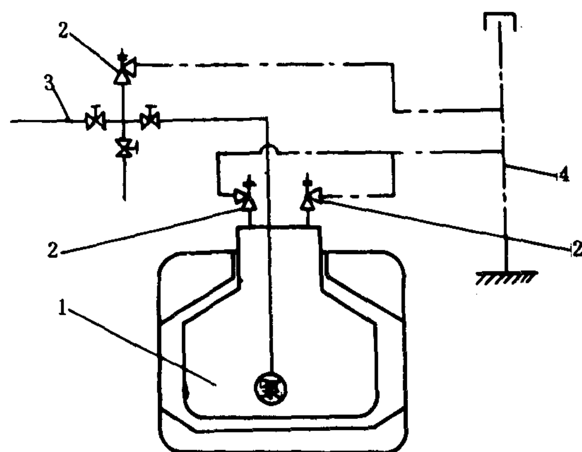


图 7.8.3 4 液舱透气系统布置

1—液舱；2—压力释放阀；3—液货管；4—透气总管

透气管出口与起居处所，服务处所和控制站或其他气体安全处所最近的空气进口或开口的水平距离，至少为相当于船宽的距离或 25m，取其小者。船长小于 90m 时，上述安全距离可以适当缩小，但需经船检部门同意。

与货物围护系统相连的其他透气出口，与起居处所，服务处所和控制站或其他气体安全处所最近的空气进口或开口的水平距离，至少为 10m。

液化气体船舶透气系统的布置，如图 7.8.3—4 所示。

4.1.3 压力释放阀的排量

应根据下述原则进行设计，对每个液货舱，压力释放阀的总排量，应能排出下列较大数量的气体，不使液货舱内的压力升高超过压力释放阀最大许可调整值（MARVS）的 20%。

1）如果液货舱惰化系统所能达到的最大工作压力可能超过液货舱压力释放阀最大许可调整值（MARVS）时，压力释放阀的排量取液货舱惰化系统的最大排量；

2）在火灾情况下，用下列公式计算压力释放阀的最小排放率：

$$Q=F\cdot G\cdot A^{0.82}\quad m^3/min \qquad (7.8.3—1)$$

式中：Q—— 在标准状态下（273K 和 0.1013MPa）所需的最小空气排放率，m^3/min；

F—— 不同型式液货舱的火灾波及系数详见 GC 规则 8.5 节；

G—— 气体系数，可由下式求得：

$$G=\frac{177}{L\cdot D}\sqrt{\frac{Z\cdot T}{M}} \qquad (7.8.3—2)$$

其中：T—— 在压力达到压力释放阀最大许可调整值（MARVS）的 120%时，释放状态下气体的绝对温度，K；

L—— 在释放状态下，物质的气化潜热，kJ/kg；

D—— 系数，由比热 k 表决定：

$$D=\sqrt{k\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \qquad (7.8.3—3)$$

D值也可由表7.8.3—4查得，如果k为未知数，则D取0.606；

表7.8.3-4 **系 数 D**

k	D	k	D
1.00	0.606	1.52	0.704
1.02	0.611	1.54	0.707
1.04	0.615	1.56	0.710
1.06	0.620	1.58	0.713
1.08	0.624	1.60	0.716
1.10	0.628	1.62	0.719
1.12	0.633	1.64	0.722
1.14	0.637	1.66	0.725
1.16	0.641	1.68	0.728
1.18	0.645	1.70	0.731
1.20	0.649	1.72	0.734
1.22	0.652	1.74	0.736
1.24	0.656	1.76	0.739
1.26	0.660	1.78	0.742
1.28	0.664	1.80	0.745
1.30	0.667	1.82	0.747
1.32	0.671	1.84	0.750
1.34	0.674	1.86	0.752
1.36	0.677	1.88	0.755
1.38	0.681	1.90	0.758
1.40	0.685	1.92	0.760
1.42	0.688	1.94	0.763
1.44	0.691	1.96	0.765
1.46	0.695	1.98	0.767
1.48	0.698	2.00	0.770
1.50	0.701	2.02	0.772
		2.20	0.790

Z——在释放状态下，气体的压缩系数，如此系数为未知数，则Z取1.0；

M——货品的分子量；

A——液货舱的外表面面积，m^2。

对回转体形液货舱壳体；

A＝外表面面积；

对非回转体形液货舱壳件；

A＝外表面面积减去底面投影面积；

对由一组压力容器组成的液货舱；

船体结构隔热时；

A＝货舱外表面面积减去其投影面积；

液货舱结构隔热时：

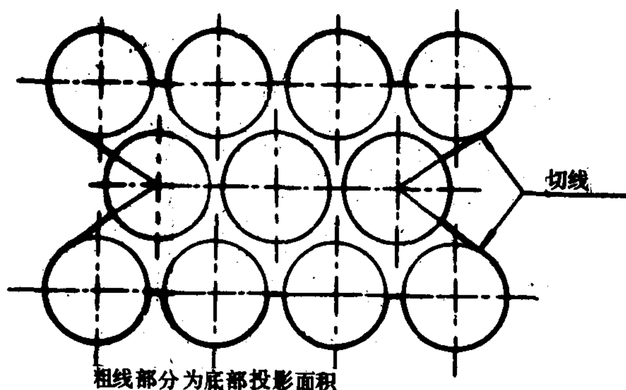


图7.8.3—5 舱群投影底部面积的确定

A——一组压力容器的外表面面积（不包括隔热层）减去其底部投影面积，如图7.8.3—5所示。

4.1.4 压力释放阀的型式试验

压力释放阀应进行原型试验，以确保压力释放阀具有所要求的排量，且每个压力释放阀都应经过性能试验，以保证在规定的调整压力下开启，其允许的开启压力偏差见表7.8.3—5。

表7.8.3—5 **压力释放阀开启压力允许偏差**

开启压力	允许偏差
0～0.15MPa(不包括0.15MPa)	±10%
0.15MPa～0.30MPa(不包括0.30MPa)	±6%
0.30MPa以上	±3%

压力释放阀的开启压力经校核后应进行铅封。

4.2 液位控制附加压力释放系统

如果当货物在达到压力释放阀调整压力和货物蒸气在该压力下相应温度之前，下述基准温度将会导致液货舱满溢时；或者在发生火灾情况时，为防止压力释放阀动作后液货舱内液货可能溢出；所以每个液货舱还应按装具有足够排量的附加压力释放系统。

基准温度定义如下：

(1)当没有设置液货蒸气压力/温度控制装置时，取压力释放阀调整压力下液货蒸气的相应温度；

2)当设有液货蒸气压力/温度控制装置时，基准温度应为装货终了、运输期间或卸货时液货蒸气的最高温度。

附加压力释放系统应装设以下设备；

1)一只或数只压力释放阀其调整压力应为基准温度下液货的蒸气表压力；

2)一越控装置，随时可以阻止其在正常情况下动作。此装置应有易熔元件，它在温度为98℃～104℃之间熔化，并能使附加释放阀工作。通常，易熔元件应布置在液舱气室上的释放阀附近。

在压力释放阀的调整压力下，附加压力释放系统的总排量；应不低于公式(7.8.3—1)计算之值。

4.3 真空保护系统

如果液货舱的设计能承受的最大外压差不超过0.025MPa，或不能承受下列情况原因，可能出现的最大外压差时，为了保护液货舱结构不致因过高真空度而损坏，应设置真空保护系统。

①在最大卸货速率下无蒸气返回液货舱内，或②液货冷却系统工作，或③抽送蒸气给机器处所作燃料等。

若液货舱能经受大于0.025MPa的外压差，并能承受卸货时无气体返回液货舱内等上述原因而产生的最大外压差时，则不需要设真空保护系统

真空保护系统，可由以下列方式之一组成：

1)两个独立的压力开关。在液货舱内的绝对压力足够低时，即达到液货舱所能承受的最大外压差时，顺序地报警；并随即停止从液货舱内抽取液体或蒸气和停止制冷设备的运转(如设有时)；或

2)真空释放阀，开启后，使惰性气体、货物蒸气或空气进入液货舱；或

3)经主管机关认可的其他真空释放系统。

5 首尾装卸系统

由于船舶停泊港口条件的限制或装卸货的特殊需要，经主管机关批准，可以安装船首或船尾装卸货物的管路系统。

通过起居处所，服务处所或控制站的船首或船尾装卸管路，不能用来输送要求1G型船舶运输的货品。除非得到主管机关的特别许可，否则，船首或船尾装卸管路不能用来输送毒性货品。

在货物区域以外的货物管路及其有关设备，只准用焊接连接。货物区域外的管路，除了横贯船宽的两岸管路以外，应敷设在开敞甲板上，且位于距船舷至少760mm的船内侧。在货物区域内与货物管路的连接处，应设置截止阀和可拆短管，以便在不使用时，卸除可拆短管并用盲板封闭。

管路连接须为全焊透的对接焊且不论其管径大小和设计温度高低，全部焊接接头均应经射线检查。只允许在货物区域内或通岸接头处设有必要的法兰接头。

应设有相应设施，以便在首、尾装卸管系使用后，对管路进行驱气和除气；与驱气管相连的透气管路应终止于货物区域之内。

6 液货压力/温度控制系统

由于热交换的影响，液货舱内的液货不断地受热蒸发，据统计，一般情况下LNG每昼夜的蒸发率约为40/10000，即10000t液货每昼夜约蒸发40t。由于液货的不断蒸发，致使液货舱内的压力不断升高，为了保证液货舱结构的安全，又不致使液货受到损失，则需对液货进行压力/温度控制。

液货压力/温度控制可采用下述方法：

1)用机械制冷系统来调节液货舱内的压力和温度；

2)抽取液化蒸气作为推进装置的燃料，使液舱内保持正常的压力。此法仅适用于LNG货品；

3)使液货舱有足够的隔热层或使液货舱具有足够的强度，或二者兼备；

4)主管机关可以接受的其他系统；

5)将液货蒸气放入大气。此法因液货损失严重，很不经济；另一方面因货物性质不同，还有很大的局限性。

6.1 机械制冷系统——液货蒸气再液化系统

此系统的作用是通过机械制冷系统，将液货蒸气抽出液化后，再回输至液货舱内，以此来控制液货舱内的压力和温度。

制冷系统由一组或多组制冷机组组成。除非设有其他有效的控制液货压力/温度的设施，否则，还要设有一组或几组备用机组，其容量至少相当于所需最大单台机组的容量。备用机组包括配有电动机的压缩机、控制系统以及必要的附件，且能独立运转。如果日用机组的换热器容量超过最大需求量的25%以上，则不需备用换热器。

如果同时载运两种或两种以上有危险化学反应的冷冻货品时，则应对每种货品各设置独立的制冷系统。

如果制冷系统需要用水冷却时，应设一台或几台专用泵来供应足够的冷却水。这些泵应有两个吸水口，此外，还应设一台备用泵。

6.2 制冷系统的形式有以下几种

1）直接冷却系统：此系统以液货蒸气为制冷剂，将其压缩，冷凝后再回输至液货舱内，使液货舱内降压和降温，从而达到压力/温度控制的目的。

直接冷却系统的布置如图 7.8.3—6 所示。

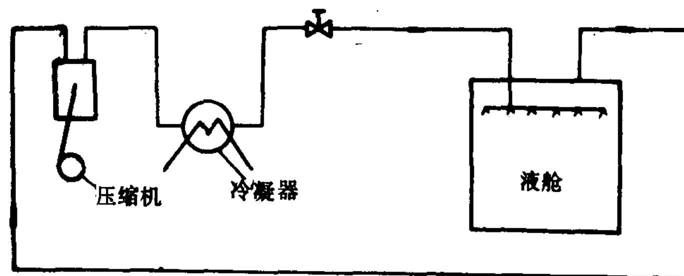


图 7.8.3—6 直接冷却系统示意图

2）间接冷却系统：此系统以其他物质为制冷剂，并与液货或液货蒸气进行热交换，使液货或液货蒸气冷却或冷凝，从而使液货舱内降压和降温。

间接冷却系统的布置如图 7.8.3—7 所示。

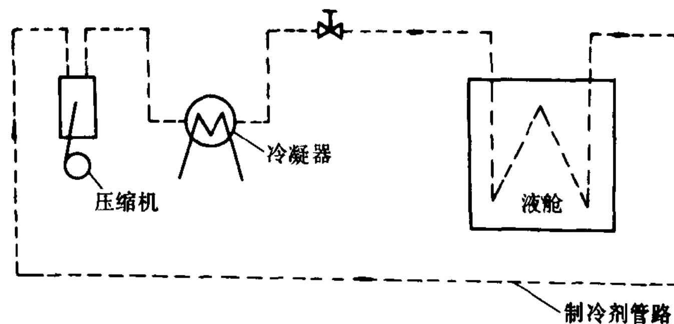


图 7.8.3—7 间接冷却系统示意图。

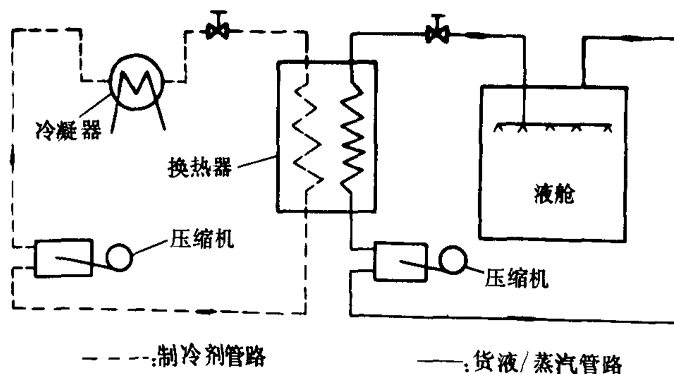


图 7.8.3—8 混合冷却系统示意图

3)混合冷却系统:此系统同时采用直接冷却系统和间接冷却系统,使液货蒸气冷凝后,再回输至液货舱内,从而使液货舱内降压和降温。

混合冷却系统的布置如图 7.8.3—8 所示。

7 环境控制系统

环境控制就是采取措施使液货舱、液货管路以及货舱处所内的大气环境不致出现易爆气体,或使液货与空气隔绝,从而获得一个安全的环境。

7.1 液货舱和液货管路内的环境控制

应设一个管路系统,可使每个液货舱能安全除气,且能在除气后的状态下,安全地用液货气体进行驱气。每个液货舱内应设足够多的取样点,以监测驱气和除气的过程。

当载运易燃货品时,应利用充注惰性气体作为中间环节,以便在除气作业的每个阶段,减少易爆气体混合物存在于液货舱内的可能性。另外,此系统应能使液货舱在注入货物液体或气体之前,用惰性气体驱除舱内的空气,不允许易爆气体在任何时候存在于液货舱内。

可能存有液货的管路,也应除气和驱气。

7.2 货舱处所(除 C 型独立舱外的货物围护系统)内的环境控制

1)要求完全次屏壁的货物围护系统:

在屏壁间处所和货舱处所内,应使用干燥惰性气体惰化。若船上不设置惰性气体发生系统,则船上应储备够 30 天正常消耗的惰性气体,以维持惰化。

2)要求部份次屏壁的货物围护系统:

在屏壁间处所和货舱处所内,或按上述要求进行惰化,或按要求不需要惰化者,可充以干燥空气,但船上应备有随时可用的惰性气体或惰性气体发生器,同时还应设有液货气体检测装置和干燥空气制造设备。

3)若载运的货品为非易燃气体,则屏壁间处所和货舱处所可用干燥空气或惰性气体维持安全环境。

7.3 C 型独立舱周围处所的环境控制

未设置次屏壁的冷冻液货舱周围处所,应充入干燥惰性气体或干燥空气,且船上应有气源可补充并维持这种状态。

7.4 环境控制用惰性气体

为了对液货舱及其相邻处所进行惰化,船上需设置惰性气体系统,其布置须保证能使每个处所单独地进行惰化。系统中应设有必要的控制装置和释放阀,以防系统超压。所需惰性气体可以由船上生产,或由岸上供应。系统应设有防止货物气体由被惰化处所回流至惰性气体系统的设施。

惰性气体发生器应确保其所产生的惰性气体容积含氧量不超过 5%,其供气管上应设置一个连续读数的容积含氧量分析仪和一在容积含氧量达 5%时动作的警报装置。在装货前从液货舱内排除空气过程中所使用的置换用惰性气体,其容积含氧量应不超过 2%。

惰性气体发生器的火焰燃烧设备，不得位于货物区域之内，而且惰性气体管路不得通过起居处所，服务处所或控制站。

液化气体船上惰性气体的使用和供给方式如表 7.8.3—6 所示。

表 7.8.3—6　**惰性气体的使用和供给**

供给方式		成份	防爆用				货物质量稳定用			注
			除气	充气	空间充入用	补给	除气	充气	补给	
岸上或驳船等供给		N_2 N_2+CO_2	√	√	√	—	√	√	—	选用合适的气体
燃烧排气式制造装置	锅炉(重油)	N_2+CO_2	√	√	—	0	—	—	—	纯度不高很少使用
	惰气发生器(轻油)	N_2+CO_2	0	0	√	√	√	√	√	辅燃气轮机排气
	同上，CO_2 去除装置	N2	0	0	√	√	√	√	√	辅燃气轮机排气
贮存氮气	液氮	N2	△	△	△	√	△	△	√	纯度高
	氮气	N2	△	△	△	√	△	△	√	纯度高

注：表中符号为：√：主要使用；0：使用；△：应急时使用；—：没有使用实例。

LNG 船液舱除气用惰性气体标准成分如表 7.8.3—7 所示。

表 7.8.3—7　**LNG 船液舱除气用惰性气体标准成分**

	第一类	第二类	第三类
O_2	≤1%	≤2%	≤3%
CO	≤100 mg/L	$(CO+H_2)$≤1%	≤10% mg/L
SO_2	≤50 mg/L	10 mg/L	0 mg/L
NOX	—	100 mg/L	40—60 mg/L
CO_2	≤15%	其余	其余
N_2	其余		
灰分	0	0	0
露点	≤−45℃	≤−55℃	≤−53℃

8　防火和灭火系统

常规的防火灭火系统已在本卷第 6 篇中介绍，此外，对液化气船还有一些特殊要求，说明如下：

8.1　水消防主要设备

所有载运国际气体规则所列货品的船舶，不论其吨位大小，都应满足 74 年安全公约第Ⅱ—2 章第 4 条(消防泵、消防总管、消火栓和消防水带)和第 7 条(机器处所的灭火设备)的要求，并按其适用于 2000 总吨及以上油船的规定，应予适用。

消防泵和消防总管可以用作水雾系统的一部分，但消防泵的排量和消防总管的直径应相应增大。消火栓处的压力，按照安全公约规定的方法进行测量，至少应为 0.5MPa。

水灭火系统的布置，应至少使两股水柱能射到货舱区域内甲板的任何部位，和甲板以上的

货物围护系统，以及货舱盖部分。消防水带的长度不超过33m，所有水枪都应为认可型的水柱、水雾两用水枪。

如果船舶机舱为周期无人值班者，则至少应有一台消防泵能从驾驶室或货物区域以外的其他控制站进行遥控起动。

8.2 水雾系统

在运载有毒或易燃货品的船上，应设有固定式水雾系统，以便供冷却，防火和船员防护时使用。

水雾系统应能覆盖下列区域：

1)暴露的液货舱气室和液货舱的其他暴露部分；

2)甲板上储存有易燃或有毒货品的露天容器；

3)货物液体和蒸气的装卸总管，及其控制阀区域，其他主要控制阀区域和防滴盘区域；

4)起居处所，货物压缩机室、货泵舱，存放有高度着火危险物品的储藏室和货物控制室等面向货物区域的围壁。

水雾系统所需水量，可按以下各项的总和决定：

1)水雾系统覆盖区域的水平投影面积乘以 10L/(m².min)；

2)水雾系统覆盖区域的垂直投影面积乘以 4L/(m².min)；

3)水平面或垂直面不能明显区分的结构，取下列二者的较大值：

(1)水平投影面积乘以 10L/(m².min)；或

(2)实际表面积乘以 4L(m².min)。

水雾系统的布置如图 7.8.3—9 所示。

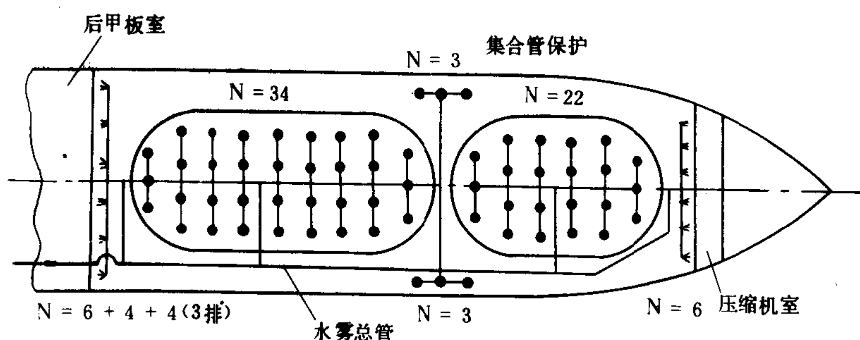


图 7.8.3—9 水雾系统布置图

→—水平方向喷嘴；●—向下喷嘴；N—喷嘴数

8.3 化学干粉灭火系统

凡载运易燃货品的船舶，都应安装固定式化学干粉灭火系统，用来扑灭货物区域甲板上的火灾，如合适时，可对首、尾装卸装置的区域进行灭火。

化学干粉灭火系统包括干粉柜、管路，手持软管或喷粉器以及驱动气体(氮气)容器和管路。每套装置至少有两根手持软管或两个喷粉器与手持软管相组合。货舱容积小于 1000m³ 的船舶，可设一套干粉灭火装置，而货舱容积大于等于 1000m³ 的船舶，则至少应设两套。此外，有首、尾装卸装置的船舶，应增设一套化学干粉灭火装置，该装置应至少有一根手持软管和一

个喷粉器，以便用来保护首、尾装卸设备。

8.3.1 干粉喷射率和储存量

1)干粉喷射率：

喷粉器：不小于 10kg/s；

手持软管：不小于 3.5kg/s。

2)干粉储存量：干粉柜内的干粉储存量，应足够所有连接的喷粉装置喷射 45s。

8.3.2 喷粉器覆盖距离

1)固定式喷粉器覆盖距离如下：

喷粉器排量(kg/s)：10　25　45

最大覆盖距离(m)：10　30　40

2)手持软管的最大覆盖距离，等于软管本身的长度，软管长度应不超过 33m。

8.3.3 化学干粉的成份和物理性能

化学干粉的成份和物理性能，请参见本卷第 6 篇第 2 章的有关内容。

8.3.4 化学干粉灭火系统的布置

化学干粉灭火系统的布置如图 7.8.3—10 所示。

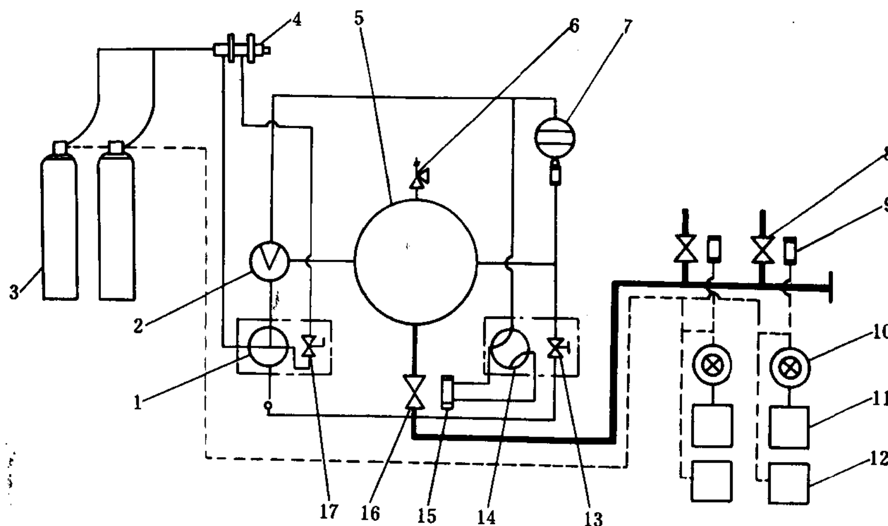


图 7.8.3—10　化学干粉灭火系统原理图

1—吹洗阀；2—流量控制阀；3—氮气容器；4—压力调节器；5—干粉容器；6—安全阀；7—定压驱动阀；8—分配阀；9—分配阀动力缸；10—CO_2 瓶(起动)；11—瓶头阀线圈；12—压力开关；13—排气阀；14—动力缸操作阀；15—总阀动力缸；16—总阀；17—压力调节器开关阀

8.4　气体危险围蔽处所的灭火系统

货物气体压缩机室和货泵舱等气体危险围蔽处所，有可能发生易燃液体或蒸气的泄漏，从而导致发生火灾。因此，应装设固定灭火系统，如采用 CO_2 灭火系统时，应对静电危险加以考虑，必要时，在处所内应设有声响报警装置，以便在惰化/灭火介质进入该处所之前，使人员能紧急撤离。系统的布置和要求，与油船货泵舱的固定灭火系统相同。

9　货物区域内的机械通风系统

9.1　装卸作业期间需要进入的处所

1)电动机机舱、液货气体压缩机室、货泵舱，装有货物装卸设备的其他围蔽处所以及在其中进行货物操作的类似处所，均应设有机械通风系统。通风系统应能在所在处所之外进行控制。通风系统的排量，根据该处所总容积来计算，每小时换气次数不得少至30次。若液货控制室为气体安全处所时，其换气次数可为每小时8次。

2)通风方式：

(1)电动机(驱动压缩机和泵用)室、机器处所(含有惰性气体发生器者除外)，液货控制室(气体安全处所)和货物区域内的其他气体安全处所，均应采用正压通风，即进风式通风。

(2)液货气体压缩机室、货泵舱、液货控制室(气体危险处所)等，均应采用负压通风，即诱导式通风。

3)排风口布置：

气体危险处所的排风管道，应向上设排风口，排风口与空气进口以及起居处所，服务处所，控制站和其他气体安全处所开口的水平距离至少为10m。

4)通风机均应采用防爆型。具体要求与油船货泵舱通风机相同，参见本卷第5篇第3章。

9.2　通常不进入的处所

货舱处所、屏壁间处所、留空处所、隔离空舱、含有液货管路的处所以及可能积聚液货蒸气的其他处所，应设置固定式通风系统或可移式通风装置，以便在需要进入这些处所时，能进行通风，保证有一个安全的环境。可移式通风装置应为认可的型式。由于某些处所的形状所限，如货舱处所和屏壁间处所，需要时应设永久性的导风管。这些处所的通风机的要求与经常进入处所相同。

10　测量和气体探测系统

10.1　与液货有关的测量和探测项目(见表7.8.3—8)

表7.8.3—8　**与液货有关的测量和探测项目**

项　目	测量、探测器或取样等地点	注
液　位	液货舱、各种处理用容器等	
	屏壁间处所、货舱处所	包括舱底水水位测量
压　力	液货舱、各种处理用容器*1，货物管系压缩机、泵等	
	货舱处所、屏壁间处所、隔热处所、二次隔热处所等液货舱周围处所	压力式液化气体船不要求

续上表

项　目	测量、探测器或取样等地点	注
温　度	液货舱	货物温度测量
	最低使用温度<−55℃的液舱围壁等	低温式低温压力式液化气体船
	最低使用温度<−55℃具有次屏壁情况下的隔热层，内壳等	低温式液化气体船
	货物冷却装置，各种处理用容器，压缩机，蒸发气体燃料管等	
	货物管系(通岸接头处)	液货注入用
气体探测	监测液货舱，次屏壁等	目的是监测货物液体
	全　部*2	用可携式气体检测仪
	货泵舱/压缩机室，电动机室，空气闸等	除规则要求者外，在起居处所的适当地点设置的例子也较多
	货舱处所，屏壁间处所等液货舱周围处所	C型独立舱的货舱处所除外
	蒸发气体燃料导管/供气管	仅LNG船
	薄膜/半薄膜液舱的屏壁间处所	精确测定(0～100%气体浓度)
气体成分	货物液体输送管(取样管)	船舶设置分析仪器的实例很少
	蒸发气体燃料供给管	热量计算用，仅LNG船
含氧量	全部*2	用可携式含氧量测定仪
	惰性气体供给装置	
液体密度	液货舱	LNG船装设
流　量	液货管系(货物液体装卸管)	仅特殊货物(液氯)用
	货物管系(货物气体装卸管)	货物出/入量测量
	货物冷却装置，蒸发气体燃料装置等	控制用
湿　度	干燥空气或惰性气体等的供给装置	
	液舱，屏壁间处所，货舱处所等	取样测量
热　量	蒸发气体燃料供给管系	

*1　为中间舱、容器、冷凝器、货物液体/气体加热器、冷却器、气液分离器、油分离器、洗涤器等。

*2　为货舱、船上任何需测量的密封区域，包括取样测量。

10.2　液货舱的液位测量要求

每个液货舱至少应设置一个液位测量装置，在压力不低于液货舱释放阀最大调整值和温度在货物操作温度范围之内，该液位测量装置应能正常工作。如仅设一个液位测量装置时，即使在液货舱营运状态下，也能对它进行必要的维修和保养。

视液化气货品的性质决定液位测量装置的型式。可以是浮子式，电磁式、雷达式、压力传感式或吹气式的。具体原理结构及使用等参见本手册第7卷第5篇第8章。

10.3　压力测量要求

1)每个液货舱的蒸气空间应设有压力表，此压力表应在集中控制站处有一个指示器，而在驾驶室内设高压报警装置(若设有真空保护装置时，在驾驶室内还应设有低压报警装置)。

2)每个货泵排出管路、每个液体和蒸气货物总管,应至少设一个压力表。

3)应设就地读数的集合管压力表,以指示截止阀和通岸软管接头之间的压力。

4)没有设置开式连接管通大气的货舱处所和屏壁间处所应,设置压力表。

10.4 温度测量要求

1)每个液货舱至少应设两个液货温度指示装置,一个指示底部温度,另一指示上部温度。容积较大的液货舱,还要适当增加中部温度的指示装置。

2)当液货温度低于-55℃时(如 LNG),若液货围护系统设有次屏壁,则应在隔热层内或在与液货围护系统相邻接的船体构件上设置温度指示装置。该装置应能定时显示读数,必要时,在温度达到船体钢材允许的最低温度时,应发出声响报警信号。

3)如果液货是在温度低于-55℃下装运时,对液货围护系统应在液货舱的边界面处设置下述的温度指示装置:

(1)数量足够的温度指示装置,使液货舱边界面不致发生不良的温度梯度。

(2)在首制船上,应选择一个液货舱安装数量上超过要求的温度指示装置,以便验证初始冷却过程是否合格。

10.5 液货气体探测

探测设备按其设置可分为固定式和可携式。若按气体的性质可分为可燃蒸气探测设备,毒性蒸气探测设备,氧分析仪和易燃有毒蒸气探测设备。在国际气体规则中,用 F 表示可燃性蒸气探测,用 T 表示毒性蒸气探测,用 O 表示含氧量探测,用 F+T 表示易燃有毒蒸气探测。在国际气体规则第 19 章表内"f"栏分别用上述符号表示相应货品所需探测的蒸气类别。

探测设备的配备和使用,可按下述进行:

1)探测设备应在每 30min 内,对各探测点取样分析一次。

2)在载运有毒的或既有毒又易燃的货品情况下,除按规定必须使用固定系统以外,主管机关还允许使用可携式设备来代替有毒气体的固定探测系统,但工作人员进入这种处所之前或在其中工作过程中,均应检测毒气的含量,时间间隔不得超过 30min。

3)在表 7.8.3—8 气体探测栏中需进行气体探测的处所内,当货物蒸气浓度达到最低可燃极限(即爆炸下限)值的 30%时,易燃货品气体报警装置应动作。

4)当载运有毒货品时,货舱处所和屏壁间处所应安装固定的气体取样管路,并能用固定设施或可携设备通过取样管路,自每个取样地方取样和分析,每次间隔时间不超过 4min。如有工作人员进入该处所时,则在人员进入前和进入后停留期间,均应取样分析,其时间间隔不超过 30min。

5)每艘船舶至少应配备二套可携式气体探测设备。

11 高液位报警装置和溢流控制系统

除了满足下述免除条件的液货舱外,每一液货舱都应设置一个独立于其他液位测量系统的高液位报警装置,并在系统动作时发出声、光报警信号。

除了设置高液位报警装置外,还要设置液位传感器独立于高液位报警装置的溢流控制系统,也就是起高液位报警系统。溢流控制系统动作后,除了发出报警信号外,还应能使其截止阀

自动关闭，这样既能避免装卸管路中液体压力过高，又能防止液舱液体过满。上述截止阀可以是本章2.7中所述的应急关闭阀。如果另设一个专用阀，则该阀的关闭时间及其操作特性的技术资料，应保存在船上。如果装货期间使用这些阀有可能在装货系统内产生超压的危险时，主管机关和港口当局可同意采取替代措施，如限制装货速率等。

高液位报警装置和液货舱充注自动关闭装置的免装条件：

1)容积不超过 200m^3 的压力舱；或

2)液舱能承受装货时可能出现的最大压力，且此压力低于液货舱释放阀的调整压力。

高液位报警和溢流控制系统的原理和布置，可参见本篇第1章图7.8.1—6。

12 蒸发气体燃料输送系统

根据国际气体规则规定，只有液化天然气(LNG)的蒸气(甲烷)可以在机器处所内或锅炉舱内用作锅炉、惰性气体发生器，燃气轮机以及柴油机的燃料。LNG的蒸发率相当可观，因此，在船上燃用这些蒸气，一方面可以提高船舶的经济性，另一方面又解决了液货舱的压力/温度控制问题。

蒸发气体燃料输送系统的布置，应考虑如下原则：

1)蒸发气体燃料管路不准穿过起居处所，服务处所或控制站。

2)蒸发气体燃料管可为双层壁管，其内管用来输送气体燃料，在内外管之间充入惰性气体。惰性气体的压力应大于燃料气体的压力，而且对惰性气体的压力应进行监测。也可以将蒸发气体燃料管安装在有机械通风的管道内，机械排风设施的排量，应能使管道内的换气次数至少为每小时30次。通风系统应使管道内的压力持续低于大气压力，且当供气管内有燃料气体时，应始终保持通风。通风管道内应设有燃气检测装置，以监测燃气的泄漏，并在燃气的浓度达到予定值时，能自动切断向用气处所的供应。另外，通风装置不能排出并维持在所要求的空气流量时，应能切断向用气处所的燃气供应。

3)在法兰阀等所在地点和在用气装置上未采用双壁管或未被通风管道封闭的燃气管处，应设置通风罩或通风箱；且在通风罩或通风箱处也应设有气体监测装置，以便连续检测燃气的泄漏，并能停止向用气处所供应气体燃料。上述用气装置可为锅炉、柴油机或燃气轮机等。

4)每台用气装置都要设一套(共三只)自动阀，其中两只阀串接在耗气设备的气体燃料管上，另一阀作为透气阀，位于上述两个隔离阀之间的透气管上。如所要求的通风失效、锅炉燃烧器火焰熄灭、供气管内压力异常或阀的控制驱动介质故障时，两串接阀自动关闭，透气阀自动打开。

5)用气处所外面应设一个燃气输送管速闭总阀。在出现下列情况之一时，速闭总阀自动关闭：

(1)检测到燃气泄漏；

(2)排风管道或通风罩内的通风情况异常；

(3)双层壁气体燃料管内的惰性气体压力下降。

6)在系统中要求装有气体探测装置，并应符合下列要求：

(1)气体浓度达到爆炸下限的30%时，应能报警；

(2)气体浓度达到爆炸下限的60%之前，应停止向用气处所供应气体燃料。

蒸发气体燃料输送系统的布置如图7.8.3—11所示。

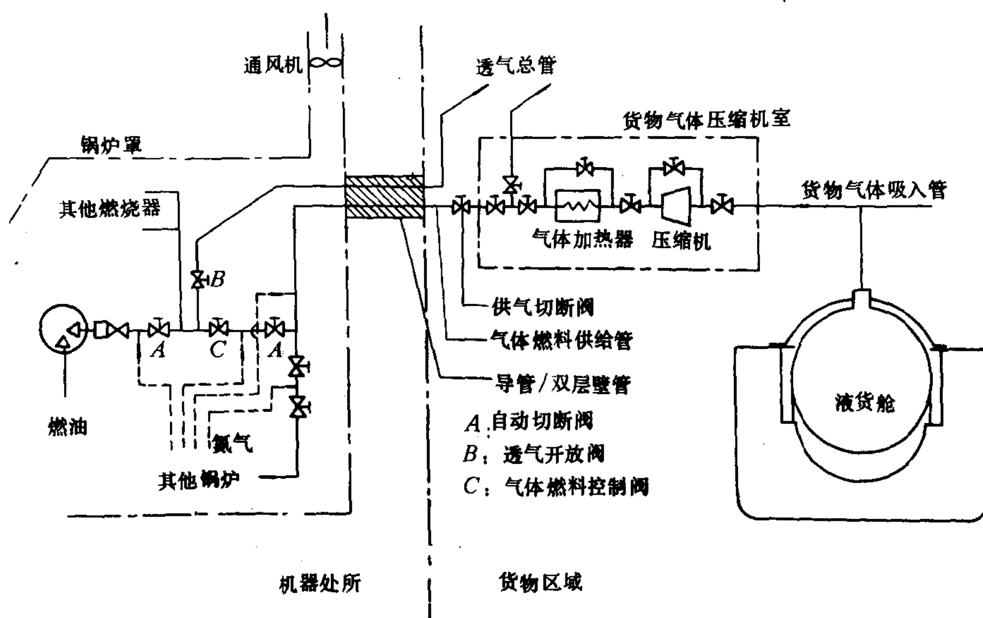


图 7.8.3-11 蒸发气体燃料输送系统

13 液化气体船专用系统的检验和维修检查

13.1 检验分类

液化气体船专用系统的检验分类与散化船专用系统的检验分类相同。

13.2 检验后的维护

船舶在完成了 13.1 所规定的任何一次检验后，未经主管机关批准，不应对检验过的构造、设备、附件、装置和材料作任何变更。对船舶及其设备应进行定期维修，确保其状态始终符合《国际气体规则》的规定。

13.2.1 管路的检验和维修检查要点

1)需检查的管路：

液货和蒸气管路；

液货舱透气管路；

液货冷却管路；

控制(油压/气压)管路；

液压/气压动力管路；

仪表/测量管路；

首、尾装卸管路；

蒸发气体燃料管路。

2)检查的重点附件：

压力释放阀；

阀/旋塞；

膨胀接头；

连接附件；

软管；

滤器；

焊接接头；

压力开关或真空释放阀；

超流量阀。

3)应查明的主要情况：

①腐蚀情况；

②工作状态；

③渗漏情况；

④畅通情况。

13.2.2 液货处理设备检验和维修检查要点

1)需检查的设备：

货泵；

制冷装置；

换热器；

惰性气体/氮气系统。

2)检查的重点部件及装置：

轴、轴承和联轴器；

轴封装置；

叶轮、叶片等；

缸盖、缸体；

气缸衬套；

活塞、连杆、活塞环；

吸入阀、排出阀；

底座、支撑装置；

换热器管、部件、端板；

洗涤塔、甲板水封装置；

压力容器。

3)应查明的主要情况：

仔细检查有无腐蚀、裂纹、磨损、螺栓松动、渗漏变形、划痕等缺陷。

13.2.3 仪表及测量装置(包括报警装置)的检验和维修检查要点

1)需检查的仪表和装置：

液货舱液位测量装置；

液货液体/蒸气流量计；

液货液体/蒸气压力测量装置；

液货温度测量装置；

液货蒸气/氧气浓度测量仪；

报警装置。

2)检查的重点部件及设备：

控制回路；

驱动机械；

密封装置；

取样管路；

传感器。

3)应查明的主要情况：

仔细查明其工作状态和腐蚀情况。

13.2.4 其它安全设备的检验和维修检查要点

1)需检查的主要设备：

灭火系统及设备。

2)检查的重点系统及装置：

水灭火系统；

水雾装置；

喷水器；

化学干粉灭火系统；

CO_2 灭火系统；

其他灭火系统。

3)应查明的主要情况：

仔细检查其工作状态，并查明灭火剂是否泄漏或失效。

参 考 文 献

[1] 中华人民共和国船舶检验局译：国际散装运输危险化学品船舶构造和设备规则，IMO，1984年；国际散装运输液化气体船舶构造和设备规则 IMO，1985年

[2] 中华人民共和国船舶检验局：钢质海船入级与建造规范及其修改通报，1983年；1986年；国际海上人命安全公约综合文本，1987年；海船防污染结构与设备规范，1986年

[3] 船检局海船规范科学研究所，上海市造船学会：论文译文专辑——国际海事组织散化船和气体运输船技术报告会，1985年4月

[4] IMO：Regulations for the Control of pollution by Noxious Liquid Substances in Bulk，International marilime organization，1986

[5] ANNEX II of MARPOL 73/78 and standards for procedures and Arrangements，O·H·J·Dijxhoorn shanghai National Seminer，6.1987

[6] National Inplementation of MARPOL73/78－ANNEXII，O.H.J.Dijhoorno shanghai National seminar，6.1987

[7] J·Crawford：Marine and offshore Pumping and piping systens，1981

[8] Lloyd's Registen of shipping：Rules and Tegnlation for the classification of ships，1987

[9] T·R·Farrell：1984年12月上海《国际散装化学品运输船和液化气体运输技术报告会》论文：Reiew of the Techrical Principles and seope of the Bulk chemical codes

[10] S · Kakubari:同上:construction and classification of chemical Tankers

[11] WILHELM MAGELSSEN:同上:Design and operational Features of Chemical tankers

[12] J. L. E. JENS:同上:safety Instlruments Related to chemical Tankers and Gas Carricers, survey and Cerlification Reguix—ements Under the SOLAS Convention, Its protocol and the Bulk chemical and Gascarrier codes

[13] F. M. J. VANDE LAAR:同上:Repair Requirements for Tankers

[14] 惠美洋彦、角张昭介:ケミカルタンカー,(株)船舶技术协会,昭和57年1月

[15] 惠美洋彦、曾根纮角张昭介:续.クシカルタンカー,(株)船舶技术协会,昭和59年1月

[16] 惠美洋彦:液化ガス/ケシカルタンカーの基础,成山堂书店,昭和58年9月

第 8 卷

船舶电气

主　　编　陆祥润
副主编　易　让
主　　审　费以法　冒天诚
执笔人　晏君志　易　让　朱　曙　谢　敏
　　　　汪荣海　刘道俊　曲昭惠　史际昌
　　　　刘宗德　黄伦坤　何志渔　罗章文
　　　　黎明森　王天序　冒天诚　涂光莹
　　　　范定华　鲍廷秀　陆祥润　吴昭钿
　　　　陈文凯　郑诗谦　胡本礼
审稿人　唐明斗　陆让之　范定华　张金昌
　　　　黄郁南　刘宗德　易　让　陈文凯
　　　　胡行定　陆祥润　刘守善　汪荣海
　　　　冒天诚　范定华　王汉生　罗章文
　　　　祝贻德
责任编辑　张向东

第1篇　船舶电气元件

第1章　船舶电气仪表及仪器

1　分　　类

1)按工作原理分类有磁电系仪表、电磁系仪表、电动系及铁磁电动系仪表、感应系仪表、整流系仪表、静电系仪表及电子系仪表。

2)按使用方法分类有开关板式(或称面板式)仪表及可携式仪表。前者固定安装在开关板或电气设备的面板上,此类仪表一般准确度较低,但价格较低、过载能力较强。后者便于携带,准确度较高,但价格较贵、过载能力较差。

3)按工作电流种类分类,有直流仪表、交流仪表及交直流两用仪表。

4)按测量对象分类有电流表(安培表、毫安表、微安表);电压表(伏特表、毫伏表);功率表(瓦特表);高阻表(兆欧表)、欧姆表;电度表(瓦时表);相位表(功率因数表);频率表及多种用途表,如万用表。

5)按仪表的准确度等级分类 根据国家标准 GB776—76,可分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 级,共七个等级(参见 3.4)

6)其他分类法 例如按仪表对电磁场的防御能力分类,可分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级共四个等级;按仪表的使用场所分类,还可以分为 A、B、C 三组(此二种分类法在国家标准 GB776—76 中有详细规定)。

2　标志及型号

1)标志的作用:不同种类的电气仪表具有不同的技术特性,为正确地选用仪表,通常将这些技术特性用符号标示在仪表的刻度盘或面板上,称为仪表的标志。每个仪表应标有:测量对象的单位、准确度等级、电流种类和相数、工作原理的系别、使用场所的组别、工作位置、绝缘强度试验电压的大小、仪表型号及各种额定值等的标志。

2)标志及标志的含义见表 8.1.1—1

3)型号电气仪表的产品型号是按规定的标准编制的。

表 8.1.1—1　　**标志及标志的含义**

1. 测量单位的符号

名　称	符　号	名　称	符　号	名　称	符　号
千　安	kA	瓦　特	W	毫　欧	mΩ
安　培	A	兆　乏	Mvar	微　欧	μΩ
毫　安	mA	千　乏	kvar	相位角	φ
微　安	μA	乏　尔	var	功率因数	cosφ
千　伏	kV	兆　赫	MHz	无功功率因数	sinφ
伏　特	V	千　赫	kHz	微　法	μF
毫　伏	mV	赫　芝	Hz	微微法	PF
微　伏	μV	兆　欧	MΩ	亨	H
兆　瓦	MW	千欧	kΩ	毫亨	mH
千　瓦	kW	欧　姆	Ω	微　亨	μH

2. 仪表工作原理的图形符号

名　称	符　号	名　称	符　号	名　称	符　号
磁电系仪表		电动系仪表		感应系仪表	
磁电系比率表		电动系比率表		静电系仪表	
电磁系仪表		铁磁电动系仪表		整流系仪表(带半导体整流器和磁电系测量机构)	
电磁系比率表		铁磁电动系比率表		热电系仪表(带接触式热变换器和磁电系测量机构)	

3. 电流种类的符号

名称	符　号	名　称	符　号	名　称	符　号	名　称	符　号
直流	—	交流(单相)	～	直流和交流		具有单元件的三相平衡负载交流	

4. 准确度等级的符号

名　称	符　号	名　称	符　号	名　称	符　号
以标尺量限百分数表示的准确度等级,例如1.5级	1.5	以标尺长度百分数表示的准确度例如1.5级	1.5	以指示值百分数表示的准确度例如1.5级	1.5

续上表

5. 工作位置的符号

名　称	符　号	名　称	符　号	名　称	符　号
标尺位置为垂直的	⊥	标尺位置为水平的	⊓	标尺位置与水平面倾斜成一角度，例如 60°	∠60°

6. 绝缘强度的符号

名　称	符　号	名　称	符　号
不进行绝缘强度试验	☆ 0	绝缘强度试验电压为 2kV	☆ 2

7. 端钮、调零器的符号

名　称	符　号	名　称	符　号	名　称	符　号	名　称	符　号
负端钮	—	公共端钮	+	与外壳相连接的端钮	⊥	调零器	⌒
正端钮	*	接地端钮	⏚	与屏蔽相连接的端钮	◌		

8. 按外界条件分组的符号

名　称	符　号	名　称	符　号	名　称	符　号
Ⅰ级防外磁场（例如磁电系）	⬚	Ⅲ级防外磁场及电场	Ⅲ Ⅲ	B 组仪表	△B
Ⅰ 级防外电场（例如静电系）	⊓	Ⅳ级防外磁场及电场	Ⅳ Ⅳ	C 组仪表	△C
Ⅱ 级防外磁场及电场	Ⅱ Ⅱ	A 组仪表	△A		

（1）面板式仪表型号的组成形式

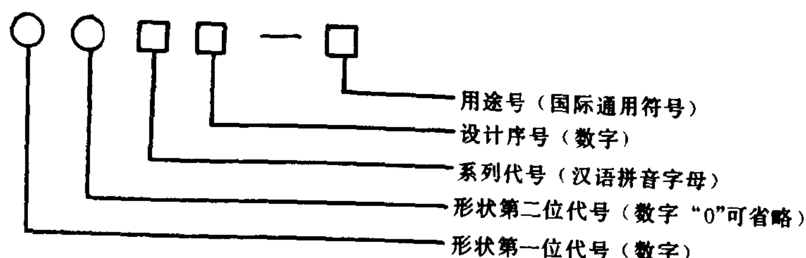


图 8.1.1—1　面板式仪表型号的编制规则

如图 8.1.1—1 所示。形状第一位代号按仪表面板形状最大尺寸编；形状第二位代号按外壳形状尺寸特征编；系别代号表示仪表工作原理的系别，如磁电系用 C，电磁系

用T,电动系用D,感应系用G,整流系用Q表示等。如13C1—A型直流电流表,“13”为形状代号,按此代号可从有关的标准中查出仪表的外型和尺寸,“C”表示是磁电系仪表,“1”为设计序号,“A”表示用来测量电流。

(2)可携式仪表型号的组成形式

此种仪表不用形状代号。第一位为组别代号,用来表示仪表的不同系别,以下部分的组成形式则与面板式仪表相同。如T19—V型交流电压表,“T”表示电磁系仪表,“19”为设计序号,“V”表示用来测量电压。

(3)除了前述的指示仪表外,其他各类仪表的型号的组成形式是在组别代号前再加一个类别代号,以汉语拼音字母表示。如电度表用D,电桥用Q,数字电表用P等。这些仪表的组别代号所代表的意义也和指示仪表不同。

常用电气仪表的类别和组别代号如表8.1.1—2所示。

表8.1.1—2 **常用电工仪表的类组代号**

组别代号 类别代号	A	B	C	D	F	G	H	J	L	P	Q	S	T	U	X	Z	Y
指示仪表		谐振(振簧)	磁电	电动		感应			整流	补偿	静电	双金属	电磁	光电		电子	
D电度表	安培(小时计)	标准		单相	伏特(小时计)		总耗	直流	打点记录			三相三线	三相四线		无功	最高需量	其余
M各种(专用)仪表				万用表复用表	钳形表			整流			交流				组合(成套)仪表		
H仪用互感器					放大器			电压	电流								
Z电阻度量			欧姆表												电阻箱	电阻	
Q电　　桥					复用			直流				交流					
B标准度量			电池			自感	互感					电阻时间常数	时间			电阻	
K自动控制仪器		磁电									桥式			电位差计		电子	其
U电位差计									直流			交流				电子	
S示波器			磁电														
P数字仪表			欧姆表		检验装置					频率表					相位表	伏特表	余
X校验装置					复用												
F附件配件			振动子	电阻元件电阻温度计	复用	光照设备	热电变换器	分压器倍率器附加电阻	分流器分流箱			传送器				整流器	
Y其余												交流					

3　电气测量指示仪表的误差和准确度

误差是说明仪表指示值与被测量实际值之间差异程度的。而准确度是说明仪表指示值与被测量实际值之间近似程度的。

3.1　仪表的基本误差

即在规定的正常工作条件下，由于仪表本身结构和制作质量方面的原因（活动部分轴承摩擦及刻度划分不精密等等）而引起的误差叫基本误差。正常工作条件是指仪表在进行刻度时所规定的条件，如规定的温度、工作位置（垂直、水平或倾斜某一角度）、规定的波形、频率及除地磁场外无其他外界磁场、电场影响等条件。

3.2　仪表的附加误差

仪表不在规定的正常工作条件下使用时，除了产生基本误差外，还因各种外界因素（如温度、放置位置、外界磁场等等）影响而产生的误差叫附加误差。

3.3　误差的表达形式

1）绝对误差 仪表指示值 X 与被测量实际值 X_0 间的差值 ΔX 叫绝对误差，即：

$$\Delta X = X - X_0 \tag{8.1.1-1}$$

绝对误差可以为正值，也可以为负值。其单位与被测量单位相同。绝对误差并不能确切地反映出测量的准确程度。

2）相对误差 绝对误差 ΔX 与被测量实际值 X_0 的比值叫相对误差，即：

$$\gamma = \Delta X / X_0 \times 100\% \tag{8.1.1-2}$$

相对误差根据 ΔX 的值可能为正值，也可能为负值，无单位。相对误差通常用于评价测量结果的精确程度或衡量测量结果的误差。

3）引用误差（又称满度误差）为了确定仪表的准确度，划分仪表准确度等级，通常采用引用误差这一表达形式。绝对误差 ΔX 与仪表测量上限 X_{m_0} 的比值叫引用误差，即：

$$\gamma_m = \frac{\Delta X}{X_{m0}} \times 100\% \tag{8.1.1-3}$$

3.4　仪表的准确度

引用误差可以表明仪表的基本误差，但不能确切地表示仪表的准确度。因为在不同的测量值时，绝对误差多少有些变化，因而引用误差也就不同。因此规定，以最大的引用误差来表示仪表的准确度。仪表准确度等级 K 的百分数，就是由最大绝对误差 ΔX_m 所决定的最大引用误差，即：

$$\pm K\% = \frac{\Delta X_m}{X_{m_0}} \times 100\% \tag{8.1.1-4}$$

按国家标准规定，目前我国生产的电气测量指示仪表准确度分为七级，即 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 级。（我国旧标准规定准确度最后一级为 4.0 级，所以目前产品目录中 4.0 级和 5.0 级都有）。由于仪表工业的发展，现已制出准确度为 0.05 级的指示仪表。

仪表准确度等级符号通常在仪表的刻度盘上标示出来，表示方法见表 8.1.1－1。

4 仪表准确度的选择

1)根据工程实际要求，合理选择仪表的准确度等级。通常准确度为 0.1 级至 0.2 级的仪表用作标准及作精密测量用；0.5 级至 1.5 级的仪表用于实验室的一般测量；1.5 级至 5.0 级的仪表用于一般工业生产上。

2)根据被测量的大小选用适当量程的仪表。如果选择不当，用量程比被测量数值大很多的仪表进行测量时，将会产生较大的误差。为充分利用仪表的准确度，被测量的数值应大于仪表量程上限的三分之二，这时仪表可能产生的最大相对误差将不会超过仪表准确度等级数值百分数的 1.5 倍。即：

$$\gamma_m \leqslant \pm 1.5K\%。$$

5 磁电系仪表

5.1 磁电系仪表的结构和工作原理

磁电系仪表的测量机构如图 8.1.1－2 所示。

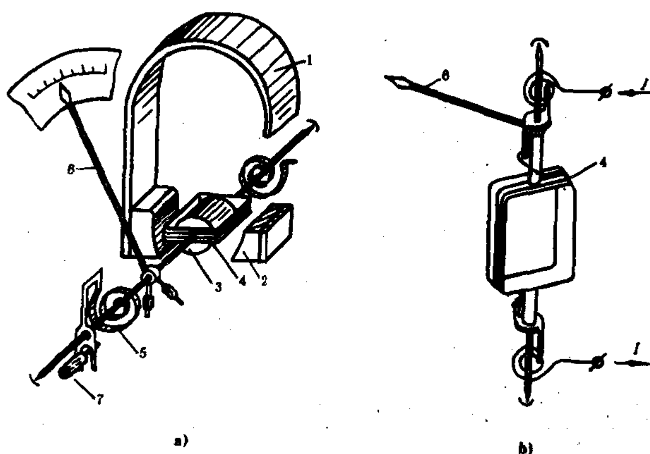


图 8.1.1－2 磁电系测量机构

a)测量机构；b)电流途径

1－永久磁铁；2－极掌；3－圆柱形铁芯；
4－可动线圈；5－游丝；6－指针；7－调零器

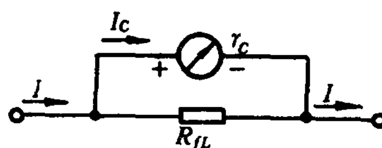


图 8.1.1－3 磁电系电流表原理电路

测量机构包含固定的磁圆路系统及可动部分。磁路系统为，圆柱形凹面的软钢极掌 2 固定在马蹄形永久磁铁 1 的足上。圆柱形铁芯 3 固定在两极掌之间，其目的是在极掌和铁芯间的气隙中产生均匀的辐射方向的磁场。铁芯上装有一固定于转轴上的可动线圈 4。转轴上装有指针 6 和产生反转力矩作用的两个螺旋形游丝 5。其中一游丝的另一端固定在仪表的支架上，另一游丝的另一端固定于调零器 7 上，以便进行指针的零位调整。

作用原理：当被测电流通过可动线圈 4 时，因导线中电流和永久磁铁的磁场相互作用而产

生机械力。此力使带有指针、游丝的可动线圈产生偏转。因为永久磁铁的磁场沿铁芯圆柱表面是均匀分布的，所以可动线圈产生偏转的转矩就和通过的电流成正比。当被测电流大小不变，转矩达到与螺旋形游丝所产生的反转力矩相平衡时，指针停留的位置即指示出被测电流的大小。

由于仪表的可动部分，因惯性而来不及跟随交流电源频率的变化，故磁电系仪表只能用于测量直流电。如果需要测量交流电，则需加装整流器。

5.2 磁电系电流表

磁电系电流表系由磁电系测量机构与分流器并联构成。如图 8.1.1—3 所示。分流器电阻 R_{fl} 比测量机构的内阻 r_c 小得多。当测量机构的内阻和分流器电阻的阻值一定时，则通过测量机构的分流 I_c 占被测电流 I 的比例也一定。所以偏转角 α 可直接反映出被测电流 I 的大小，只需将标尺刻度放大 I/I_c 倍即可。

设仪表量程的扩大倍数 $n=I/I_c$，则根据要求扩大的倍数来选择分流器电阻的阻值为：

$$R_{fl}=\frac{r_c}{n-1} \qquad (8.1.1-5)$$

对于相同的测量机构，配以不同的分流器，便可制成不同量程的电流表。

分流器是用电阻温度系数很小的锰铜制成。为防止通过电流时温度过高而造成误差，分流器应有足够的散热面积。因此分流器的尺寸将随电流的增加而增大。当电流较小时，分流器可装在仪表内部，称内附式分流器。当电流在 50A 以上时，分流器一般装于仪表的外部，称外附式分流器。它有两对端钮，如图 8.1.1—4 所示，外侧的一对叫电流端钮，与被测电路串联；内侧的一对叫电位端钮，与测量机构并联。因分流器的电阻甚小，采用这样的连接方式，电流接头的接触电阻将不包括在分流电阻内，从而减小了误差。

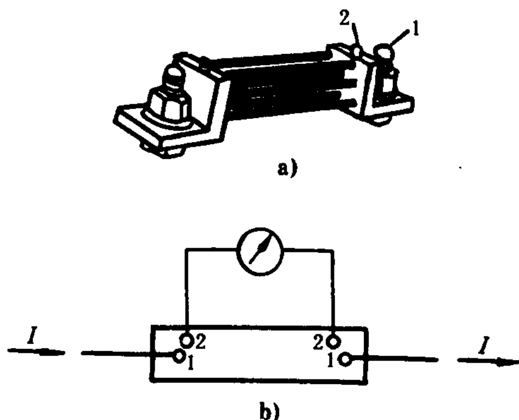


图 8.1.1—4 外附式分流器及其接线
a)外附式分流器；b)分流器的接法
1—电流端钮；2—电位端钮

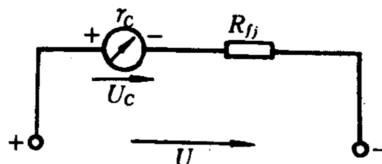


图 8.1.1—5 磁电系电压表原理图

外附式分流器的规格，一般标明额定电压和额定电流，而不标明电阻值。分流器的额定电压按和分流器并联的仪表额定电压(即满偏电流和仪表内阻的乘积)来选择，通常有 75mV 和 45mV 两种。额定电流是指电流表量程扩大后的数值，而不是流过分流器的电流值。例如，200A、75mV 的分流器应与额定电压为 75mV 的测量机构并联，并联后仪表量程扩大为

200A。

5.3 磁电系电压表

磁电系电压表是由电磁系测量机构和高阻值的附加电阻 R_{fj}串联而构成，如图 8.1.1—5 所示。

因测量机构所允许通过的电流很小，它所能直接测量的电压很小(约几十毫伏)；同时，由于测量机构的线圈、游丝等的电阻随温度而变化，将产生较大的温度误差。采用附加电阻 R_{fj}与测量机构串联的接法，就可以测量较高的电压。并且 R_{fj}是用锰铜丝绕制而成，已构成温度补偿。当电压表接入被测电路时，被测电压 U 的大部分加在附加电阻 R_{fj}上，分配到测量机构上的电压 U_c 只占 U 的很小部分。从而限制了通过测量机构的电流，并扩大了电压的量程。因为通过测量机构的电流和加在测量机构两端的电压成正比，则在电阻 r_c 一定的条件下，偏转角也可以反映电压的大小。当 r_c 与 R_{fj}的阻值一定时，则测量机构两端电压 U_c 占被测电压 U 的比例也一定。所以偏转角可以直接反映出被测电压 U 的大小，只需将标尺刻度放大 U/U_c 倍即可。

设仪表量程扩大的倍数 $m=U/U_c$，则根据要求扩大的倍数来选择附加电阻 R_{fj}的阻值为：

$$R_{fj} = (m - 1)r_c \qquad (8.1.1-6)$$

对于相同的测量机构，配以不同阻值的附加电阻，便可制成不同量程的电压表。

附加电阻通常作成内附式的，装在表壳内部。但有些电压表也采用外附式的，在使用时应注意。

6 电磁系仪表

6.1 电磁系仪表的结构和工作原理

电磁系仪表的结构型式有扁线圈吸引型和圆线圈排斥型两种。

1)扁线圈吸引型的结构和工作原理

扁线圈吸引型的结构如图 8.1.1—6 所示。固定线圈 1 和偏心地装在转轴上的可动铁片 2 构成一个电磁系统。转轴上装有指针 3，阻尼片 4 和游丝 5 等。阻尼片 4 和永久磁铁 6 构成磁感应阻尼器，磁屏 7 用来屏蔽永久磁铁对线圈磁场的影响。

当电流通过线圈后，产生的磁场使可动铁片磁化。不论电流方向如何，线圈磁场总是吸引被磁化的铁片，作用于铁片上转动力矩的方向不会改变。所以这种测量机构既可用来测量直流，也可以测量交流。

线圈磁场对铁片的吸力所产生的转动力矩是与通入的直流电流的平方成正比，或与通入的交变电流的有效值的平方成正比。因此，标尺的刻度不是均匀的，而是按平方律排列的。

在测量过程中，为使可动部分尽快地静止下来，转轴上的铝片 4，在永久磁铁 6 的气隙中运动，铝片上产生涡流，此涡流与永久磁铁的磁场相互作用便产生阻碍铝片运动的阻尼力矩，促使可动部分很快地静止下来。

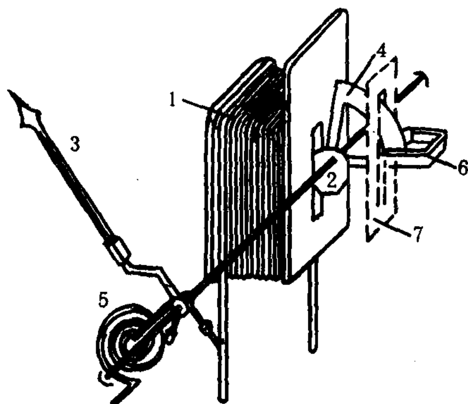


图 8.1.1－6　扁线圈吸引型测量机构

1－固定线圈；2－可动铁片；3－指针；

4－阻尼片；5－游丝；6－永久磁铁；7－磁屏

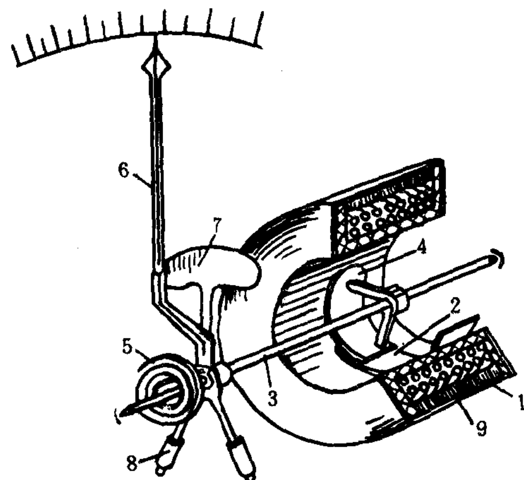


图 8.1.1－7　圆线圈排斥型测量机构

1－固定线圈；2－定铁片；3－转轴；4－动铁片；

5－游丝；6－指针；7－阻尼片；8－平衡锤；9－磁屏蔽

2)圆线圈排斥型的结构和工作原理

圆线圈排斥型的结构如图 8.1.1－7 所示。固定部分包括固定线圈 1 和固定在线圈内侧的定片 2。可动部分由固定在转轴 3 上的可动铁片 4、游丝 5、指针 6 和阻尼片 7 组成。

当电流通过固定线圈时,两个铁片顺同一磁场方向同时被磁化,因此两个铁片的同一侧有相同的极性,产生相互排斥的力,从而产生转动力矩,推动可动铁片以转轴为轴心转动。当线圈内电流方向改变时,它所产生的磁场方向亦随之改变,仍然产生相互排斥力,而可动铁片的受力方向和转动方向仍不变,所以,这种仪表同样可以测量交流。

二铁片间的排斥力所产生的转动力矩是与通入的直流电流的平方成正比,或与通入的交变电流的有效值的平方成正比。因此,标尺的刻度也是不均匀的,是平方律排列的。

因电磁系仪表的固定线圈产生的磁场强度不大,所以受外界磁场影响而引起的附加误差可能很大,为了减弱外界磁场的影响,常用磁屏和钢外壳来屏蔽。

6.2　电磁系电流表

电磁系测量机构中,因为电流是通过固定线圈,所以只要加粗线圈导线,就允许通过较大的电流。因此,电磁系仪表可以直接用做电流表。量程越大,线圈导线就越粗,匝数就越少。直接接入电路的电磁系电流表,其最大量程不超过 200A。这是因为电流太大时,仪表附近导线的磁场将使仪表产生误差。另外,仪表端钮与导线母线连接处接触不良,会导致严重的发热。因此,在测量 200A 以上的交流电流时,应与电流互感器配合使用。

面板式电流表一般做成单量程的。而可携式仪表常做成双量程或三量程的。在可携式仪表中,采用将固定线圈分段,然后用连接片、转换开关或插塞来改变分段线圈的串、并联方式,以便获得不同的量程。当两段线圈并联时,量程扩大了一倍。

6.3 电磁系电压表

电磁系测量机构与附加电阻 R_{fj}串接，即构成电磁系电压表。由于通过固定线圈的电流较小，为保证所须的磁势，从而获得足够的转矩，固定线圈的匝数就应很多(可达数千匝)，并用较细的漆包线绕成。附加电阻则用锰铜线绕制，通常附在表壳内部。

面板式电磁系电压表一般做成单量程的。最大量程可达 600V。测量更高的电压时应与电压互感器配用。可携式电压表通常做成多量程的。不同的量程可以通过改变附加电阻的方法来实现。有些电压表的固定线圈分为两段，在较小量程时只用其中一段；较大量程时，则将两段线圈串接。有些电压表还可通过转换开关或插塞来改变分段线圈和附加电阻的连接方式，以便获得不同的电压量程。

7 电动系仪表

7.1 电动系仪表的结构和工作原理

电动系测量机构如图 8.1.1－8 所示。固定线圈 1 分为平行排列、互相对称的两段，中间留有空隙，以使转轴穿过。可动部分包括套在固定线圈中的可动线圈 2、指针 3 及空气阻尼器的阻尼片 4 等，它们都固定在转轴上。游丝 5 用来产生反作用力矩；同时又有引导电流的作用。

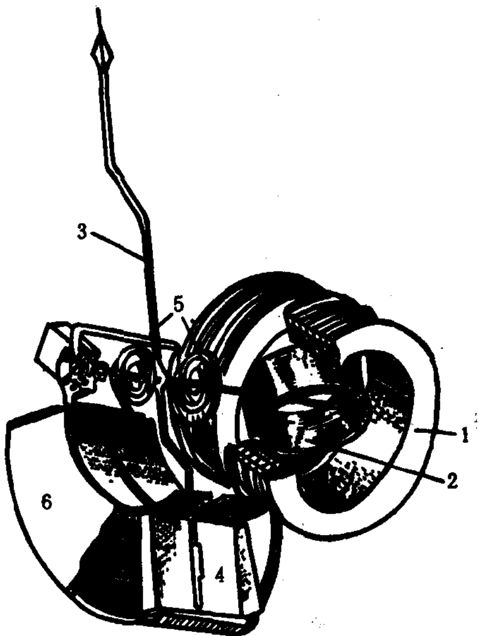


图 8.1.1－8 电动系测量机构

1－固定线圈；2－可动线圈；3－指针；4－阻尼片；5－游丝；6－阻尼盒

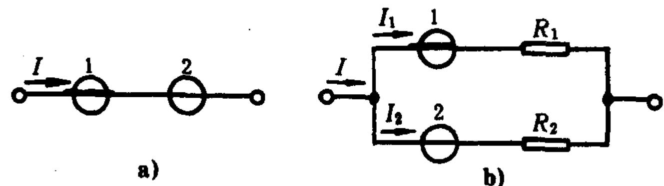


图 8.1.1－9 电动系电流表原理电路图

a)线圈串联的电路；b)线圈并联的电路

当固定和可动线圈分别通过直流电流 I_1 和 I_2 时，通电的可动线圈处于固定线圈所产生的

磁场中，可动线圈的有效边将受到力的作用，可动线圈受力矩作用而偏转。动圈所受作用力矩的大小是与两线圈中电流 I_1、I_2 的乘积成正比。如果将两线圈串接，流过同一电流 I，则偏转力矩和电流 I 的平方成正比。

若将交流电流通入两个线圈，I_1 和 I_2 的方向同时改变，转动力矩的方向也不会改变，所以，电动系测量机构也可以测量交流。动圈所受到的平均力矩不仅与电流 I_1、I_2 的乘积成正比，还与此两电流间相位差角 φ 的余弦 cosφ 成正比。

7.2 电动系电流表

电动系电流表是将电动系测量机构的固定线圈与可动线圈串接或并接而构成，如图 8.1.1－9 所示。其指针的偏转角与被测电流的平方成正比，其标尺刻度按平方律排列的。

这种线圈直接串联的电流表通常只用在 0.5A 以下的量程。对于量程较大的电流表，除采用将定圈和动圈并联外，有的仪表还采用分流器将动圈电流分流的方式来构成。电动系电流表常做成双量程的可携式仪表，通过改变线圈的连接方式，和改变动圈的分流电阻达到变换量程的目的。

7.3 电动系电压表

电动系电压表是将电动系测量机构的定圈和动圈串联后，再与附加电阻串联而构成的，如图 8.1.1－10a)所示。由于线圈中电流与仪表两端的被测电压成正比，因此，仪表的偏转角就与被测电压的平方成正比，其标尺的刻度按平方律排列。

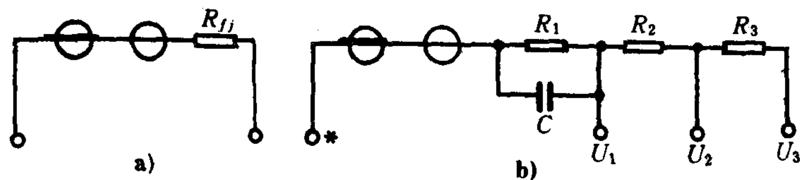


图 8.1.1－10　电动系电压表原理电路图

a)原理电路；b)多量程电压表

电动系电压表一般做成多量程可携式仪表，量程的变换是通过改变附加电阻来完成。图 8.1.1－10b)为多量程电压表的原理电路。

8 功　率　表

8.1 电动系功率表的工作原理

1)功率表的工作原理

电动系功率表由电动系测量机构和附加电阻所构成，如图 8.1.1－11a)所示。其定圈 A 与负载串联，通过负载电流 I，故称 A 为电流线圈；动圈 D 与附加电阻 R_{fj}串联后，再与负载并联，其中电流反映负载电压，故称 D 为电压线圈。图 8.1.1－11b)表示出功率表 W 的标准图形符号。

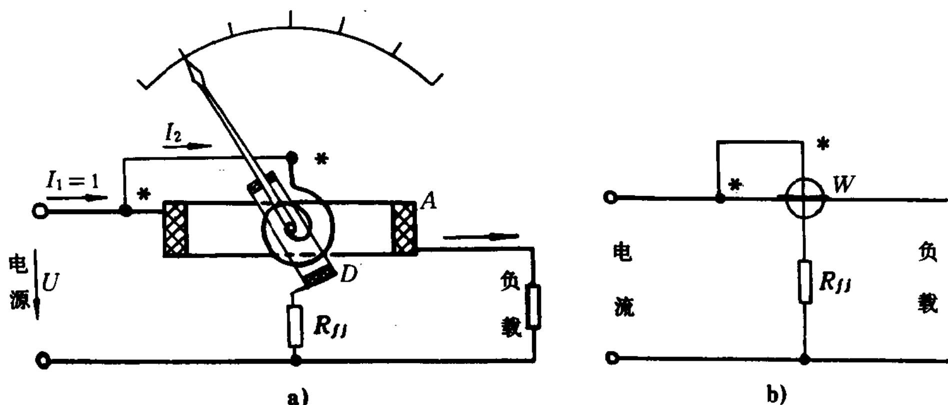


图 8.1.1－11　电动系功率表

a)原理示意图；b)电路图

当仪表用于直流电路时，其偏转角与负载的功率大小成正比；当用于交流电路时，其偏转角与负载的有功功率大小成正比。功率表的标尺直接按功率值大小刻度，并且是均匀的。

2)功率表的量程及其扩大

功率表的量程包括三个量程，即电流量程、电压量程及功率量程。功率量程实际上由前二种量程的乘积所决定，相当于功率因数 $\cos\varphi=1$ 时的功率值。也就是仪表满刻度偏转时的功率值。

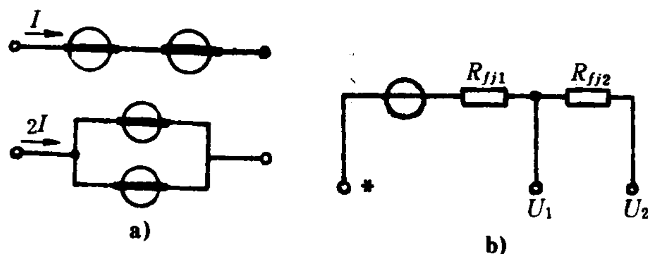


图 8.1.1－12　功率表量程的扩大

a)电流量程的扩大；b)电压量程的扩大

在实际测量中，因 $\cos\varphi<1$，功率表的指针虽尚未达到满偏转，但被测电流或电压可能已经超出了电流或电压量程。所以，在使用功率表时，不仅要注意被测功率不得超过功率量程，还应借助电压表及电流表监视被测电路的电压和电流，使之不得超过电压和电流量程。

可携式功率表功率量程的扩大是通过电流和电压量程的扩大来实现的。电流量程的扩大是通过两段电流线圈连接方式的改变来实现。电压量程的扩大，则用改变附加电阻的方法来实现。如图 8.1.1－12a)与 b)所示。

面板式功率表通常做成单量程的，其电压量程为 100V、电流量程为 5A，以便和电压互感器及电流互感器配套使用。其标尺是按被测功率的实际值标注的，可以直接读出测量结果，但必须和指定变比的互感器配套使用。

3)功率表的正确使用

(1)功率表的正确接法

电动系功率表的力矩和两个线圈的电流方向有关，如果其中一个线圈的电流方向反了，力矩方向就会改变，不但不能读出读数，甚至将指针打弯。为了防止这种情况的发生，两个线圈对应于电流流入的端钮，都要加上“＊”或“±”的标志，叫做“发电机端”。功率表接入电路时，应使电流线圈和电压线圈的“发电机端”都接至同一极性的端子上，以保证两个线圈的电流都从发电机端流入。此即功率表的“发电机端”守则。

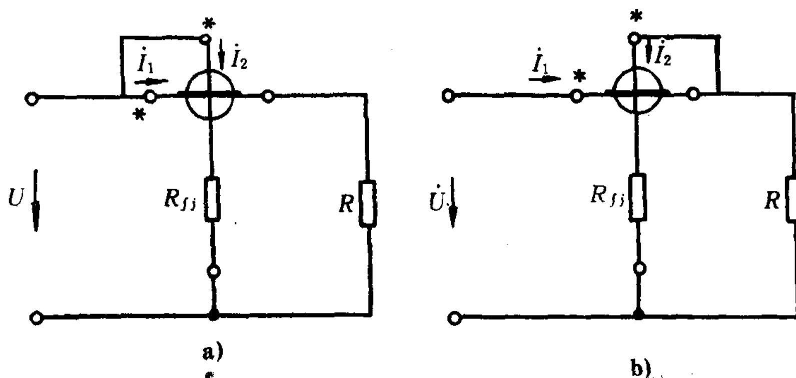


图 8.1.1－13　功率表的正确接线

a)电压线圈前接方式；b)电压线圈后接方式

根据上述原则，功率表的正确接线有两种方式，如图 8.1.1－13 所示。图中 a)为电压线圈前接电路，适用于负载电阻 R 比电流线圈内阻 r_1 大得多的情况下，测量结果较为准确。而图 b)为电压线圈后接电路，适用于负载电阻 R 比电压线圈支路电阻 r_2(包括 R_{fj})小得多的情况下，测量结果较为准确。

(2)功率表反向偏转的处理

在功率表接线正确的情况下，也可能发生指针反向偏转。这种情况一是发生在负载实际上存在电源，并且负载不是消耗而是发出功率时，一是发生在三相电路的功率测量中(见本章 8.2.1)。这时，为了取得读数，应改变其中一个线圈电流的方向，并且应将测量结果加上负号。

改变线圈电流方向的方法：对于只能在端钮上进行外部倒换的功率表，应改接电流线圈的端钮，而不宜倒换电压线圈端钮，以免在定圈和动圈之间出现很大的电位差；对于装有换向开关的可携式功率表，则可利用换向开关来改变电压线圈的电流方向，并不改变线圈和附加电阻的相对位置，因此，动圈和定圈之间不会形成很大的电位差。

8.2　三相电路有功功率的测量方法及电动系三相功率表

8.2.1　三相电路有功功率的测量方法

1)用一表法测三相对称负载的有功功率

不论三相电路是三线制还是四线制，只要三相电路是对称的，就可以用一表法。只须测出一相的有功功率，读数的三倍就是三相有功功率，测量电路如图 8.1.1－14 所示。当星形联接负载的中点不便引出，或三角形联接负载的一相不能断开接线时，可采用图 c)所示的人工中点法将功率表接入。两个附加电阻 R_0 应和功率表电压支路的总电阻相等，以使人工中点 O 的电位为零。

2)用两表法测三相三线制电路的有功功率

只要是三线制，不论是否对称，其有功功率都可以用两表法来测量，测量电路如图 8.1.1－15 所示。接线对应遵守二个原则(1)两只表的电流线圈接在不同的两个相线上，并且将发电机端钮接到电源侧，通过电流线圈的电流为线电流；(2)两只表的电压线圈的发电机端钮接到各自电流线圈的发电机端钮上，并且将另一端都接到没有电流线圈的那一公共相上，使加在电压线圈支路的电压为线电压。

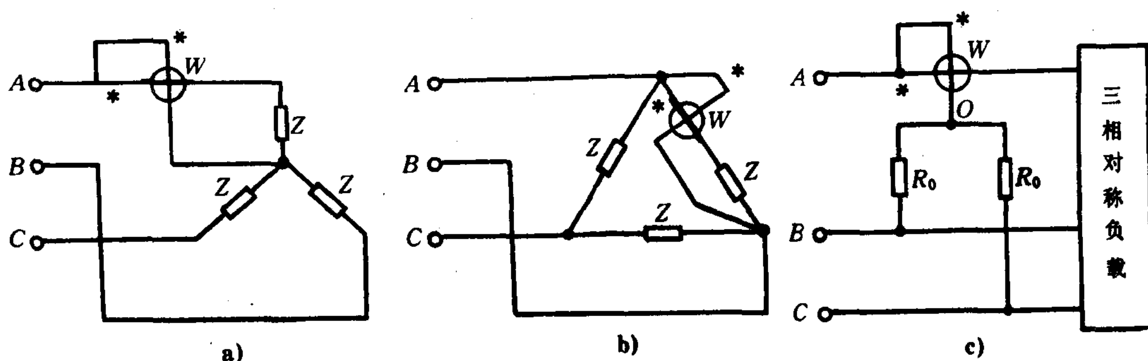


图 8.1.1－14　用一表法测三相对称负载功率

a)Y形对称负载；b)△形对称负载；c)人工中点法

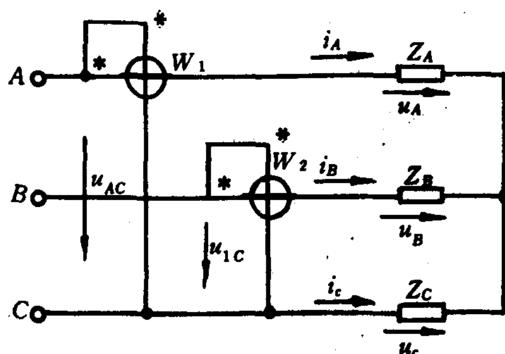


图 8.1.1－15　二表法测三相三线制功率

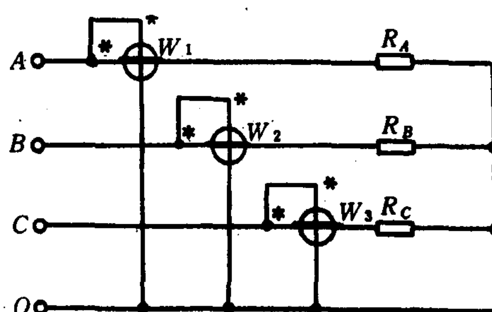


图 8.1.1－16　三表法测三相四线制不对称负载功率

三相电路的有功功率就等于两只表的读数之和，即 $P=P_1+P_2$。对于 $\cos\varphi<0.5$，即 $|\varphi|>60°$ 的负载，两表中必有一表的读数为负值。为取得读数，应将反偏转的功率表的一个线圈反接，(参见本章 8.1 之 3)，然后在其读数前加负号。此时，三相有功功率是为两表读数之差值。若三相负载是不对称的，也会出现功率表反向偏转的情况。

3)用三表法测三相四线制不对称负载功率

三表法的测量电路如图 8.1.1－16 所示。三只表分别测出三个相的有功功率，三表读数之和即为三相电路的有功功率。

8.2.2　三相有功功率表

8.2.2.1　电动系三相功率表

电动系三相功率表由两只单相功率测量机构组成。这种仪表有两个独立的单元，分上下布置，每个单元的可动部分固定在同一转轴上，因此，仪表的总力矩等于两个单元力矩的代数和。当仪表按两表法的接线规则接入三相三线制电路时，作用在转轴上的总力矩将反映三相功率的大小，因而指针直接指示出三相总功率的数值。电动系三相功率表常做成可携式的。

8.2.2.2　铁磁电动系三相功率表

面板式三相有功功率表通常采用铁磁电动系测量机构，并做成两元件式。图 8.1.1－17 为 1D1－W 型三相功率表的结构原理图。右半部分为第一套元件，它由固定线圈 A_1、可动线圈 D_1、铁芯 1 和 2 所构成。定圈 A 接入 A 相电流 $\dot{I}_A$，动圈 D_1 与附加电阻 R_1、R_2 串联后接在线电

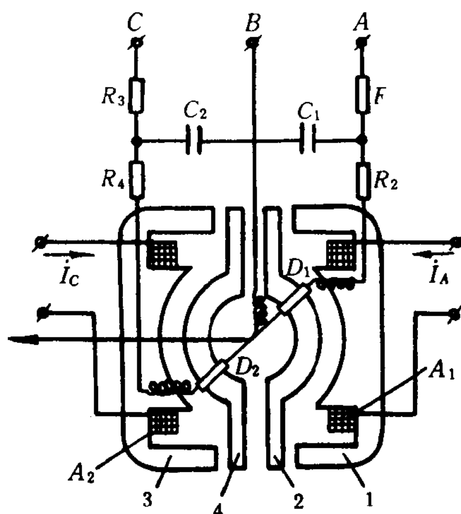


图 8.1.1－17　1D1－W 型三相功率表结构原理图

A_1、A_2－定圈；D_1、D_2－动圈；1、2－第一套元件铁芯；3、4－第二套元件铁芯

压$\dot{V}_{AB}$上。磁路由山字形铁芯 1 和弓形铁芯 2 构成。在通电后，动圈 D_1 便处于定圈 A_1 的磁场中，因而产生力矩。其左半侧的第二套元件在结构上和第一套元件完全对称，但为了减少外磁场的影响，定圈 A_2 的绕向和 A_1 的相反。第二套元件接入 C 相电流 $\dot{I}_c$ 和线电压 $\dot{U}_{CB}$，构成了两表法的测量电路。两套的动圈固定在同一转轴上，仪表的总力矩为两个元件力矩的代数和。因此，仪表指针直接指出三相电路的有功功率。图中电压线圈支路的附加电阻 R_1、R_2 及 R_3、R_4 的接法和一般电动系功率表不同，它们靠近电压线圈支路的发电机端钮。以 R_{fj}表示 R_1、R_2 和 R_3、R_4，其测量电路如图 8.1.1－18 所示。这种接法的优点是两个动圈的一个端都直接接到公共相 B 上，它们之间的电位差很小，绝缘要求低，便于制造。C_1、C_2 为进行角误差补偿的补偿电容。

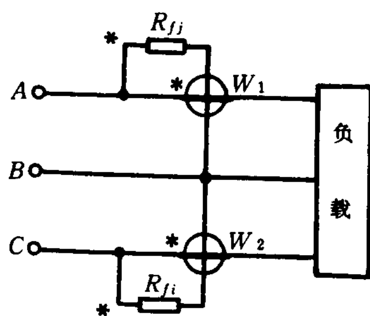


图 8.1.1－18　铁磁电动系三相功率表附加电阻的接法

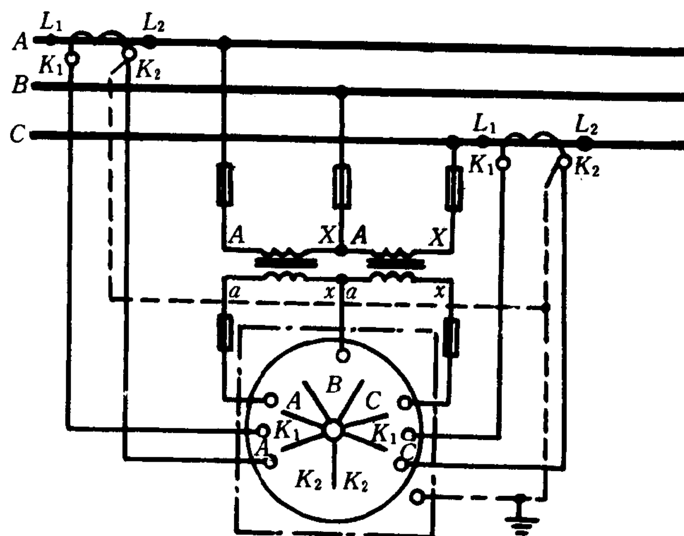


图 8.1.1－19　三相功率表接线图

若三相功率表须要通过电压互感器及电流互感器接入电网，其接线方法如图 8.1.1－19 所示。接入时应注意互感器的极性，在电压互感器副边的 a、x 对应原边的 A、X。在电流互感器副边的 K_1、K_2 对应原边的 L_1、L_2。接入功率表的电压和电流可以用 U_{AC}、U_{BC}及 I_A、I_B，或 U_{BA}、U_{CA}及 I_B、I_C，当然也可以用 U_{AB}、U_{CB}及 I_A、I_C。若接法有误，则指针不偏转、反转或指示不准确。

9　感应系电度表

交流电路中电能的测量常采用感应系电度表。用户所消耗的电能，其数值总是与时具增的；因此，测量电能的仪表必须装有积算机构。

9.1 感应系电度表的基本结构和工作原理

图 8.1.1—20 为单相电度表的结构示意图。

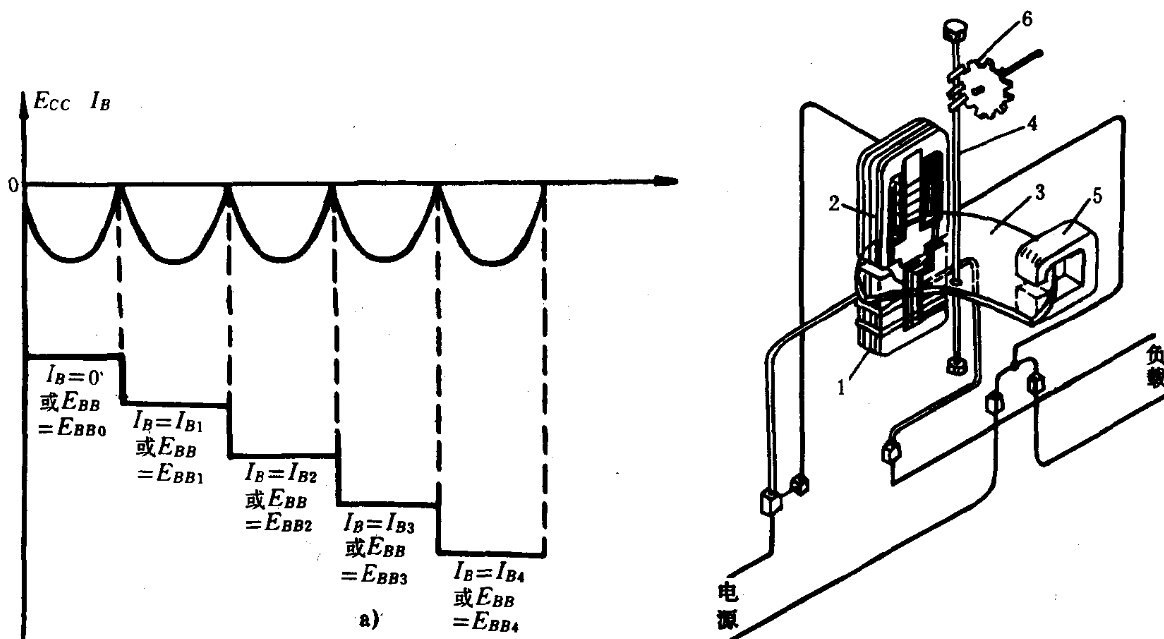


图 8.1.1—20 感应系电度表的结构示意图

1—电流元件;2—电压元件;3—铝制圆盘;4—转轴;5—永久磁铁;6—蜗轮涡杆传动机构

1)驱动元件　用来产生转动力矩,由电流元件 1 和电压元件 2 组成。电流元件由铁芯和绕在铁芯上的电流线圈构成。电流线圈用较粗导线绕制,匝数较少,与负载串联,又称串联电磁铁。电压元件也由铁芯和线圈构成。电压线圈导线较细,匝数较多,和负载并联,又称并联电磁铁。两个电磁铁的铁芯均用硅钢片叠制成。

2)转动元件　由铝盘 3 和固定于铝盘的转轴 4 构成。当电压、电流线圈通有交流电时,在气隙中便产生交变磁通。铝盘在交变磁通的作用下,感应产生涡流,此涡流在交变磁通的磁场中受力,于是铝盘受力而转动。

3)制动元件　用来在铝盘转动时产生制动力矩。当铝盘在制动永久磁铁 5 的气隙间转动时,在盘上也产生涡流,此涡流与永久磁铁磁场相互作用,在铝盘上产生制动力矩,它是和转速成正比的。当转动力矩和制动力矩大小相等时,铝盘转速达到稳定。此时,转速与电路的有功功率成正比。而一段时间内铝盘的转数就能反映该段时间内负载所消耗的电能量。

4)积算机构　用来计算铝盘的转数,以便达到累计电能的目的。在数码字轮窗口中可直接读出电能累计的度数,即千瓦小时数。

9.2 三相有功电度表

9.2.1 三相三线有功电度表

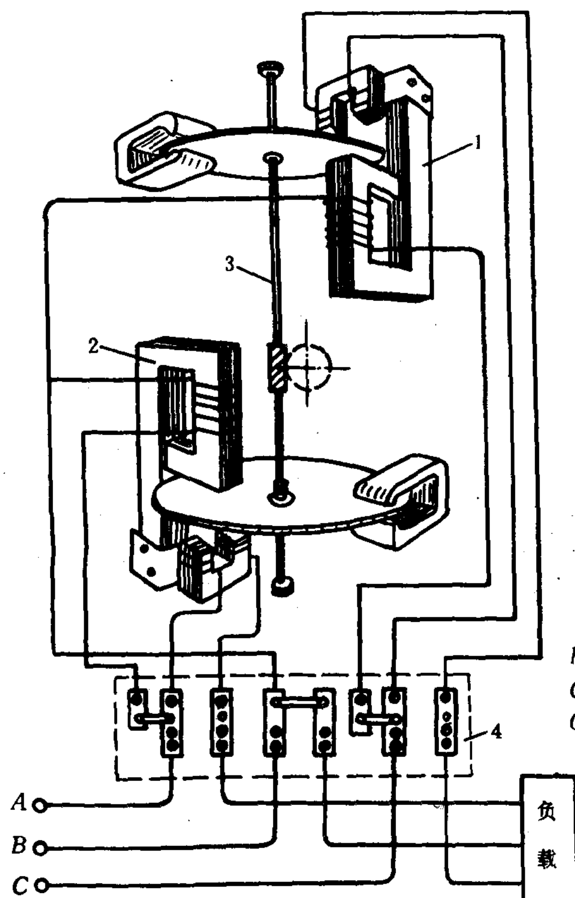


图 8.1.1—21 两元件双盘电度表原理结构图
1—第一组元件；2—第二组元件；
3—转轴；4—端钮盒

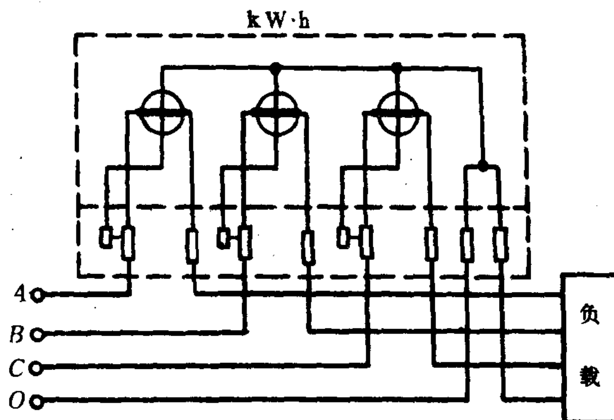


图 8.1.1—22 三相四线有功电度表电路图

图 8.1.1—21 为这种电度表的结构和接线原理图。它具有两个驱动元件、两个转动元件、两只制动磁铁和一个总的积算机构，所以实际上，它是两只单相电度表的组合。作用在转轴上的总力矩为两组元件产生的力矩之和，并与三相电路的有功功率成正比。因而，铝盘的转数可以反映三相有功电能的大小，并通过积算机构直接将三相电能的数值显示出来。DS8、DS15、DS18 等型三相电度表都是采用这种两元件双盘结构的。另外，有些电度表还做成两元件单盘结构，如 DS2 型。其两组驱动元件共同作用在一个公共铝盘上，结构较为紧凑。但因两组元件间磁通和涡流的相互干扰，故误差要比双盘的大。

9.2.2 三相四线有功电度表

三相四线有功电度表是按三表法的测量原理构成的，所以，仪表中装有三组元件。目前采用最多的是具有三个驱动元件和两个铝盘的结构，如 DT6、DT8、DT18 等型，其中两个驱动机构共同作用在一个铝盘上，而第三个驱动机构则单独作用在另一个铝盘上。三相四线有功电度表接入电路的方法和三表法测三相四线制电路的功率相同（参见本章 8.2.1 之 3）），并应遵守发电机端规则。为避免接错，各组元件的电流线圈、电压线圈的发电机端，都已在端钮盒内排列

和连接妥。其内部和外部接线如图 8.1.1－22 示。

10　功率因数表

10.1　电动系功率因数表

10.1.1　电动系流比测量机构及工作原理

电动系流比测量机构的结构示意图如图 8.1.1－23a)所示。它有两个可动线圈，一个产生工作力矩，一个产生反作用力矩，从而取消了游丝。两个动圈 D_1 和 D_2 交叉布置，两线圈平面间夹角为 2δ。动圈与指针一起固定在转轴上，通过动圈的电流由不产生力矩的导丝引入。定圈由两个完全对称的线圈 A_1 和 A_2 构成，以便获得均匀磁场，并使转轴得以穿过。

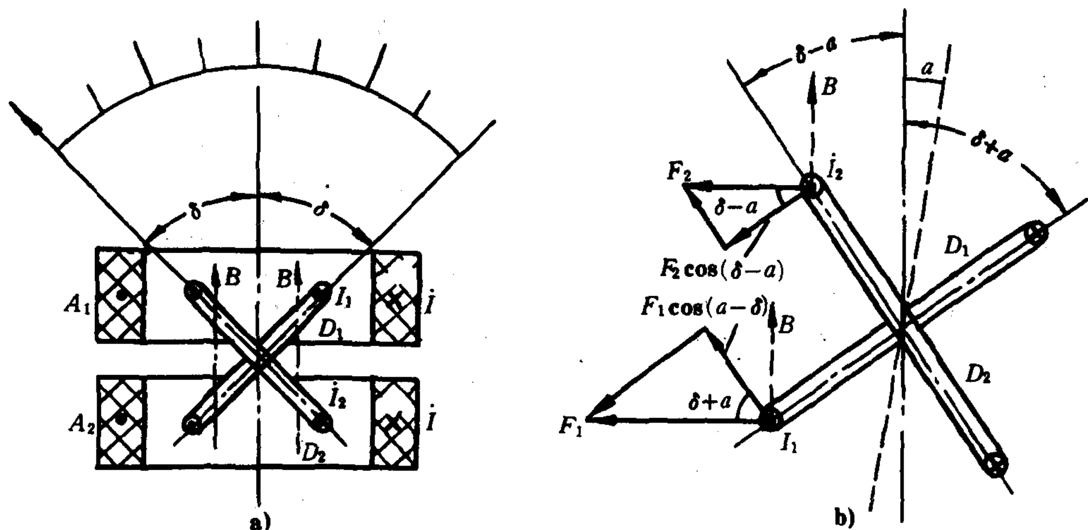


图 8.1.1－23　电动系流比测量机构的结构和原理

a)基本结构；b)动圈的力矩

当定圈中通入电流 I 时，产生如图 8.1.1－23 所示的 B 方向磁场。动圈 D_1 和 D_2 均处于定圈的磁场中。因此，当两个动圈内通过电流 I_1 和 I_2 时，它们将分别受到电磁力 F_1 和 F_2 的作用，其方向如图 8.1.1－23b)所示。此两力产生两个方向相反的力矩 M_1 和 M_2，当此二力矩相等时，仪表达到平衡状态。指针的偏转角与定圈电流无关，但和两动圈电流的比值$\frac{I_1}{I_2}$成正比，所以此种仪表叫做流比计。这种仪表在未接入电路之前，并不一定指零，可动部分处于随遇平衡状态，可以停留在任意位置上。

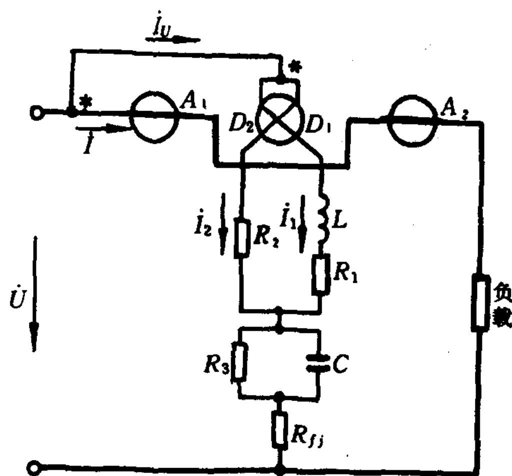


图 8.1.1－24　D3－φ 型相位表原理电路图

10.1.2　电动系相位表(功率因数表)

用来测量相位差和功率因数的仪表，统称为相

位表。电动系相位表采用流比测量机构。图 8.1.1－24 为 D3－φ 型相位表的原理电路图。该仪表由一个电动系流比测量机构及其它元件所构成。两个动圈平面的夹角为 $2\delta=60°$。整个动圈支路并联于负载的两端，承受负载上电压 U。而定圈 A_1 和 A_2 与负载串联，通过定圈的电流等于负载电流 I。为了构成相位表，整个动圈支路设计为：1)通过两个动圈的电流大小相等；2)动圈支路的总电 I_U 与外加电压 U 同相；3)I_2 超前于 U30°、I_1 滞后于 U30°。

仪表通入电流后，根据电动系测量机构的工作原理，并考虑到 $\delta=30°$，可得知仪表的偏转角就等于被测电压与电流间的相位差，标尺刻度是均匀的，并按 0～90°刻度。并设有转换开关，可以把相位差的量程扩大为 0°～360°。相位表也可以直接按 cosφ 刻度，但标尺刻度将是不均匀的。

10.1.3 电动系三相功率因数表

三相功率因数表用于测量三相对称电路的功率因数。图 8.1.1－25 为 D31－cosφ 型三相功率因数表的原理电路，它是采用电动系流比测量机构的原理构成。两个定圈 A_1 和 A_2 可以接成并联或串联，以适应不同的电流量程。互相交叉的两个动圈 D_1 和 D_2 分别和不同的附加电阻串联，以获得三种电压量程。此种仪表的接线图如图 8.1.1－26 所示。

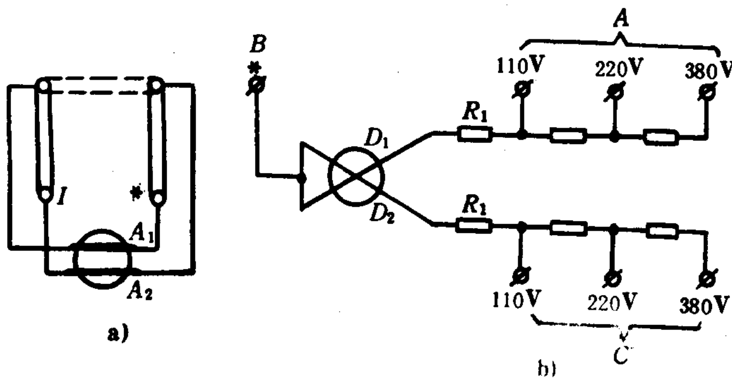


图 8.1.1－25 D31－φ 型三相功率因数表原理电路
a)电流支路；b)电压支路

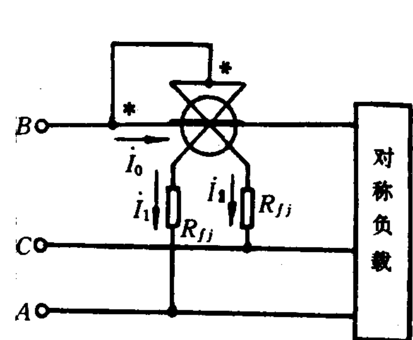


图 8.1.1－26 D31－φ 型功率因数表的接线图

根据电动系流比测量机构的工作原理及流入定圈、动圈电流与三相电压向的相量关系，得知仪表的指针偏转角是三相电路功率因数角 φ 的函数，即电路的 cosφ 函数。因此，根据一定的函数关系进行刻度，即可用来测量三相电路的功率因数。

10.2 铁磁电动系三相功率因数表

在开关板上常用的功率因数表中，有的是铁磁电动系的，如 1D5－cosφ 型、19D1－cosφ 型。

1D5－cosφ 型三相功率因数表按铁磁电动系流比测量机构的原理构成，其测量机构如图 8.1.1－27a)所示。两个定圈 A_1 和 A_2 分别绕在两个铁芯上，铁芯和弓形铁轭构成闭合磁路，但其间的空气隙做得不均匀，因而在定圈内的磁场也是不均匀的。由左侧向右侧，磁场越来越强。两动圈的平面位于同一平面，并且固定在轴的两侧。当可动部分受力而发生偏转时，作用在动圈 D_1 和 D_2 上的磁感应强度将随动圈位置的改变而变化。

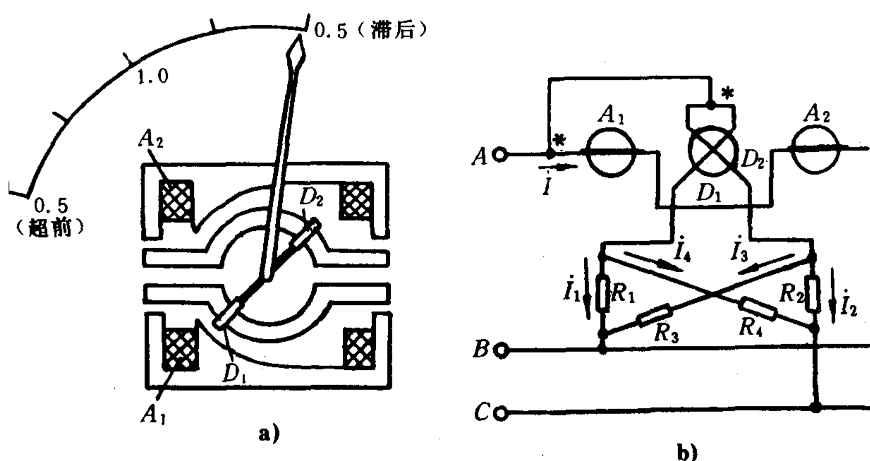


图 8.1.1－27　1D5－cosφ 型三相功率因数表

a)测量机构；b)原理电路图

图 8.1.1－27 b)为该仪表的原理电路图。定圈 A_1 和 A_2 串联接入 A 相电路，通过电流为 I_A；动圈 D_1 与电阻 R_1 串联，并联接至线电压 U_{AB}；动圈 D_2 与 R_2 串接后接在线电压 U_{AC}上。R_3 与 R_4 称为交叉电阻。

当电压加于仪表上时，流入动圈 D_1 支路的电流与定圈 A_1 产生的磁场相互作用，产生力矩 M_1 作用于动圈 D_1；流入动圈 D_2 支路的电流与定圈 A_2 产生的磁场相互作用，产生力矩 M_2 作用于动圈 D_2。由于两个力矩方向相反，在力矩差的作用下，能动部分发生偏转，并转到两个力矩相互平衡的位置时为止。仪表的偏转角 a 与电路的相位角 φ 存在一定的函数关系，即 $a=F(\varphi)$。这种仪表的标尺，中间刻度为 $\cos\varphi=1$，标尺的右半部表示滞后(感性负载)的功率因数，标尺的左半部表示超前(容性负载)的功率因数。交叉电阻 R_3 和 R_4 的作用，是保证将仪表的量程扩大到 $\cos\varphi=\pm0.5$。

10.3　电磁系三相功率因数表

在开关板上常用的功率因数表中，有的是电磁系的，如 45T1－cosφ、13T1－cosφ 型。根据产生旋转磁场的方式，其定圈结构有：两线圈交叉成 60°的；两线圈交叉成 90°的及三线圈交叉成 120°的。现以三线圈式的为例说明其工作原理。

三线圈式相位表的结构及接线图如图 8.1.1－28 所示。A_1、A_2、A_3 为相互交叉成 120°空间角的三个线圈，用以产生旋转磁场。在此三个线圈内有一圆柱形线圈 A_0，用以产生脉动磁场。线圈 A_0 中间有转轴，有轴套紧固在转轴上。轴套的上下两端各固定有扇形铁片 F_1、F_2，装在相反的两侧，与轴套组成 Z 字形，称为 Z 形铁片。指针固定在转轴上。整个可动部分可在线圈 A_0 内自由转动。

当三相交流电流通入线圈 A_1、A_2、A_3 后，将产生旋转磁场。而定圈 A_0 通入 A 相电流后，将产生脉动磁场，并通过 Z 形铁片自成磁回路，如图 8.1.1－29b)所示。由于在 Z 形铁片的扇形片上，脉动磁场与旋转磁场处于同一平面上，故 Z 形铁片将受到两个磁场的共同作用。因流入四个线圈的电流的频率相同，故脉动磁场脉动一个周期，恰好旋转磁场旋转一周。

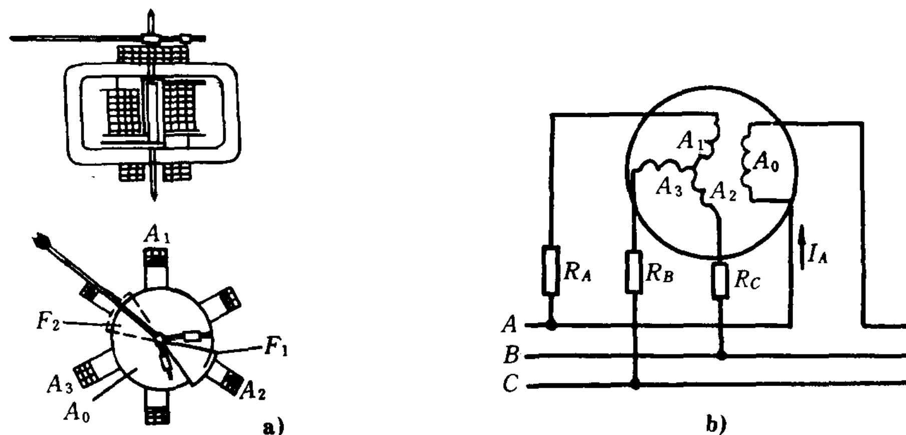


图 8.1.1—28　三线圈式相位表的结构和接线图

a)结构；b)接线图

A_1、A_2、A_3—定圈；A_0—圆柱形线圈；F_1、F_2—扇形铁片

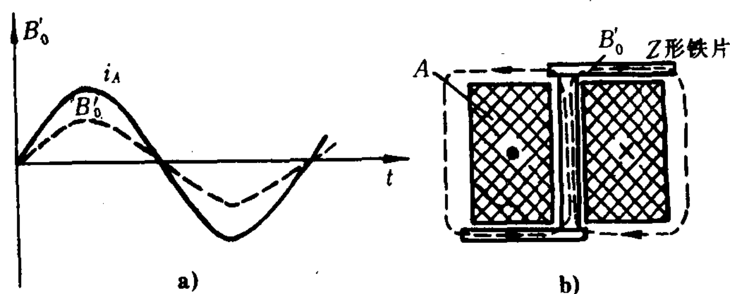


图 8.1.1—29　线圈 A_0 的脉动磁场

a)i_A 和 B_0 的波形；b)线圈 A_0 的磁路

当三相电路的相位角 φ 不变时，脉动磁场的极大值总是发生在旋转磁场在空间转到某一固定的位置时，而被脉动磁场所磁化的 Z 形铁片力图偏转到这一位置上。并且在此位置上，两个磁场叠加，使 Z 形铁片的磁场达到最强。

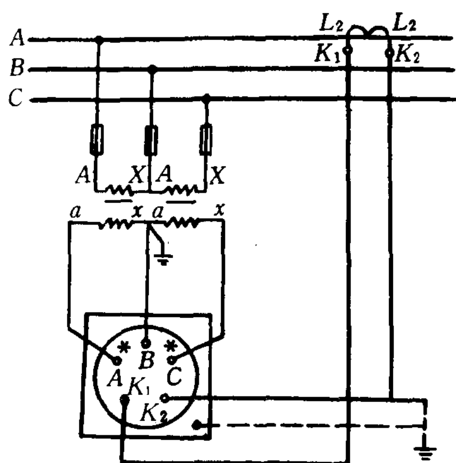


图 8.1.1—30　相位表接入电网的接线图

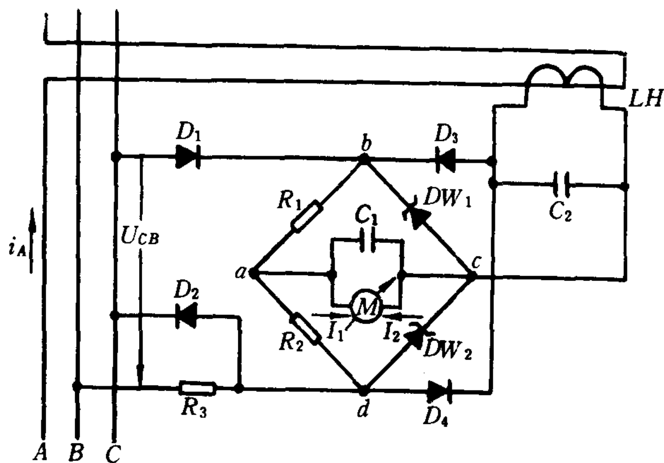


图 8.1.1—31　6L2—cosφ 型三相功率因数表

当三相电路的相位角 φ 变化了，流过线圈 A_1、A_2、A_3 的电流对流过线圈 A_0 电流的相位差亦随之改变，则脉动磁场达到极大值的时间也要改变，即脉动磁场最强的瞬间是发生在旋转磁

场转到另一个空间位置上的时候。于是 Z 形铁片也要偏转到此一位置上。所以，仪表的偏转角与电路的相位角 φ（或功率因数 $\cos\varphi$）有关。标尺可以按相位角的度数或功率因数数值进行刻度。

若相位表须要通过互感器接入电网，其接线图如图 8.1.1－30 所示。

10.4 变换器式功率因数表

变换器式功率因数表由半导体变换器电路和磁电系表头所组成，目前都是做成面板式的。如 1L1－cosφ、6L2－cosφ 型。

图 8.1.1－31 为 6L2－cosφ 型三相功率因数表的原理电路图。电阻 R_1、R_2 和稳压管 DW_1、DW_2 组成一个桥式电路，磁电系表头 M 和滤波电容 C_1 并联后，接至电桥的对顶角 a、c 上。C_1 作用是防止指针的抖动。在电桥的另一对角顶 b、d 上接有两个回路，一是电压回路，由二极管 D_1、D_2 和降压电阻 R_3 所构成的半波整流电路，接到线电压 U_{CB}上；另一是电流回路，由 D_3、D_4 构成的全波整流电路，接到电流互感器 LH 的次级两端，LH 初级接入 A 相电流 I_A。电容 C_2 作用是补偿电流互感器的角误差。

电压回路只有在线电压 U_{CB}的正半周时，稳压管 DW_1 和 DW_2 的两端才会产生电压 U_{DW1} 和 U_{DW_2}，并且此二电压总是同时出现、同时消失。在线电压 U_{CB}的负半周，因 D_1 截止，电桥电路无电流通过。而电流回路，在线电流 i_A 的正半周，在 DW_1 两端产生 U_{DW_1}，在 i_A 的负半周，在 DW_2 两端产生 U_{DW_2}，而且 U_{DW_1}和 U_{DW_2}总是轮流出现。U_{DW_1}、U_{DW_2}各在表头 M 中产生的电流 I_1、I_2，方向相反。

由于线电压 U_{CB}与线电流 i_A 共同作用的结果，在一个周期内，方向相反的电流 I_1 和 I_2 将各出现一次，而且电流的延续时间的长短是与电路的相位角有关，和 I_1 延续时间相对应的相角为($90°+\varphi$)；和 I_2 延续时间相对应的相角为($90-\varphi$)。而一个延续时间加长，则另一延续时间必减短。电流的延续时间越大，此电流的平均值就越大。而通过表头的平均电流为此二电流的平均值 之差值。所以流过表头的平均电流是与三相电路的相位角有关，而且成正比，因此仪表的偏转角能反映 φ 角的变化。若标尺按 $\cos\varphi$ 刻度时，即可直接读出被测电路的功率因数的大小。

11 频 率 表

11.1 电动系频率表

电动系频率表通常做成可携式的。它采用电动系流比测量机构，并配以电感、电容及电阻等元件组成的测量电路。当频率变化时，引起容抗和感抗的变化，由此引起线圈电流变化，从而使仪表的转矩及偏转角改变。

图 8.1.1－32a）为 D_3－Hz 型频率表的测量机构示意图。两个动圈互相交叉角度为 $2\delta=90°$。图 8.1.1－32b）为该型频率表的电路图。动圈 D_1 与电容 C_1 串联；动圈 D_2 与分流电阻 R_0 并联后，再与两个定圈 A_1、A_2 及电感 L、电容 C、电阻 R 串联，最后两支路并联接到被测频率的电压上。

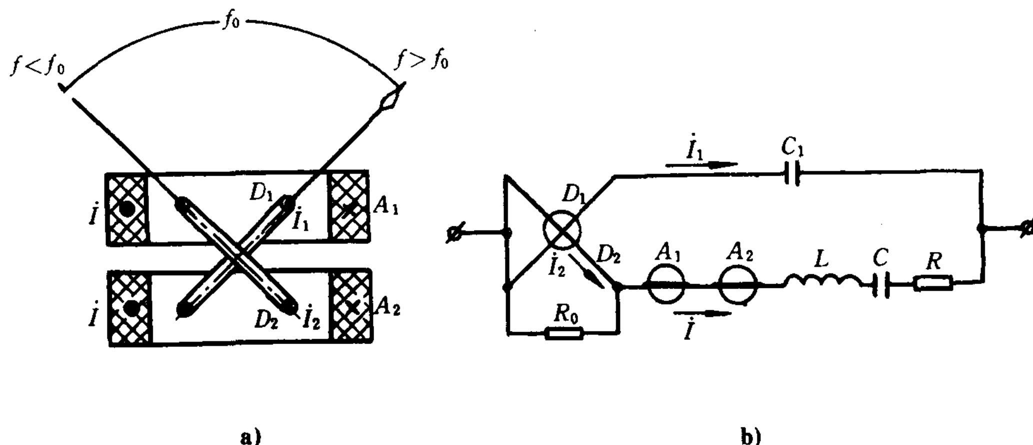


图 8.1.1—32　D3—Hz 型频率表工作原理

a)测量机构示意图；b)电路图

频率表接入电压 U 后，二并联支路中电流 I_1、I_2 将随频率的变化而改变其大小或相位，作用于两个动圈上的力矩也因之改变，并且此二力矩的方向是相反的。当此二力矩相等时，仪表达到平衡状态。在电路中的 R_0、R、C_1 及 L、C 都是常量时，仪表的偏转角只与被测频率 f 有关，即 a＝F(f)。频率表标尺的中心刻度值叫中间频率 f_0，通常为其量程的中间值，如量程为 45～55Hz 的频率表 f_0＝50Hz。在设计时，通常使仪表的 R、L、C 串联电路，正好在中间频率 f_0 时发生串联谐振，在此频率时，指针指到标尺的中心刻度。

11.2　铁磁电动系频率表

铁磁电动系频率表通常做成面板式的。这种频率表的结构形式有两种，一种为具有双动圈流比测量机构，其基本工作原理与铁磁电动系相位表相类似(参见本章 10.2)。另一种是具有单动圈和“电气游丝”的结构，而这种结构的频率表又有两种结构形式，一为具有均匀磁场结构形式；一为具有不均匀磁场结构形式。

11.2.1　具有均匀磁场结构的单动圈铁磁电动系频率表

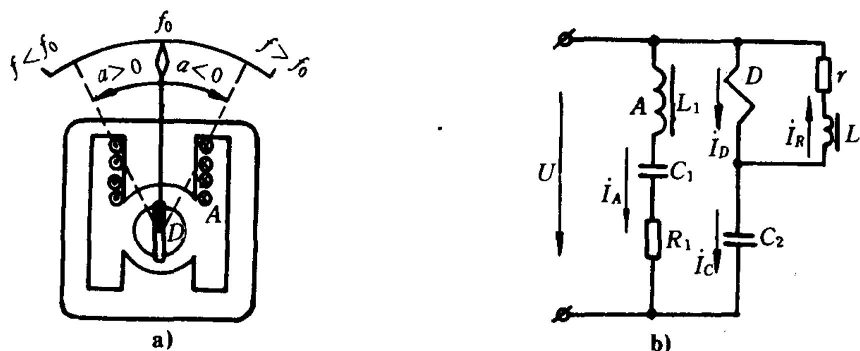


图 8.1.1—33　单动圈铁磁电动系频率表

a)测量机构示意图；b)原理电路图

如 16D2—Hz、19D1—Hz 等型频率表就具有这种结构。图 6.1.1—33 为这种代表的测量

机构和原理电路图。图中 A 为定圈、D 为动圈，及用硅钢片叠成的铁芯，动圈 D 可以在气隙中绕轴转动。仪表的测量电路由三个部分组成：1）由定圈 A 的电感 L_1、电容 C_1、电阻 R_1 构成的串联谐振电路；2）由动圈 D、电阻 r、电感 L_2 构成"电气游丝"电路；3），由动圈回路和电容 C_2 组成的移相电路。

这种仪表不装设游丝，也无产生反作用力矩的第二个动圈。其反作用力矩是靠动圈在定圈磁场内转动时，由定圈所产生的脉动磁通将穿过动圈，在动圈回路中产生感应电流，此电流与磁通相互作用产生电磁力及力矩。力矩的方向总是和动圈的偏转方向相反，其大小则随偏转角的增大而增大，就和一个零位居中的机械游丝所产生的反作用力矩的作用一样。所以称为：电气游丝"。

当频率表接入电压 U 后，如图 8.1.1－33 b)所示。动圈中的电流 I_D 可以看成是两个分量的叠加，一个是由定圈磁通在动圈中感应电势所产生的电流分量，它产生反作用力矩，起"电气游丝"作用；另一个是由外加电压 U 产生的分量，可以认为它是由电容 C_2 的容抗所决定的分量，此电流分量与定圈电流 I_A 所产生的磁通相互作用，在动圈上产生转动力矩。后一个力矩与前一个反作用力矩方向相反，当二者达到平衡状态时，指针偏转到某一个角度上。当电路的各参数为常量时，仪表的偏转角与频率有关，即 $a=F(f)$。

通常使串联谐振电路在中间频率 f_0 时谐振，偏转角为零、指针居中。当 $f>f_0$ 时，指针向右偏转；而当 $f<f_0$ 时，指针向左偏。

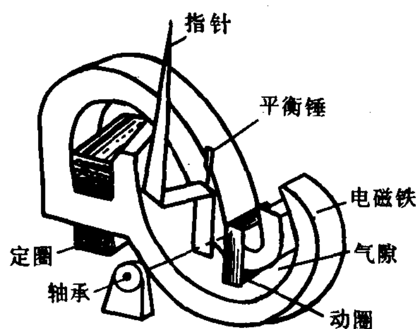


图 8.1.1－34 具有不均匀磁场单动圈铁磁电动系频率表的结构

11.2.2 具有不均匀磁场结构单动圈铁磁电动系频率表

图 8.1.1－34 为这种代表的结构示意图。铁芯的上半部如反写的 S 形，下半部分如反写的 G 形。定圈 A 套在 G 形的下部，动圈 D 套在 S 形的端部，其一个边处于端部气隙中。指针及转轴固装在动圈的轴线上。气隙中的磁场是不均匀的，在靠近定圈边的磁场最强，越远离定圈的电磁铁端部气隙的磁场越弱。因采用这种 S 形铁芯的特殊结构，动圈可在很广的范围内转动，其偏转角可达 230°，故称广角式电表。如 45D1－Hz 型便是这种类型的频率表。

定圈 A 中的交流电流所产生的交变磁场与动圈中的交流电流相互作用，则在动圈上产生转动力矩。同时，定圈所产生的交变磁场在动圈 D 中产生感应电势及感应电流，此感应电流与定圈的交变磁场相互作用而产生反作用力矩。因磁场的分布是不均匀的，因此反作用力矩亦随磁场的强弱而改变，可以认为反作用力矩的大小正比于偏转角。当转动力矩与反作用力矩相平衡时，指针就偏转到某一定角度上。当电路的参数为常量时，仪表的偏转角与频率有关。所以，偏转角的大小，可以反映出频率的数值。

图 8.1.1－35 为该频率表的测量电路。B 为 100/200V 的变压器；L_2、C_2 为滤波电感、电容，L_1 为可调电感；R_1 和 R_2 为测量电阻；C_1 为测量电容。以上元件为仪表的附加元件，装于另一盒中，为仪表的附加装置 FY。R_D 表示为动圈及其电阻；RA 表示为定圈及其电阻。

45－D1－Hz 型频率表及其附加装置 FY－50 的接线图如图 8.1.1－36 所示。

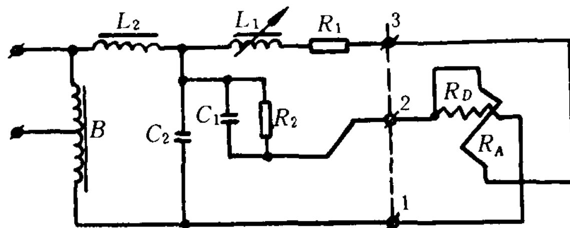


图 8.1.1-35 45D1-Hz 频率表电路图

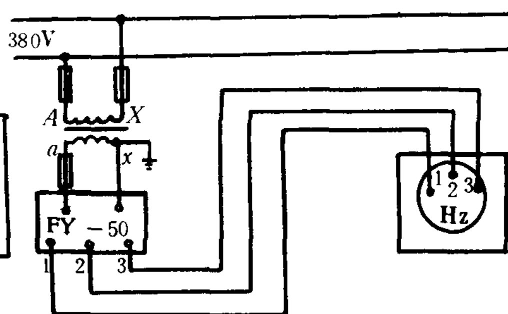


图 8.1.1-36 45D1-Hz 频率表的接线图

11.3 变换器式频率表

变换器式频率表通常做成面板式的。这种频率表大都采用微分电路，故又称为微分式频率表。图 8.1.1－37 为这种频率表的电路原理图。它由四个部分所组成：1)由降压电阻 R_1、稳压管 DW_1、DW_2 构成削波电路；2)由电容 C、二极管 D_1 和磁电系表头 M 构成的微分整流电路；3)由表头 M、电阻 R_2 及二极管 D_2，所组成负半波充电电路，以提高仪表的灵敏度；4)由电阻 R_2、二极管 D_3 和表头 M 所组成的量程调整电路。

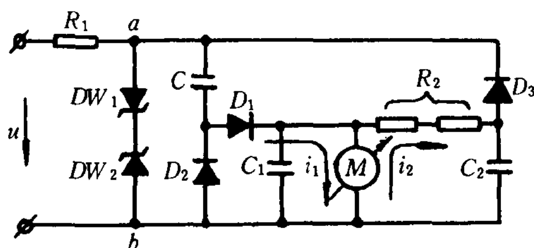


图 8.1.1－37 微分式频率表原理电路图

当仪表接入被测频率的电压时，由于稳压管 DW_1、DW_2 的削波作用，在电路 a、b 两端得到一个交变的近似矩形波，其幅值等于稳压管的稳定电压值 E。在电源的正半周，C_1 被充电，充电电流通过表头 M 而成回路。此充电电流的大小与电容器两端电压的变化率成正比，即决定于电容器两端电压对时间的微分。而电源电压由负半周变到正半周，电容器两端电压一共变化了 2E。因此充电电流 i_1 应为：

$$i_1=\frac{2E}{R}e^{-\frac{t}{RC}} \qquad (8.1.1-7)$$

R 为充电回路的总电阻。由于表头可动部分的惯性，决定其偏转角的应是充电电流在一个周期内的平均值。在充电回路的 $\tau=RC\ll T$ 的条件下，充电电流的平均值近似为 $I_1=\frac{1}{T}\cdot 2EC$。在电路的参数都是常量的条件下，流过表头的电流的平均值是与频率成正比，因而偏转角也和频率成正比。当标尺按频率刻度时，则可直接读出被测频率。

为了提高测量的准确性，总是希望尽量扩大工作频率附近的刻度，例如，用于工频测量的频率表，其测量范围通常为 45～55Hz。为使被测频率等于测量频率下限 f_1 时，对应的偏转角为零，在仪表中设有 R_2、D_3 和 M 所构成的量程调整电路。在电源的负半周，产生电流 i_2，其大小由 R_2 决定，其方向与正半周时的充电电流方向相反，其平均值 I_2 的大小仅决定于稳压值 E 和电阻 R_2，而与被测频率无关。在设计时，已使被测频率等于测量下限频率时，$I_1=I_2$，这样通过表头的电流为零，指针不偏转，和机械零位相对应的频率即为下限频率了。当被测频率增大时，I_1 增大，偏转角增大。当被测频率达到测量上限频率时，流经表头的合成电流，恰好是表头的满偏电流。这样，指针满偏转时所对应的频率即为测量上限频率。

11.4 振动式频率表

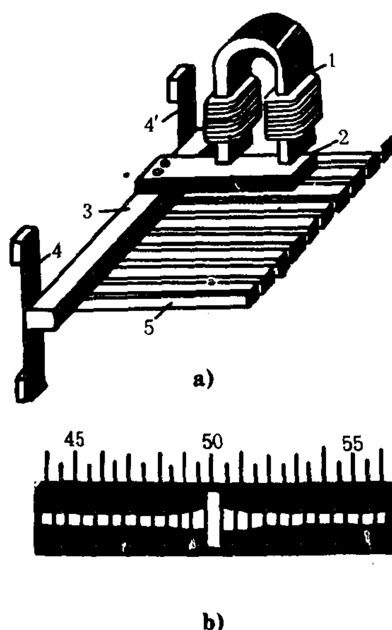


图 8.1.1－38 振动式频率表
a)结构；b)标尺
1－电磁铁；2－衔铁；3－水平条；
4、4'－弹性片；5－弹簧片

振动式频率表的结构如图 8.1.1－38a)所示。电磁铁 1 的下面置有衔铁 2，2 固定在水平条 3 上，3 的两端固接在弹性片 4、4'上，水平条上还固定有许多具有不同振动频率的弹簧片 5，各弹簧片的自由端弯成直角，端面上涂以白漆，在窗口外可以看到涂有白漆的端面。

电磁铁上线圈与被测电路并联，当通以交流电时，在电磁铁吸力作用下，衔铁 2 按被测电路的频率受到强迫振动，其中某个固有振动频率与被测电路的频率相等的簧片，其振幅要比其它簧片的大得多，见图 8.1.1－38b)。仪表标尺上，靠近每一簧片端的位置处标明使该簧片发生谐振的频率。因此根据振幅最大的簧片，使可以判断待测频率。在标尺上标有它据以设计的额定电压值。

11.5 数字式频率表

通过电子电路，自动计算被测交流电的频率，并以数码显示出测量结果的仪表，称为数字式频率表。这种频率表按测量方法来分类，则有测频法及测周期法之分。

1)测频法频率表

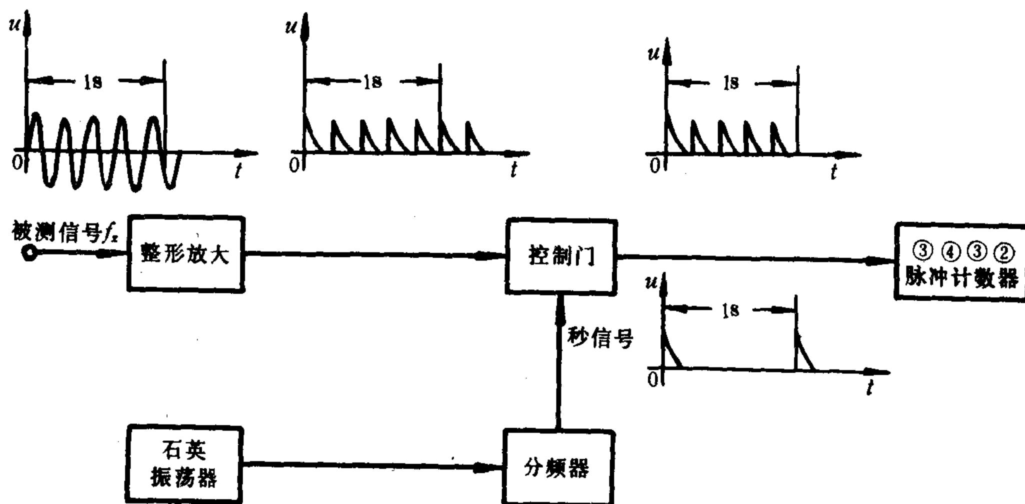


图 8.1.1－39 测频法频率表方框图

图 8.1.1－39 为测频法频率表的方框图。图中整形放大部分的作用是把被测信号放大后加以整形，以便得到前沿陡峭的尖脉冲。整形的方法是利用施密特触发器把频率信号变为方波，然后通过 RC 微分电路得到所需的尖脉冲。触发器以被测频率的电压作为触发信号源，因此，被测电压每变化一次，触发器就翻转一次，并产生一个方波。这样所得到的脉冲个数就和被测电压变化的次数相等。

石英振荡器和分频器组成了一个标准时间信号发生器，其作用是每隔一定时间(例如一秒

钟)，向控制门发生一个控制脉冲，这样，两个脉冲的间隔为标准的一秒钟。控制门是一个晶体管门电路，当控制门开放时，被测信号的脉冲 可以通过，而当控制门关闭时，被测信号就不能通过。控制门的开放或关闭由秒信号发生器来控制，在第一个脉冲信号的作用下，控制开放，经一秒钟时间，在第二个脉冲信号作用下，控制门又关闭。这样，在一秒钟时间内通过的被测信号的个数即为待测的频率值。

脉冲计数器由累加器、译码电路和数码管所组成，用以累计由控制门送来的脉冲个数，并通过译码电路后，由数码管直接显示出来。所显示出来的数字为每秒钟内被测信号的脉冲个数，亦即被测频率值。

这样测量方法在测量频率很低的信号时，易产生较大误差。

2)测周期法

图 8.1.1—40 为测周期法频率表的原理方框图。与测频法不同之处，是控制门由被测信号的脉冲来控制。因此，两个控制脉冲的间隔就是被测信号的周期 T_x。由石英振荡器产生的标准脉冲经整形放大后，进入控制门。这样，计数器即可计出在时间 Tx 内的标准脉冲个数 N，并根据标准脉冲的周期 T_0，得出被测周期 $T_x=NT_0$。测出周期后，便可得出被测频率为 $f_x=\frac{1}{T_x}$。

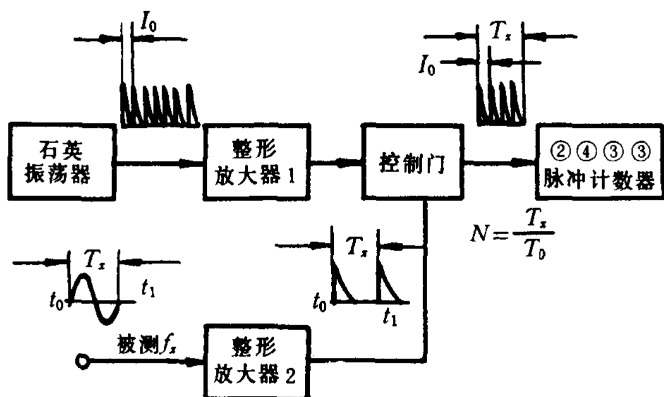


图 8.1.1—40 测周期法频率表方框图

在使用数字式频率表时，应注意被测电压的大小应和仪表的铭牌数据相适应，否则，仪表可能损坏或不工作。

12 整步表(同步表)

整步表用于同步发电机和电网并列运行时，应先检查两侧电压之间频率、相位的差别情况，以使运行人员得以进行必要的调整和操作，使同步发电机在符合同期的条件下并入电网。整步完毕，整步表应及时切除，不允许长期工作。

12.1 电磁系整步表

电磁系整步表是目前应用最广泛的一种整步表，如 45T1—S 型、13T1—S 型整步表就是采用电磁系的机构制成的，通常做成面板式的。其结构与工作原理与电磁系三相功率因数表相似。

三线圈整步表的内部结构及接线图如图 8.1.1—41 所示。图中 A_1、A_2、A_3 为相互交叉成 120°空间角的三个定圈，用以产生旋转磁场。在此三个定圈内有一个圆柱形线圈 A_0，用以产生脉动磁场。在 A_0 中间有转轴，而轴套紧固在转轴上。轴套的上下两端各固定有扇形铁片 F_1、F_2，装在相反的两侧，与轴套组成 Z 字形，称为 Z 形铁片。指针固定在转轴上。Z 形铁片可以在 A_0 内自由转动，从而带动转轴和指针转动。

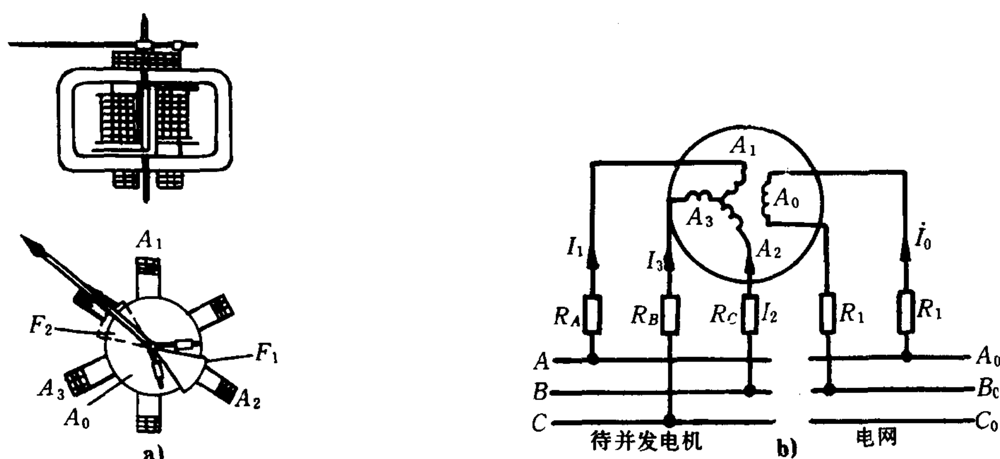


图 8.1.1—41 三线圈式电磁系整步表

a)结构;b)接线图

A_1、A_2、A_3—定圈;A_0—圆柱形线圈;F_1、F_2—扇形铁片

线圈 A_1、A_2、A_3 分别和电阻 R_A、R_B、R_C 串联后接至待并发电机的 A、B、C 三个相上,三相交流电通入后,三线圈必产生旋转磁场,其旋转角速度和待并发电机的电角频率相等。这样就可以用旋转磁场旋转一周的时间长短来衡量待并发电机的周期或频率。线圈 A_0 与电阻 R_1 串联后,接至电网的 A_0、B_0 相上,可以认为流经 A_0 的电流 i_0 是与线电压 U_{A0B0}同相。电流 i_0 产生一个脉动磁场,其磁通经 Z 形铁片而成磁回路。Z 形铁片受脉动磁场的磁化,电流每变化一周,磁感应强度 B_0 达到正的极大值一次。可以用 B_0 两次正的极大值之间的时间间隔来衡量电网电压的周期或频率。在 Z 形铁片的扇形片上,旋转磁场与脉动磁场处于同一平面上,Z 形铁片受到两个磁场的共同作用。结果,Z 形铁片总是力图偏转到脉动磁场最强的一瞬间时,旋转磁场在空间所处的位置上。在此位置上,两个磁场相叠加,使 Z 形铁片获得最强的磁化。

1)同步时的仪表指示

当发电机与电网完全同步,两者的频率相等、而且对应的电压同相时,每当脉动磁场到达正极大值时,旋转磁场在空间的位置总是一定的。因此,Z 形铁片将稳定地占据在此位置上。而指针也就相应地指向同步标线位置。

2)不同步时的仪表指示

(1)频率相等而相位不同时,如发电机电压比电网电压超前一个角度,旋转磁场转到某一空间位置时,脉动磁场尚未到达最大值,而当脉动磁场到达最大值时,旋转磁场已经又向前转过了一定角度,达到一个新的空间位置。由于频率相等,当脉动磁场到达最大值时,旋转磁场在空间的这个新位置也是固定不变的,所以指针也将指在这一新的位置,但这已不是同步标线位置。指针将自同步标线顺着旋转磁场方向(顺时针方向)转过一定角度;反之,当发电机电压比相对应的电网电压滞后一个角度时,指针将自同步标线的位置反时针方向转过一定角度。二者相对应的电压相位差越大,指针偏离同步标线就越远。

(2)发电机与电网频率不相等时,由于频率不同,发电机电压与电网电压的相位在一般情况下是不同的。频率不同的结果,使两个磁场的周期也不相同。当发电机频率高于电网频率时,即脉动磁场的周期大于旋转磁场的周期,即旋转磁场转过了一周而脉动磁场尚未完成一个周期的变化,当脉动磁场从最大值经一个周期到达了下一个最大值时,旋转磁场在空间的位置已

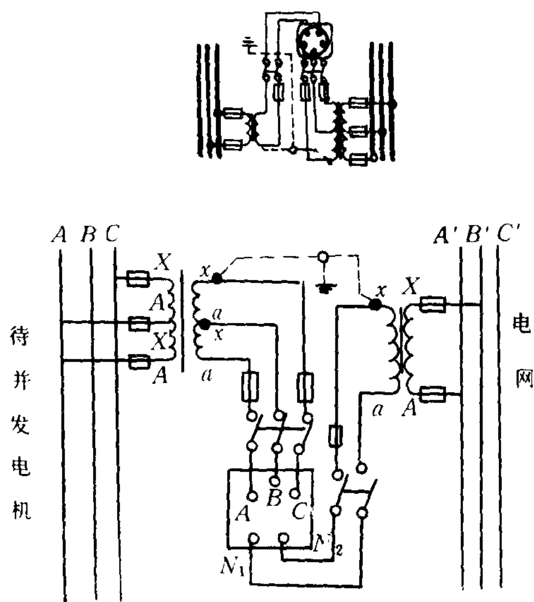


图 8.1.1—42　整步表的接线图

顺着旋转方向前移了。再往下一个周期，脉动磁场又达到一个新的最大值时，旋转磁场在空间的位置又向前移了。结果，Z 形铁片的位置也跟着不断变化，使指针顺着顺时针方向不断转动。反之，当电网频率高于发电机频率时，指针就会反时针方向转动。显然，频率差越大指针转动速率就越高。所以，指针的转速，可以反映频差的大小；指针的转向，可以反映发电机频率的高低；而指针偏离同步标线的角度，可以反映发电机和电网相对应电压的相位差。

若整步表须要通过电压互感器接入，接线图如图 8.1.1—42 所示。

12.2　组合式同步表

组合式同步表为 MZ—10 型，通常做成面板式。它由频率差表、电压差表和整步表所组成。频率差表和电压差表可以测量发电机和电网间的频率差值和电压差值，从而使同期装置简化。

图 8.1.1—43 为 MZ—10 型组合式同步表的原理电路。

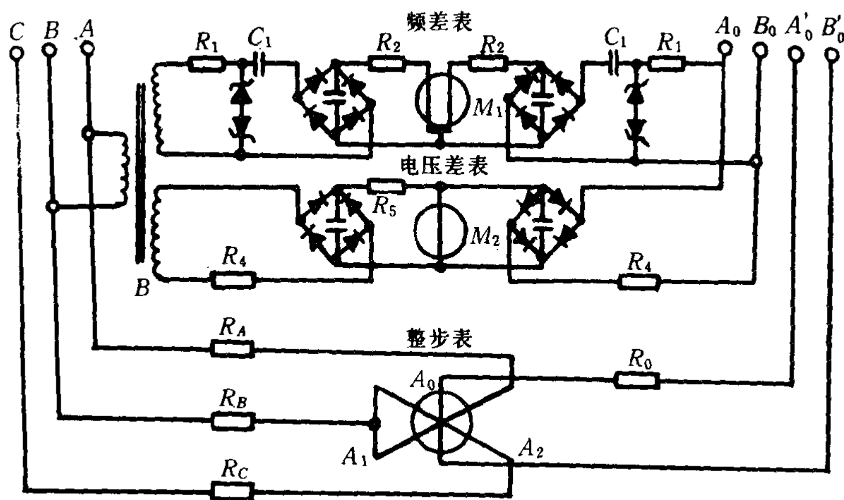


图 8.1.1—43　MZ—10 型组合式同步表的原理电路

1）频率差表　频率差表做成变换器式的，其基本原理与变换器式频率表相同（参见本章 11.3）。发电机及电网电压各自经稳压管削波整形，再经由 C_1、R_2 组成的微分电路和桥式整流电路，转换为直流。此二直流电流流入磁电式流比计 M_1 的两个动圈，此两动圈分别绕在同一铝框架上，所产生的两个力矩方向相反。当发电机与电网二侧频率相等时，转换后的直流电流也相等，两者所产生的力矩和为零，仪表指针指向零。若两侧频率不相等，转换后的直流电流也不相等，所产生的力矩和不为零，所以，指针偏转。指针偏转角的大小，决定于频率差的大小；偏转的方向决定于频率差的符号。

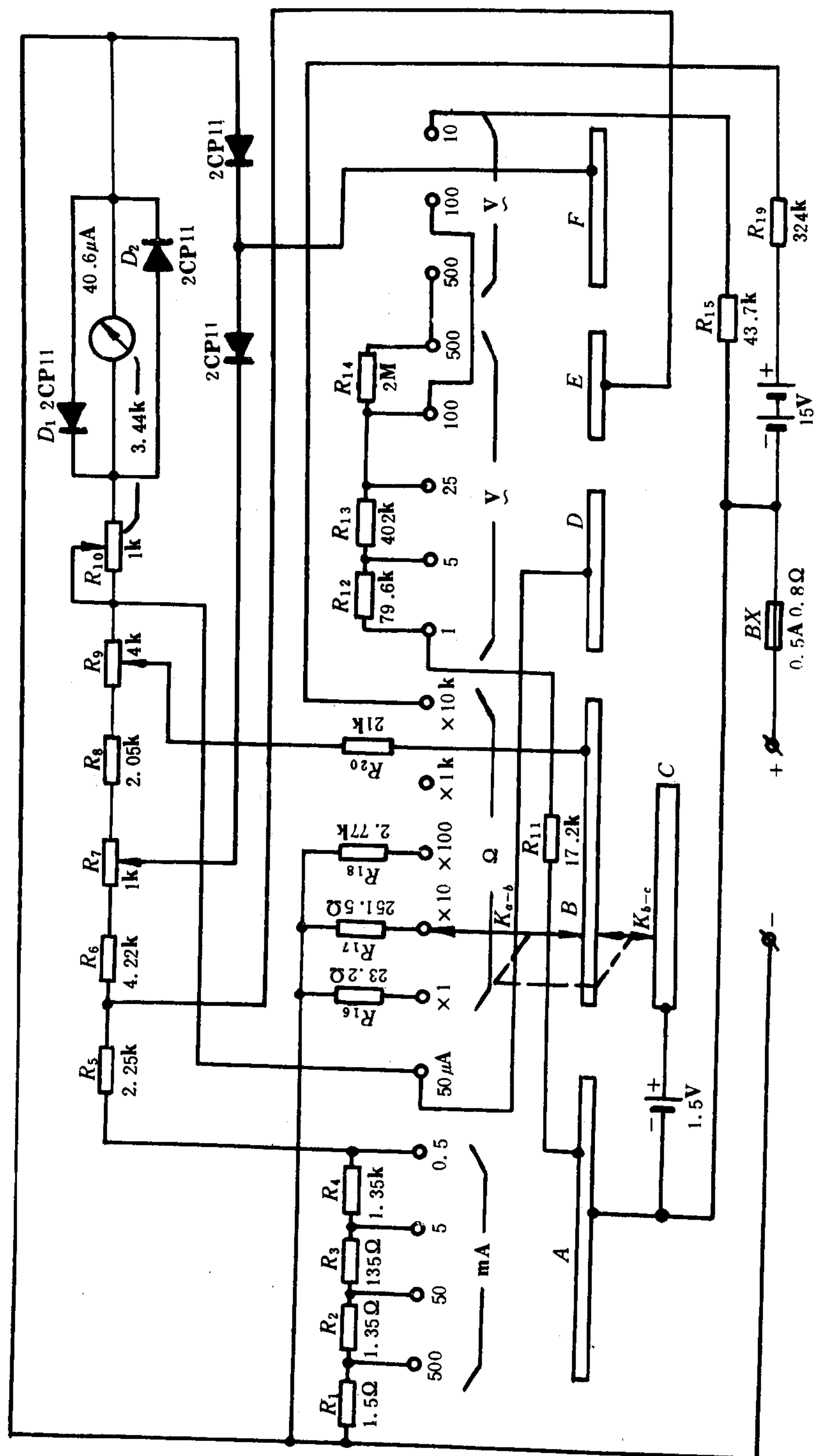


图 8.1.1—44 MF—30型万用表总电路图

2)电压差表　发电机和电网电压分别经桥式整流电路变为直流，两个直流电流都流入磁电式表头M_2，但方向相反。当两侧电压相等时，流经表头M_2的电流为零，指针应指零。当两侧电压不相等时，流经表头的电流不为零，因而指针偏转。偏转角的大小决定于电压差的大小；偏转的方向决定于两侧电压差的符号。

3)整步表　为一只两定圈式电磁式整步表(参见本章12.1)。不过其旋转磁场是由两个在空间交叉成60°角，并通入两个大小相等、相位相差120°电角的交流电流所产生。

13 万　用　表

万用表是一种多用途的仪表。一般可以用来测量直流电流、直流电压、交流电压、电阻和音频电平等量，并具有多种量程。有的万用表还可以测量交流电流、电容量、电感量以及用于晶体管的简易测试等。目前常用的有两种形式，一种为模拟式，一种为数字式。

13.1　模拟式万用表

此种万用表，型号甚多，现以较为常用的MF－30型为例说明其测量原理。MF－30型万用表的总电路图如图8.1.1－44所示。

1)万用表的结构

(1)表头　通常采用高灵敏度的磁电系表头，其满刻度电流约为几μA到几百μA。刻度盘上刻有对应于不同测量对象的多条标尺。

(2)转换开关　转换开关由许多固定触头和可动触头组成。当转动转换开关的旋钮时，可动触头随着转动，在不同的挡位上和相应的固定触头相接触，从而使相应的测量电路接通。

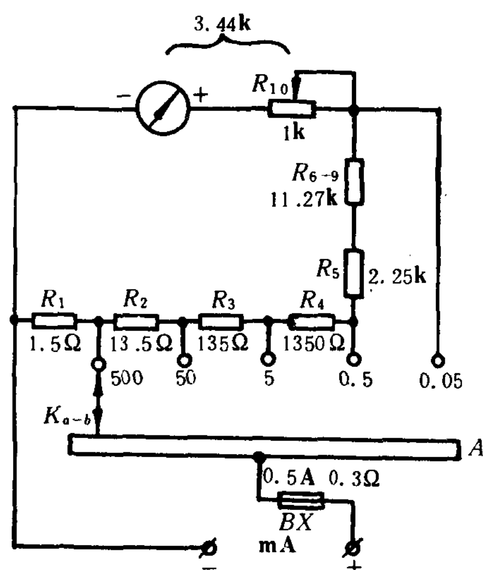


图8.1.1－45　直流电流测量电路

(3)各种测量电路

①直流电流测量电路如图8.1.1－45所示。

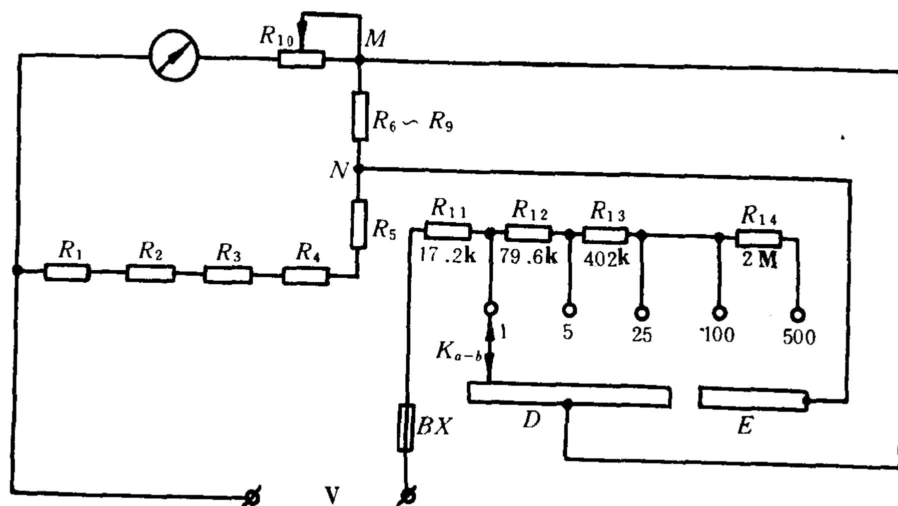


图8.1.1－46　直流电压测量电路

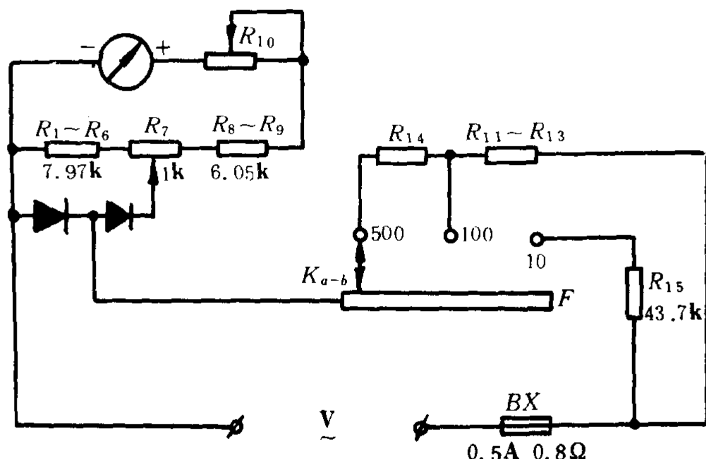


图 8.1.1—47 交流电压测量电路

②直流电压测量电路如图8.1.1—46 所示。

③交流电压测量电路如图8.1.1—47 所示。

④电阻测量电路

为了说明万用表的电阻测量电路，先说明磁电系欧姆表的基本原理。最简单欧姆表电路如图8.1.1—48 所示。被测电阻 R_x 接于 A、B 两端，则电路的电流为：

$$I=\frac{U}{r_c+R+R_x} \tag{8.1.1-8}$$

当 U、R 和 r_c 为一定时，电流 I 将随被测电阻 R_x 而变化。因此，可以用电流 I 的大小来衡量被测电阻 R_x 的大小。当 R_x 为零时，对应的电流 $I=\frac{U}{R+r_c}$，选择 R 值使 I 等于磁电系表头的满偏电流 I_0；而在 $R_x \to \infty$ 时，I=0，因而偏转角为零。指针指零位。可见，偏转角越大，所对应的被测电阻越小；而偏转角越小，则所对应的被测电阻越大。为了消除因电池电压的下降，而引起的测量误差，在欧姆表中装有零欧姆调整器，如图 8.1.1—49 所示。调整的方法是，在每次测量之前，用表笔将两个端钮 A、B 端短接，调整电位器 R_0，使流过表头的电流增大，直到指针指到零位为止，然后进行电阻的测量。电位器 R_0 的旋钮装在仪表的面板上，并标有相应的标记。

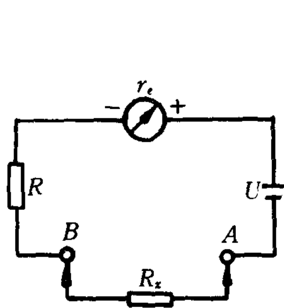


图 8.1.1—48 欧姆表的原理电路

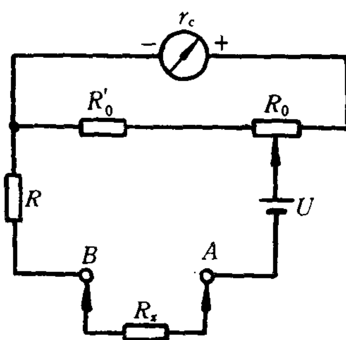


图 8.1.1—49 具有零欧调整器的欧姆表

为了扩大电阻的量程，在低阻档常采用改变分流电阻值的方法；而在高阻档常用提高电池电压的方法。

MF—30 型万用表的电阻测量电路如图 8.1.1—50 所示。R_9 为零 Ω 调整电位器。1.5V 干电池和 15V 积层电池，均附装在万用表内部。

2)万用表的正确使用

(1)接线要正确　万用表面板上的插孔(或接线柱)都有极性标记，在测直流时，要注意正负极性。在用欧姆档去判别二极管的极性时，应注意其“＋”插孔是接到内附电池的负极。(参见图 8.1.1—50)。

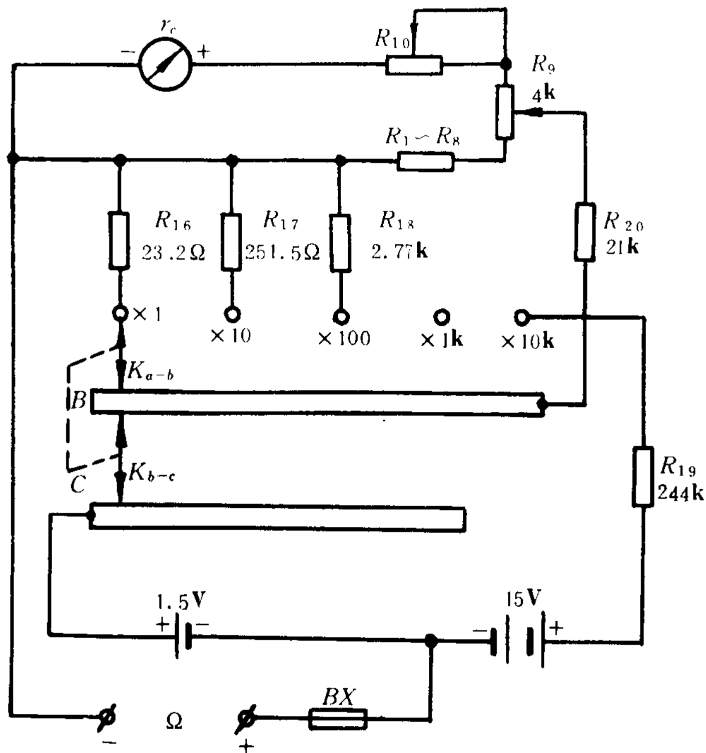


图 8.1.1—50　电阻测量电路

(2)测量档位要正确　测量档位包括测量对象的选择及量程的选择,测量前应根据测量对象及其大小的粗略估计,选择相应的档位。由于测量对象多、量程多,所以在使用时一定要注意调准测量档位,否则可能损害仪表。为了使测量结果更加准确,量程的选择应使读数在标尺的一定刻度范围之内。如在测电压或电流时,应使指针的偏转在满偏转的1/2以上;在测电阻时,应使被测电阻尽量接近标尺的中心。此外,在用欧姆档测试晶体管参数时,通常应选 R×100 或 R×1K 档,否则,将因测试电流过大(如用 R×1 档),或电压过高(如用 R×10K 档),而可能损害晶体管。

万用表在使用完毕后,应把转换开关旋至交流电压的最高档位。这样,可防止在下次测量时由于粗心而发生事故。

(3)使用前应调零　使用前应注意指针是否指在零位,如不指零,应调整表盖上的机械零位调节器(紧靠指针轴位置),使之指零。在测电阻之前,还应进行欧姆调零,调零的时间要短,以减少电池的消耗。若无法使指针达到欧姆零位,说明电池电压已过低,应更换新电池。

(4)严禁在被测电阻带电的情况下,进行电阻的测量,否则,不仅严重歪曲测量结果,甚至烧坏表头。

(5)不要在带电的情况下进行电压或电流量程的切换,以免使转换开关烧伤损坏。

13.2　数字式万用表

数字式万用表是利用较为复杂的电子电路进行测量,并能将测量结果直接以数字形式显示出来的多用途仪表。此种万用表的型号甚多,现以 PF5 型数字万用表为例说明数字式万用表的工作原理。该万用表采用了集成运算放大器和 MOS 中规模集成电路,因此具有体积小、重量轻、耗电少等优点。

1)工作原理

基本工作原理和方框图如图 8.1.1—51 所示。其核心是一个直流数字电压表,在此直流数字电压表的基础上配置了各种转换器来进行各种电量(交流电压、交流电流、直流电流及电阻)的测量。直流数字式电压表的工作过程实质上是一个模——数(A—D)转换过程,它是采用双积分原理来实现模——数转换的,它将输入电压变换为与电压平均值成正比的时间间隔,然后对在这段时间内通过控制门的已知频率的脉冲数进行计数,此脉冲个数能反映出输入电压的大小,从而完成电压——数字的转换。

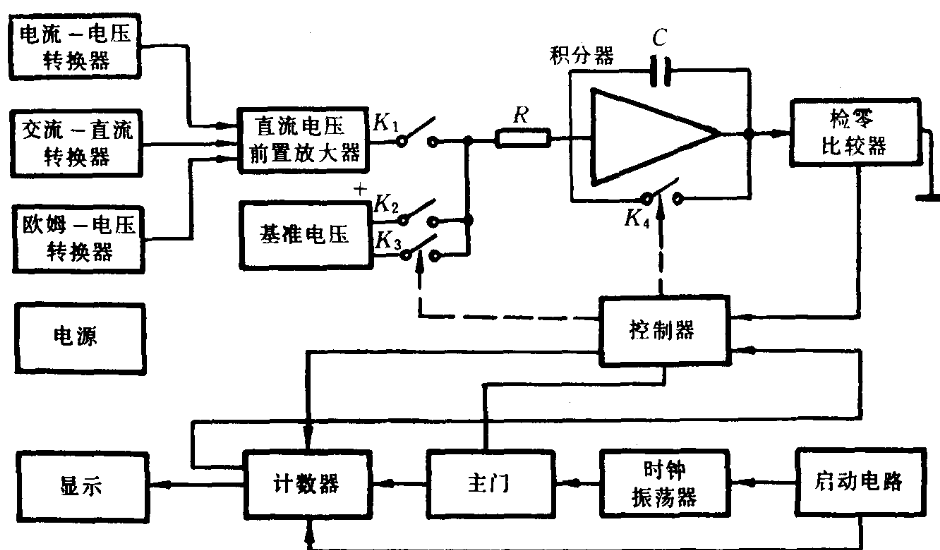


图 8.1.1－51　数字式万用表基本工作原理方框图

2)各部分电路简要说明

(1)电流——电压转换器　电流、电压的转换是通过采样电阻来实现的，由于电流通过电阻产生的压降与电流成正比，因此实现了电流、电压的转换。如果是交流电流，应先转换成交流电压，再进行交流——直流电压转换。

(2)欧姆——电压转换器　它是由标准电压、标准电阻及运算放大器所组成的比例运算放大器，其输入端接入标准电压，被测电阻 Rx 作为输出、输入间的反锁电阻，则运算放大器的输出电压将与 Rx 成正比关系。将此输出电压送至直流数字式电压表进行测量，便可得到被测电阻值。

(3)交流——直流电压转换器　它是由检波二极管、滤波电路将交流电压转换成直流电压。再送至数字式电压表进行测量。

(4)前置放大器　它是由场效应管差动放大器及运算放大器所组成的电压跟随器。它具有高精度、低漂移及高输入电阻等特点。

(5)积分器　它是双积分——模数转换的核心部分。其工作过程可以分为采样时间与比较时间两个阶段。

(6)检零器和比较器　它是由集成运算放大器、双稳态触发器、微分电路、与门电路及倒相器所组成。它的作用一是判别积分器输出达到零的时刻产生关门指令；二是判别输入电压的极性，以便在第一次积分结束后，送给积分器一个与输入电压极性相反的基准电压。

(7)时钟振荡器　它是由采样振荡器及时钟振荡器所组成，提供仪器所需的时钟脉冲，为外接待测模拟量随时作好准备工作，一旦待测模拟量到来便产生启动脉冲，计数器便开始计数进行测量。

(8)控制器　由它控制整个仪器的逻辑动作，使仪器按“准备——采样——比较”的程序工作。

(9)计数器　它是由计数电路、寄存电路和译码显示电路所组成。将各种待测模拟量以十进制数字显示出测量结果。

在使用数字式万用表之前，应仔细阅读使用说明书，严格按规定的使用方法进行测量，以免损坏仪表。

当前常用的数字万用表见表 8.1.1－3。

表 8.1.1－3　　**常用数字万用表的型号规格与技术数据**

产品名称	型号	规格和主要技术数据：量限	规格和主要技术数据：精确度±(%)	规格和主要技术数据：外形尺寸(mm)	主要用途和使用要求	参考价(元)	生产厂	备注
数字万用表	PF 13－2	量程 / 最高分辨率		280×245×75	测量交直流电压、电流及电阻	1200	温州市仪器厂	便携式
		AC:0≈500V / 1mV	0.5					
		DC:0～1000V / 1mV	0.2					
		0～1A / 1μA	1					
		R:0～2MΩ / 1Ω	0.5					
		最大显示:1999						
	PF －18	量程		75×200×248	测量直流电压电流、交流电压、频率	1400	天津市电表厂	
		DC:0.5～500v 0.5～500mA	0.2					
		R:0.5～500KΩ	0.3					
		AC:0.5～500V	0.5					
		频率范围:40Hz～10kHz						
直流数字伏欧表	PF 19	量程		120×440×450	测量直流电压和直流电阻	11000	上海电表厂	可配用 LY6 打印机
		DC:0.1～1000V	0.003(读数)+2 字					
		R:1kΩ～10MΩ	0.006(读数)+2 字					
		采样速度:5 次/S 二～十进制编码输出						
数字万用表	PF33	AC: 200mV ～750V2mA～2A	0.5(读数)+3 字 1.5(读数)+3 字	51×83×191	测量交、直流电压、电流和电阻	790	天水长城电工仪器厂	
		DC: ± 200mV ～1000V ±2mA～2A	0.25(读数)+1 字 1.0(读数)+3 字					
		R:200Ω～20MΩ	0.25(读数)+1 字					
数字万用表	PF34	AC:200mV～1000V 200μA～10A	0.5(读数)+1 字	76×164×204	测量交、直流电压、电流和电阻	1200	天水长城电工仪器厂	
		DC: ± 200mV ～1000V ± 200μA ～±10A	0.1(读数)+1 字					
		R:200Ω～20MΩ	0.1(读数)+2 字					

14　钳形电流表

钳形电流表用于在不断开电路的情况下，测量电路的电流。

1）交流电流钳形表　它是由电流互感器和电流表所组成，如 T301、T302、MG24 等型钳形表。其外形如图 8.1.1－52 所示。使用时，将被测电流的导线卡入钳口，作为电流互感器的原边。铁芯钳口闭合后，接在副边线圈上的电流表指示出被测电流的大小。并可利用转换开关 K 改变电流的量程。这种测交流的测量机构是采用整流式的磁电系仪表。

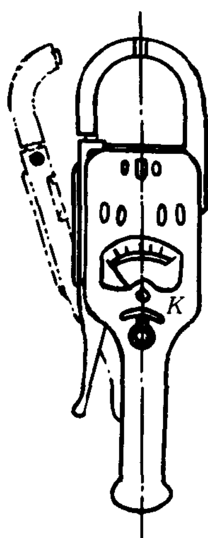


图 8.1.1－52　交流钳形表的外形

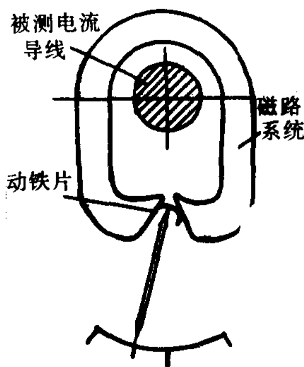


图 8.1.1－53　交直流两用钳形表的结构示意图

2）交直流两用钳形表　这种仪表的结构如图 8.1.1－53 所示。它是由电磁系测量机构做成的。如 MG20、MG21 等型钳形表。卡在钳芯口中的被测电流导线相当于电磁系测量机构中的线圈，在钳芯中产生磁场，位于钳芯缺口中间的可动铁片受此磁场的作用而偏转，从而带动指针偏转，指示出被测电流的大小。

3）多用钳形表　它是由钳形电流互感器和万用表组合而成，当组合起来时，即成为钳形电流表；如将钳形互感器拔出，万用表便可单独使用。如 MG28、MG36 型多用钳形表，都是采用这种结构。

15　兆　欧　表

15.1　摇　　表

兆欧表由磁电系流比测量机构、手摇发电机和测量电路所组成。其磁电系流比测量机构如图 8.1.1－54 所示；兆欧表原理电路如图 8.1.1－55 所示。手摇发电机所产生的电压有 500V、1000V、2500V 和 5000V 几种。在测量时须要摇动发电机的手柄，所以此种仪表称为摇表。

磁电系流比测量机构具有成丁字形交叉放置的动圈 1 和 2，并共同固定在转轴上。圆柱形铁芯 5 上开有缺口，而且极掌 4 的形状做得使空气不均匀，因此，由永久磁铁 3 所产生的气隙磁场也是不均匀的。当动圈都通入电流时，动圈 1 的电流 I_1 与气隙磁场相互作用的结果，在动圈 1 上产生转动力矩 M_1，动圈 2 的电流 I_2 与气隙磁场相互作用产生反作用力矩 M_2。力矩 M_1 不仅和电流 I_1 成正比，还和动圈所处的位置有关，即 M_1 随偏转角而改变。当转矩 M_1 与反作用力矩 M_2 相平衡时，动圈转到某个角度而稳定。此偏转角是与两个动圈的电流比有关。由图 8.1.1－55 可以看出，仪表平衡时的偏转角 a 与待测电阻 R_x 有下列关系，即：

$$a=F\left(\frac{r_2+R_2}{r_1+R_1+R_x}\right) \tag{8.1.1-9}$$

式中 r_1、r_2 分别为动圈 1 和 2 的电阻，R_1 和 R_2 分别为两动圈的附加电阻。上式还说明偏转角

能反映待测电阻 R_x 的大小，标尺是反向刻度的，而且是不均匀的。另外，这种仪表没有游丝，在仪表未通电时，其指针可以停留在任意位置上。动圈电流靠不产生力矩的导丝引入。

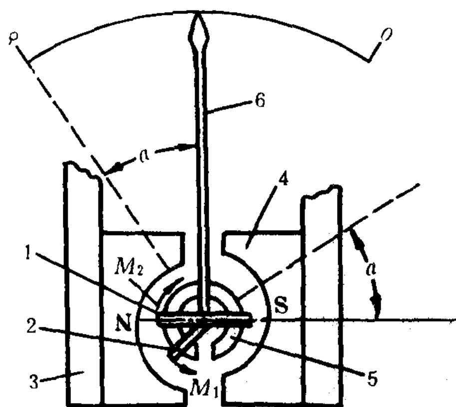


图 8.1.1－54　磁电系流比测量机构

1、2－动圈；3－永久磁铁；4－极掌；

5－有缺口的圆柱形铁芯；6－指针

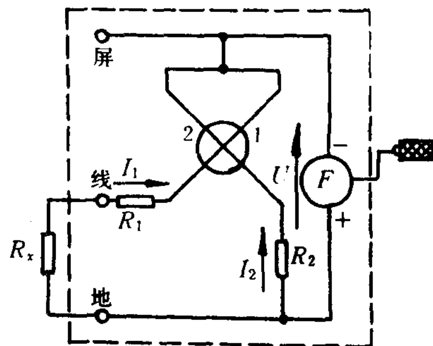


图 8.1.1－55　兆欧表原理电路图

在使用兆欧表时，应注意下列事项：

1）兆欧表的选择 应根据被测电气设备的额定电压来选择。一般，额定电压为 500V 以下的设备，选用 500V 或 1000V 的兆欧表；额定电压在 500V 以上的设备，选用 1000V 或 2500V 的兆欧表。

2）使用前的检查 先将兆欧表的端钮开路，摇动手柄达到发电机的额定转速，观察指针是否指"∞"；然后将"地"和"线"端钮短路，慢摇手柄，观察指针是否指"零"。如指示不对，须经调整、修理后再使用。

3）注意安全 不可在设备带电的情况下测量其绝缘电阻。对具有电容元件的高压设备在停电后，还必须经放电后才能进行测量。用兆欧表测量过的设备，也应及时进行放电。

4）手摇发电机的操作 在测量开始时，手柄的摇动应慢些，以防在被测绝缘损坏时或有短路现象时，损坏兆欧表。而在测量时，手柄的转速应尽量接近发电机的额定转速（约 120r/min）。若转速太慢，将给测量结果带来额外的误差。

5）接线方法，一般测量时，将被测电阻接在端线"线"（L）和"地"（E）之间即可。而端钮"屏"（G）是用来屏蔽表面电流 I_S 的。这是因为电缆绝缘材料表面漏电流 I_S 的存在，会使测量结果不准确。为了消除此种表面电流 I_S 的影响，在绝缘表面加一个金属的保护环，它与兆欧表的端钮"屏"（G）相连，如图 8.1.1－56 所示。这样表面电流 I_S 将不通过测量机构，而直接和发电机构成回路，从而消除了它的影响。

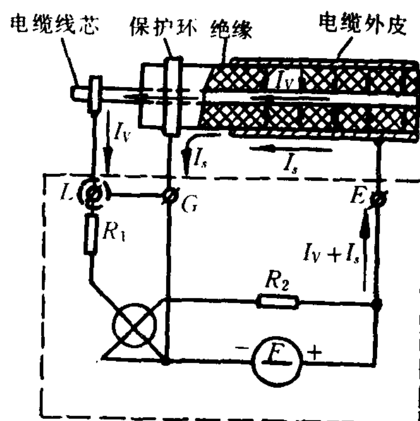


图 8.1.1－56　端钮"屏"的使用及接线法

15.2　面板式兆欧表

电网对地绝缘电阻的检测，要求在带电的情况下进行。一般采用安装在主配电板上的兆欧表进行测量。如 13C1－MΩ、45C1－MΩ 型交流高阻

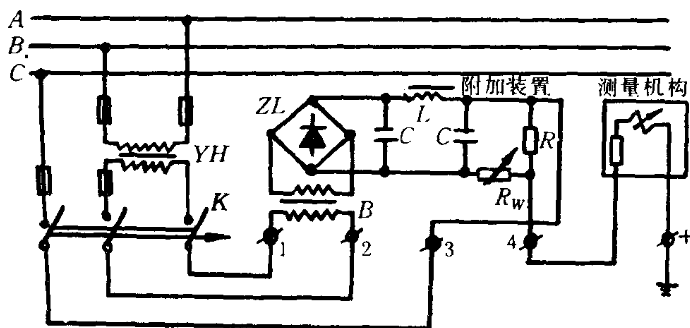


图 8.1.1－57　面板式兆欧表接线原理图

表即为这种类型的仪表，其接线原理图如图 8.1.1－57 所示。

兆欧表由附加装置(整流电源)及测量机构(磁电系表头和附加电阻)所组成。电网电压经电压互感器 YH、开关 K 传送到附加装置的电源变压器 B，再经整流、滤波后在端子 3、4 两端得到直流电压 U。漏电流回路是由电源正极端子 3 经开关 K 到电网，再经绝缘电阻 R_x 到地，流入测量机构正端回到电源负极端子 4。漏电流的变化反映电网对地绝缘电阻的变化，将磁电系直流电表的标尺按兆欧值刻度，便可直接读出绝缘电阻 R_x 值。因漏电流通过发电机的定子绕组构成通路，故测出的 R_x 值乃是三相分别对地绝缘电阻的并联电阻值。一般要求电网的绝缘电阻不得低于 2MΩ。

16 电　桥

16.1　直流单臂电桥

直流单臂电桥又称惠斯登电桥，其原理电路如图 8.1.1－58 所示。电阻 R_x、R_2、R_3 和 R_4 接成四边形，在一个对角线 a、b 上经按钮开关 B 接入直流电源 E；在另一个对角线上接入检流计 G 作为指零仪。接通按钮开关 B 后，调节标准电阻 R_2、R_3 和 R_4，使检流计的指示为零，电桥达到平衡，则有如下关系：

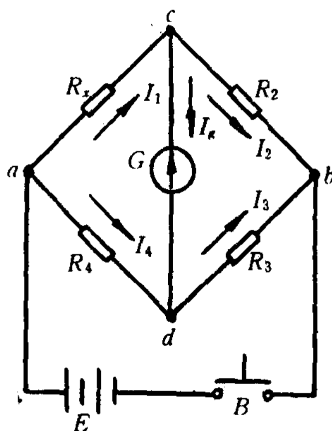


图 8.1.1－58　直流单臂电桥原理图

$$R_x = \frac{R_2}{R_3} \cdot R_4 \tag{8.1.1-10}$$

电阻 R_2 和 R_3 的比值常配成固定的比例，称为比率臂，而电阻 R_4 称为比较臂。在测量时，可根据对被测电阻的粗略估计选取一定的比率臂，然后调节比较臂使电桥达到平衡，则比较臂的数值乘以比率臂的倍数即为被测电阻 R_x 的数值。

图 8.1.1－59 为 QJ－23 型直流单臂电桥的原理电路。比率臂$\frac{R_2}{R_3}$共有七个固定的比率，即分为 10^{-3}、10^{-2}、10^{-1}、1、10、10^2 及 10^3 七档，由转换开关 K 换接。比较臂 R_4 由四组可调电阻串联构成，而每组由九个相同阻值的电阻组成，分别构成了个位、十位、百位和千位欧姆可调电阻。比较臂的电阻值由四个转换开关选择，构成比较臂电阻的四位数值。电桥平衡时，被测电阻 R_x＝倍率×比较臂的读数(欧)。其测量范围为 1～999000Ω。

为了保护检流计，在检流计上装有锁扣，以便在电桥使用完毕后将其可动部分锁住。此外，在检流计回路中还装有按钮开关 G。检流计按钮 G 和电源按钮 B 均装在面板上，以便于操作。被测电阻 R_x 作为一个桥臂由面板上端钮(标示“R_x”)接入。另外，面板上还备有外附检流计和外附电源的接线端钮。使用外附检流计时，应利用连接片将内附检流计短接。

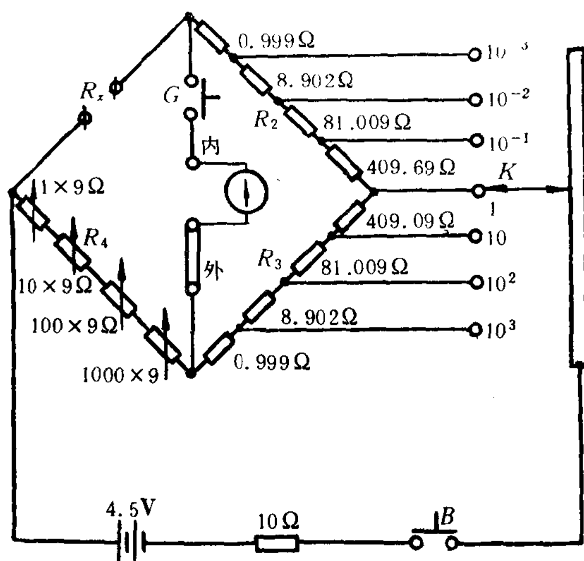


图 8.1.9－59 QJ－23型直流单臂电桥原理电路图

直流单臂电桥的使用方法：

1）测量前，先将检流计的锁扣打开，并调节调零器将指针调到零位。

2）接入被测电阻时，应选择较粗较短的连接导线，并将接头拧紧。否则，将使电桥的平衡不稳定，甚至可能损坏检流计。

3）估计被测电阻 R_x 的大致数值，以便选择合适的比率臂。比率臂的选择，应使比较臂的四个档都能用上，以便使电桥易于调到平衡，并可保证测量结果的有效数字。例如，被测电阻为几Ω，应选 10^{-3}的比率臂；被测电阻为几十Ω时，应选 10^{-2}的比率臂，其它以此类推。

4）进行测量时，应先接通电源按钮 B，然后接通检流计按钮 G。测量结束后，应先断开检流计按钮 G，后断开电源按钮 B。这是为了防止当被测元件具有电感时，由于电路的通断产生的自感电势而使检流计损坏。

5）电桥电路接通后，若检流计向“＋”的方向偏转，则应增加比较臂的电阻；反之，如指针向“－”的方向偏转，则应减小比较臂的电阻。反复调节比较臂电阻使指针向零趋近，直至电桥完全平衡为止。

6）使用完毕后，应将检流计的锁扣锁上。以防止在搬动过程中将悬丝损坏。有的电桥中检流计不装锁扣，应将按钮“G”断开，它的常闭接点就会自动将检流计短路，使可动部分在摆动时，受到强烈的阻尼作用而得到保护。

16.2 直流双臂电桥

直流双臂电桥又称为凯尔文电桥，它可以消除接线电阻和接触电阻的影响所产生的误差。是一种专门用来测量小电阻的电桥。

直流双臂电桥的原理电路如图 8.1.1－60 所示。被测电阻 R_x 和标准电阻 R_2' 共同组成电桥的一个臂，标准电阻 R_n 和标准电阻 R_1' 组成了与其对应的另一个臂；同时将 R_x 和 R_n 用一电阻为 r 的粗导线连接起来。为消除接线电阻和接触电阻的影响，R_x 和 R_n 都有两对端钮，即电流端钮 C_1、C_2 和 C_{n_1}、C_{n_2}；以及电位端钮 P_1、P_2 和 P_{n_1}、P_{n_2}，并且均用电位端钮接入桥臂。电阻 R_1、R'_1、R_2 和 R_2' 都是大于 10Ω 的标准电阻，而且用机械联动的调节装置，以使电桥趋于平衡的调节过程中，永远保持比值 $\frac{R_1'}{R_1}$ 与 $\frac{R_2'}{R}$ 相等。

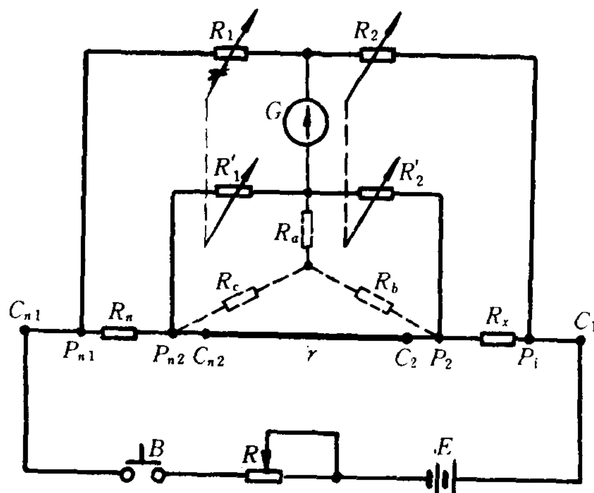


图 8.1.1－60 直流双臂电桥原理电路图

为求出电桥的平衡条件，将 R_1'、R_2 和 r 所组成的电阻三角形用星形连接的电阻 R_a、

R_b 和 R_c 等值变换，如图中虚线所示。电路经变换后，实际上就是一个单臂电桥电路。在电桥平衡时，有下列关系：

$$R_x+R_b=\frac{R_2}{R_1}(R_n+R_c)$$

将 R_b、R_c 值及比值关系$\frac{R_1'}{R_1}=\frac{R_2'}{R_2}$代入，整理后得出

$$R_x=\frac{R_2}{R_1}\cdot R_n \qquad (8.1.1-11)$$

被测电阻 R_x 只决定于比值$\frac{R_2}{R_1}$及标准电阻 R_n，而与接线电阻 r 无关。比值$\frac{R_2}{R_1}$称为双臂电桥的倍率。

由于电路的特点，各端钮的接触电阻及接线电阻的影响均可较好地消除。因而用来测小电阻时，有较准确的测量结果。

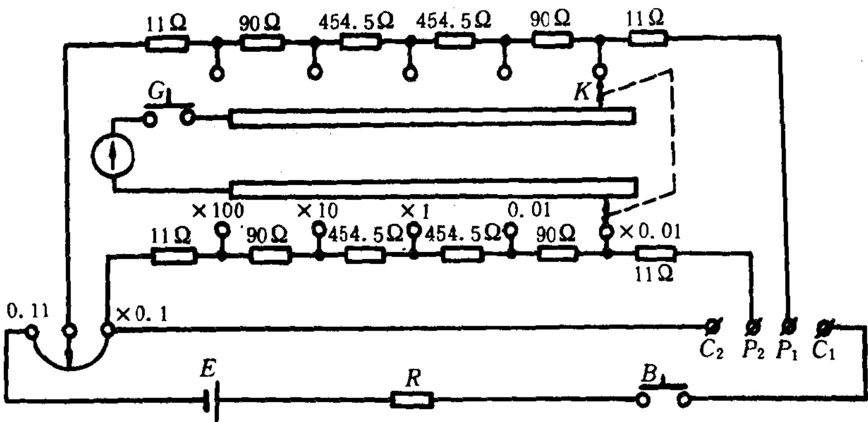


图 8.1.1－61　QJ－103 型直流双臂电桥原理电路图

图 8.1.1－61 为 QJ－103 型直流双臂电桥的原理电路图。共设有 100、10、1、0.1 和 0.01 五个固定倍率，倍率的改变借助于机械联动转换开关 K 进行，以保持$\frac{R_1'}{R_1}=\frac{R_2'}{R_2}$。标准电阻 R_n 的数值，可在 0.01～0.11 欧的范围内连续调节，其调节旋钮与刻度盘一起装在面板上，以便取得读数。当电桥达到平衡时，将所用倍率乘以标准电阻的读数，即可求出被测电阻值。在面板上还装有被测电阻的电流和电位端钮 C_1、C_2、和 P_1、P_2；按钮开关 B 和 G，及外接电源的接线柱等。该电桥的测量范围为 0.0011～11Ω。

直流双臂电桥的使用方法与单臂电桥基本相同，但还应注意以下几点：

1）被测电阻的电流端钮和电位端钮应与双臂电桥的对应端钮正确连接。当被测电阻没有专门的电位端钮和电流端钮时，也要设法引出四根线和双臂电桥相连接，并用靠近被测电阻的一对导线接至电桥的电位端钮上，如图 8.1.1－62 所示。

2）由于双臂电桥的工作电流较大，所以，测量要迅速，以避免电源电池的无谓消耗。

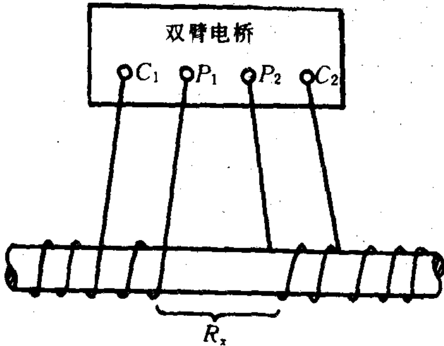


图 8.1.1－62　被测电阻的连接方法

17 电子仪器仪表及其使用方法

17.1 示 波 器

示波器是利用电子示波管将电信号波形，转换成图象的电子测量仪器。它不但能用来观测信号的波形，还能测量信号的各项参数如：幅度、周期、相位，以及脉冲信号的宽度、上升时间、下降时间等。在示波器中，有对信号进行定性和定量观测的通用示波器(如SB－10型、SBM－10型)；有采用多束示波管，能同时观测与比较两个以上信号的多束示波器(如SR8型、SE17型)；以及具有存贮信息功能的记忆、存贮示波器(如SJR－1型)等。

1)示波管的示波原理

电信号波形，是其瞬时值与时间在直角坐标系统中的函数图象。在示波管中有一组水平坐标X轴偏转系统和一组垂直坐标Y轴偏转系统构成一直角坐标系统。示波管电子枪所产生的电子束受控于这两个偏转系统并产生相应的偏转，电子束在荧光屏上产生的光点位置取决于这两个偏转系统上所施加的偏转电压。被测信号经Y轴放大器加到示波管的垂直偏转系统，使电子束的垂直偏转距离正比于被测信号的瞬时值。在示波管的水平偏转系统上加入随时间线性变化的信号，使电子束的水平偏转距离正比于时间，则在荧光屏上就会显示出被测信号随时间而变化的波形图。

实际上随时间线性变化的信号是锯齿波，它使被测信号反复地在荧光屏上出现。当锯齿波的周期等于被测信号周期的整数倍时，荧光屏上将显示出稳定的被测信号的波形。否则，图象将不断移动，难以观测。为此，在示波器中须加入同步(或整步)触发电路，以使图象达到稳定状态。

2)SB－10型示波器的工作原理

该型示波器的原理框图如图8.1.1－63所示。它是由五个部分所组成：

(1)示波管　将输入的被测信号以图象形式显示在荧光屏上。采用13SJ38J型中余辉示波管。

(2)Y轴放大电路　主要由衰减器和平衡放大器构成。由它决定示波器的灵敏度。

(3)X轴放大电路　主要由衰减器，阴极输出器和平衡放大器构成。由它决定所显示图象水平方向的大小。

(4)扫描电路　包括扫描电压发生器、整形电路和抹迹电路。在内扫描状态下，锯齿波电压经X轴放大器加到示波管的水平偏转板上，以使电子束的水平偏移的距离正比于时间。整步电路可选择不同的信号同步扫描电压发

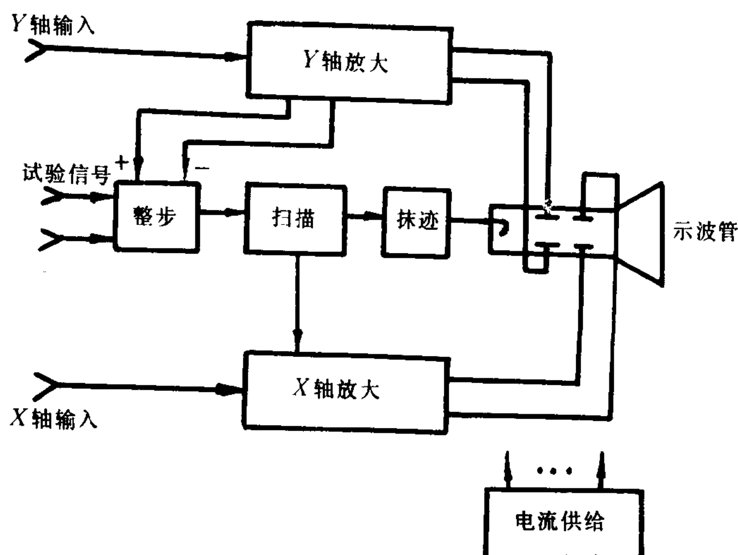


图8.1.1－63　SB－10型示波器原理框图

生器，使图象稳定。抹迹电路用于消隐荧光屏上的回扫线迹。在外扫描状态下，仪器允许机外提供扫描电压，外加电压可以是正弦波；也可以是锯齿波。

(5)电源供给电路　供给示波管和其它电路的高、低压电源和电子管灯丝电源。

3)SB－10型示波器的使用方法

将示波器电源线接至220V交流电源，开启电源开关，预热约15min再行使用。

(1)调节“辉度”旋钮使光点亮度适宜。

(2)调节“聚焦”旋钮使光点缩小为一小圆点。(“Y轴增幅”及“X轴增幅”旋钮都应指向零位)。光点的直径应小于1mm，若光点不圆，可配合调整仪器后部的“辅助聚焦”电位器。若不出现光点，可调节“Y轴位移”和“X轴位移”旋钮，使光点移至屏幕的正中。要使波形在屏幕上、下、左、右移动，也可调节此二旋钮。

(3)将被测信号接至“Y轴输入”端及“接地端”，按信号幅度的大小，选择适当的“Y轴衰减”的档级。

(4)观测Y轴输入信号的波形时，将“X轴衰减”置于“扫描”处。“整步选择”一般置于“内$_+$”、“内$_-$”或“电源整步”处。当置于“外整步”时，须从“整步输入”端接入外加整步信号。

当仪器须要在“X轴输入”端接入信号时，应将“X轴衰减”旋钮置于“衰减”位置，视接入信号幅度大小选择适当的衰减档级。此时“扫描范围”旋钮应指向“关”位置。

(5)为达到稳定波形的目的，要求被观测信号的频率与内部锯齿波扫描信号的频率成整数倍关系，按此原则选择适当的“扫描范围”档级，并调节“扫描细调”旋钮，使荧光屏上显示出所需周期数的、趋于稳定的波形。然后调节“整步增幅”旋钮使显示的波形达到稳定。

(6)使用完毕后，应先关“辉度”调节旋钮，后关电源开关。

17.2　低频信号发生器

低频信号发生器用来产生频率为20Hz～20kHz(或高至200kHz)的正弦信号。作为测试信号源，可用于测量低频放大器的增益、频率特性及通频带。

1)XFD－7A型低频信号发生器的工作原理。

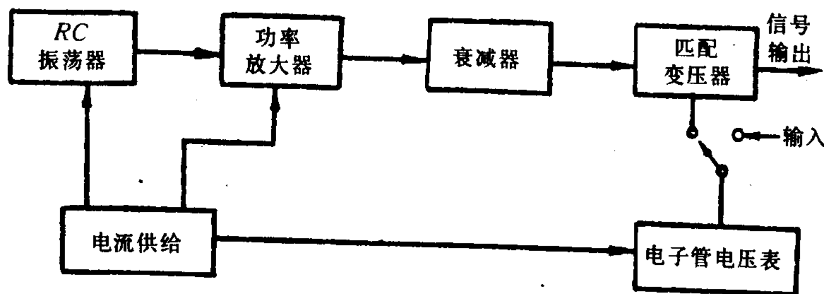


图8.1.1－64　XFD－7A型低频信号发生器的原理框图

XFD－7A型低频信号发生器的原理框图如图8.1.1－64所示。它主要包括下面六个部分：

(1)RC型振荡器　它是信号发生器的核心，由RC文氏电桥振荡器构成。改变R、C的数值便可以改变振荡频率。整个频率范围分为四个频段，转换“频率倍数”开关(即改变振荡器的电阻值)，可使四个频段按十进制变换(×1、×10、×100、和×1000)，每个频段内频率的连续改

变是靠改变电容来实现的。刻度盘上的基本刻度是 20Hz～200Hz。

(2)功率放大器　振荡器的输出经由一电位器(输出电压调节器)送到功率放大器。它由倒相放大器及推挽功率放大器所组成。

(3)匹配变压器　仪器的输出部分是由两个匹配变压器所组成，即低频段(20Hz～20kHz)及高频段(20kHz～200kHz)匹配变压器，两者之间转换是由继电器自动进行的。此两匹配变压器是用来同负载 50Ω、150Ω、600Ω 和 5KΩ 相匹配的。仪器内部装有 600Ω 的内部负载电阻，通过"内部负载"开关与匹配变压器的对应于 600Ω 的次级线圈相连接。

(4)衰减器　在匹配变压器与功率放大器间设有衰减器，由 T 型和桥 T 型网路所构成，是用分贝来刻度的电阻式可变衰减器。整个衰减器由两段组成，第一段衰减 10dB(每节 1dB)；第二段衰减 90dB(每节 10dB)，联合使用，最大可衰减至 100dB。

(5)电子管电压表　被测电压送至一个射极输出器，它的负载是一个测量桥路。输出电压经二极管整流后，送到测量桥路一对角线上的直流电流表头，成为电压指示器。电压表分有四个量程：15V、30V、75V，和 150V。

(6)电源供给电路　供给整个仪器所需的灯丝电压及高压。它由全波整流电路及电子管稳压电路所组成。稳压电路输出的直流电压为 390V。

2)XFD－7A 型低频信号发生器的使用方法

将电源线接至电源上，开机预热约 30min。在正式输出之前须要进行以下调节：

(1)频率调节　按照所须要的频率值调节"频率倍率"开关和"频率调节"旋钮，再通过"频率微调"旋钮进行微调。实际输出信号的频率是刻度盘上的读数和倍率值的乘积，单位为 Hz。

(2)输出电压调节　用"输出调节"旋钮连续调节，或用两个"衰减调节"开关步级调节输出电压到须要值。

(3)负载匹配　当发生器与 50Ω、150Ω、600Ω，与 kΩ 四种阻抗匹配时，应将"阻抗匹配"旋钮置于相应的档位上，"内部负载"开关置于"断"位上。当发生器与高阻网路相匹配时，应先把"内部负载"开关置于"通"位上，再将"阻抗匹配"旋钮置于 600Ω 位置上。

(4)信号输出　在接地插孔上有一连接片，将此片的另一端连至"中心端"插孔时，在两个输出接线柱上就得到对称输出；若将连接片连至输出接线柱之一时，就得不到对称输出。

(5)输出电压的测量　用一根短的连接线将发生器的输出端与电压表的输入端连接，将"电压表量程"旋钮置于与被测电压相应的位置上，电压表指示即为输出电压值。

17.3　脉冲信号发生器

脉冲信号发生器常作为脉冲及数字电路的信号源，它能产生矩形脉冲信号。还广泛应用于测试视频放大器和其它宽频带电路的振幅特性、过渡过程以及器件的开关速度等。

1)脉冲信号发生器的工作原理

脉冲信号发生器的原理框图如图 8.1.1－65 所示。它主要由下面四个部分组成：

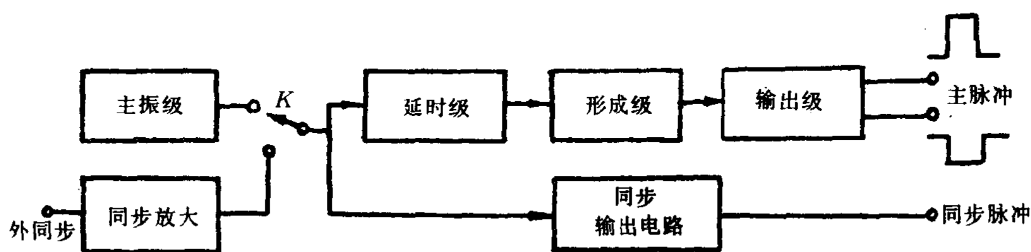


图 8.1.1－65　脉冲信号发生器的原理框图

(1)主振级　常采用射极耦合自激多激振荡电路。本电路决定发生器输出信号的重复频率，它具有高的频率稳定度和宽的频率调节范围。输出的脉冲信号具有陡峭的前沿及足够大的幅度。

(2)延时电路　常由积分电路及射极耦含双稳态电路构成。由本级决定延时时间，调节积分电容和电路的充电电流便可以改变延时的长短。

(3)形成级　常采用射极定时单稳态触发电路。在延时脉冲作用下，本级产生宽度准确、波形良好的矩形脉冲，改变定时电阻和电容可进行脉冲宽度的细调和粗调。

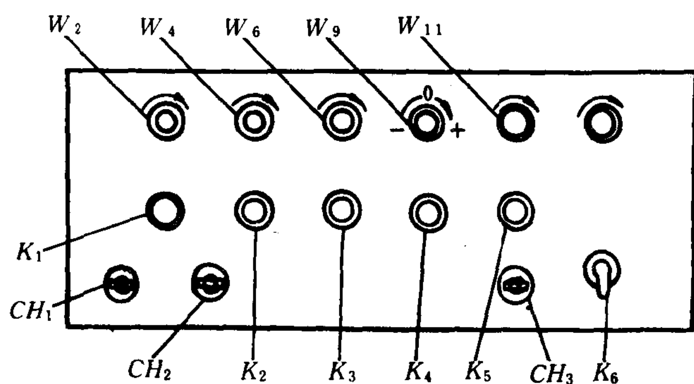


图 8.1.1－66　XC－2C 型脉冲信号发生器面板示意图

(4)输出级　它是一个脉冲放大器，由它决定输出脉冲的幅度和极性。

另外，仪器还附设外触发电路使之产生与外触发信号同频率的矩形脉冲。

2)XC－2C 型脉冲信号发生器的使用方法

本仪器面板控制机构如图 8.1.1－66 所示。

(1)仪器工作状态选择和频率粗调由转换开关 K_1 来实现，当仪器工作在内触发状态时，调节 K_1 及细调电位器 W_2 可实现重复频率从 1kHz 到 30MHz 的连续调整。K_1 有八个分档的调节范围。

若使仪器工作于外触发状态，K_1 应置于“外”位置，信号从插座 CH_1 加入。

(2)通过延时粗调开关 K_2 和细调电位器 W_4 可实现从 50ns 到 100μs 延时的连续调整。K_2 有八个分档调节范围。

(3)通过脉冲粗调转换开关 K_3 和细调电位器 W_6 可实现脉宽从 15ns 到 100μs 的连续调整。K_6 有八个分档的调节范围。

(4)通过转换开关 K_4 可使仪器有四种极性的脉冲输出，如图 8.1.1－67 所示。

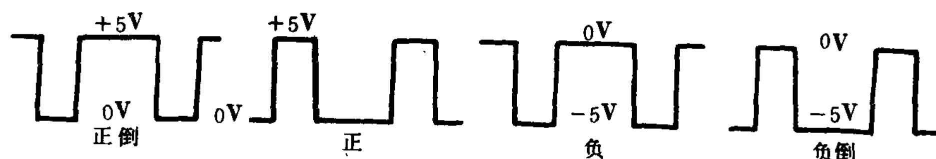


图 8.1.1－67　四种极性脉冲示意图

(5)调节偏移电位器 W_9，可改变输出脉冲对地的参考电平。W_9 置于中间位置时不偏移。

中间向逆时针旋转时偏负；顺时针旋转时偏正。偏移电平和输出幅度一样，按衰减 dB 数同时衰减。

(6)通过转换开关 K_5 和细调电位器 W_{11} 可实现输出脉冲幅度从 150mV 到 5V 的连续调整。K_5 有五个分档的调整范围。在所有的各档位，输出端必须接有 50Ω 的负载。信号从 CH_3 插座输出。

(7)仪器具有负极性前置同步脉冲(未被延迟，占空比约为 50%)，并从 CH_2 输出，以便使外部设备同步。其幅度不低于 1V，为能正常工作，应接 50Ω 的负载。

3)使用注意事项

(1)开机后应预热 15min，仪器方能正常工作。

(2)仪器的输出、前置输出和外触发输入的阻抗约为 50Ω，应注意匹配，不要引入容性或感性负载以免引起波形失真。

(3)仪器的输出，在空载使用时，幅度衰减转换开关 K_5 不可置于 0dB 档。

(4)使用时应注意不要使脉宽和延迟时间的总和超过周期的一半，否则仪器不能正常工作。

17.4 电子毫伏表

电子毫伏表是一种放大一检波式电子电压表，可用来测量正弦电压的有效值，也可利用峰值和有效值之间关系，测量其峰值。最常用的是 GB－9 型电子管毫伏表和 DA16 型晶体管毫伏表。

1)GB－9 型电子管毫伏表

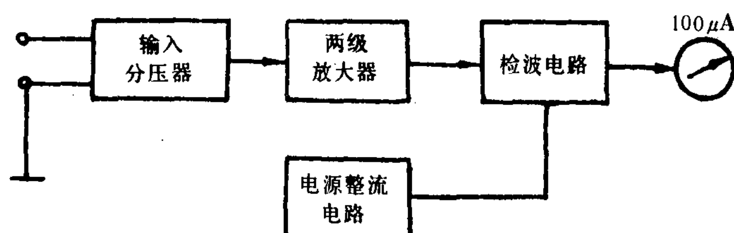


图 8.1.1－68 GB－9 型电子管毫伏表原理框图

GB－9 型电子管毫伏表的原理框图如图 8.1.1－68 所示。它由下列四部分所组成：

(1)输入分压器 由高阻值电阻网路和高频补偿电容组成。通过旋钮改变分压比来改变量程。

(2)放大器 由两级阻容耦合、电子管负反馈放大器所组成，其功能是提高仪表的灵敏度和输入阻抗。

(3)检波指示电路 包括一只双二极管及 RC 滤波网路组成的峰值检波电路、100μA 磁电系表头及静流补偿电路。检波电路把被放大的正弦信号，变换为反映其有效值的直流电流驱动表头指示。静流补偿电路用以调整表头的零点，以提高仪表的准确度。

2)DA16 型晶体管毫伏表

晶体管毫伏表结构紧凑，便于携带，工作原理与电子管毫伏表相似，常用的 DA16 型晶管毫伏表不仅用于测量交流电压，亦可通过传感机构进行非电量的测量，测量范围为 100μV～300V，频率范围为 20Hz～1MHz，基本误差±3%。

17.5 晶体管测试仪

晶体管测试仪是测量晶体管各项参数的仪器。最常用的测试仪是 JT－1 型晶体管特性图示仪。从其荧光屏上能直接观察各种晶体管的特性曲线，可测定晶体管的共射极、共基极和共

集电极接法的输入、输出和转移特性，β、α 参数特性，以及各种极限过荷特性等。可测定各种反向饱和电流、击穿电压。还可以测定二极管、稳压管、可控硅等的特性。

1)JT－1 型晶体管特性图示仪的基本工作原理

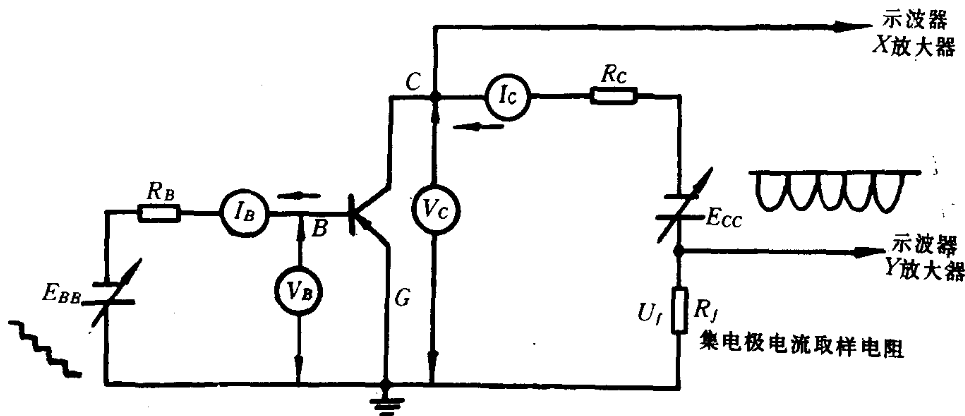


图 8.1.1－69　显示 PNP 三极管共射特性的原理电路图

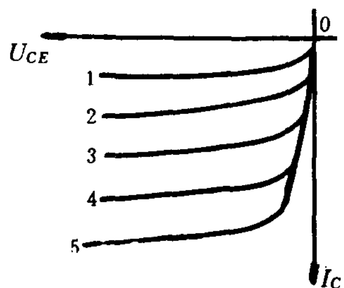


图 8.1.1－70

示波器显示出一族输出特性曲线

a)Ecc 扫描电压及 E_{BB}阶梯电压；b)一族输出特性曲线

显示 PNP 三极管共射极输出特性的原理如图 8.1.1－69 所示。在 $R_{BG} \ll R_B$ 的情况下，则 $I_B \approx \frac{E_{BB}}{R_B}$，在 I_B 一定的情况下，E_{cc} 周期性变化（扫描），I_c 将随 V_c 的变化而变化。R_f 取样于 I_c，U_f 将线性地表征 I_c。若将 V_c 送到示波器的 X 轴放大器，U_f 送到 Y 轴放大器，则按示波原理，示波管的荧光屏上将显示出一条在 I_B 一定的情况下的输出特性曲线，即 $I_c = f(V_c)/I_B$。若 E_{BB}是阶梯规律变化，而且与 E_{cc}的扫描电压同步，则荧光屏上将显示出一族输出特性曲线。如图 8.1.1－70 所示。如果 R_c 足够大，E_{cc}扫描速度足够快，将能非破坏性地测定诸如击穿电压、最大集电极电流等过荷特性。

JT－1 型晶体管特性图示仪由阶梯波发生器、阶梯放大器、集电极扫描电源发生器、主电源供给电路、高频高压示波管控制电路、偏转作用开关等构成。其原理框图如图 8.1.1－71 所示。

从原理框图可见，加到示波管水平放大器的电压、电流，除了上述晶体管集电极电压 U_c 外，还可以是其它如基极电压、基极电流、基极源电压、外接电压等。加在示波管垂直方向的电压、电流除了晶体管集电极电流 I_c（实为取样电阻上的电压）外，还可以是基极电压、基极电流或基极源电压、外接电压等。显然，加在示波器的 X 轴与 Y 轴上的量不同，则在荧光屏上显示出不同的器件特性。所以，JT－1 型图示仪具有多种测量用途。例如，X 轴加基极电压，Y 轴加基极电流，便可测试出晶体管的输入特性。

2)JT－1 型晶体管图示仪的使用方法

(1)面板控制简介

面板控制装置是为实现各种不同的测试而设置的，它按仪器的组成划分为六个单元：

①示波管及其控制部分　控制荧光屏上光点的亮度、聚焦以及标尺的亮度。

②Y 轴作用部分　选择加到 Y 轴放大器的信号、灵敏度及位移等。

③X 轴作用部分　选择加到 X 轴放大器的信号、灵敏度及位移等。

④集电极扫描信号部分　对共射极接法而言，选择集电极回路扫描信号的形式、大小、及其回路的限流电阻等。

⑤阶梯发生器部分　对共射极接法而言，选择基极回路的信号方式、大小及其限流电阻等。

⑥晶体管测试台部分　用于插接被测晶体管和选择接地方式等。

应该注意：面板标志的全部文字含义均按发射极接地的晶体管参数命名的，当被测晶体管按其它接地方式时，则面板标志的文字含义应按表 8.1.1－4 的内容来理解。

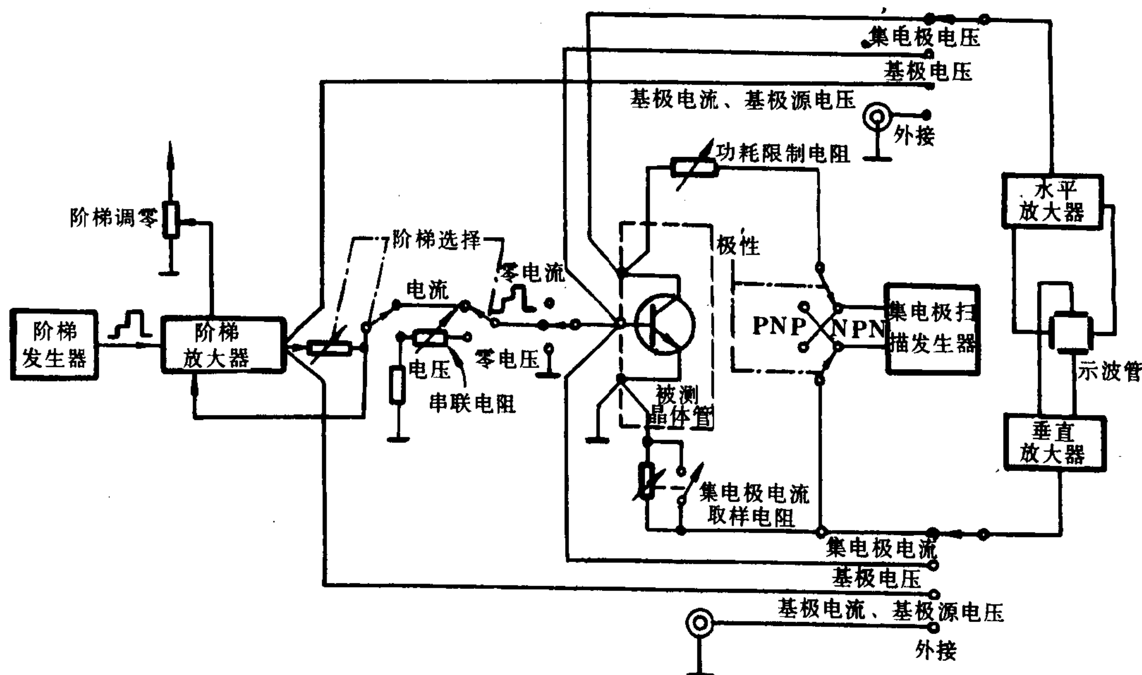


图 8.1.1－71　JT－1 型晶体管特性图示仪原理框图

表 8.1.1－4

面板标志的文字含义

有关参数 \ 连接方式	发射极 E 接地	基极 B 接地	集电极 C 接地
Y 轴作用集电极电流	集电极电流 I_c	集电极电流 I_c	发射极电流 I_E
Y 轴作用基极电压	基极电压 U_B	发射极电压 U_E	基极电压 U_B
X 轴作用集电极电压	集电极电压 U_C	集电极电压 U_C	发射极电压 U_E
X 轴作用基极电压	基极电压 U_B	发射极电压 U_E	基极电压 U_B
基极阶梯信号	基极阶梯信号	发射极阶梯信号	基极阶梯信号
集电极扫描信号	集电极扫描信号	集电极扫描信号	发射极扫描信号

(2)使用步骤

JT－1 型晶体管图示仪的开关、旋钮较多，相互联系密切，使用较复杂。开关、旋钮的调节依据是被测特性的函数关系。由此来决定被测管子的插接、应加的测试信号形式和大小，以及 X 轴和 Y 轴取样哪个端点的信号。因此，为了能按要求进行正常的测试，在测试前必须了解仪器的基本测量原理，熟悉使用方法，了解晶体管的大致性能、规格和测试条件。测试中切记，除了进行极限参数的测量外，测试信号应严格地限制在各极限参数以内，且应从低量程慢慢地提

高直到满足要求。测试极限参数时，一定要配合足够大的功耗限制电阻。

①开启电源，预热 5min。

②示波管部分：调整标尺亮度旋钮，到标尺网络清晰止。调整辉度使亮度适中。调整聚焦与辅助聚焦，至线条或光点清晰止。

③基极阶梯调零　有正、负之分。对共射极接法，PNP 管阶梯为负；NPN 管阶梯为正。

正阶梯调零时，极性正，阶梯形信号正，Y 轴作用开关置于"基极电流或基极源电压"。X 轴作用开关置于集电极电压 1V/度，阶梯选择开关置于 110.1V/级"，阶梯作用开关置于"重复"，调峰值电压至 5～10V 左右，当荧光屏上观察到基极阶梯信号后，将 X 轴作用放大器校正置于"零点，"调其位移旋钮，使阶梯信号的最低的一条置于零线 上。再将 X 轴作用放大器校正旋钮复位，再调节阶梯调零电位器，使阶梯信号(零信号)在 Y 轴零线上。

负阶梯信号调零时，方法与上述相同，只是极性用负，阶梯用负，零线以族线上面的一条为准。

④集电极扫描　将集电极扫描的全部旋钮(峰值电压范围、极性、峰值电压、功耗限制电阻等)调到所需要的范围。

⑤Y 轴作用　将 mA－V/度与倍率调到所需的读测范围。

⑥X 轴作用　将 V/度调到所需的读测范围。

⑦基极阶梯信号　将极性、串联电阻、阶梯选择 mA/级或 V/级调到需要读测的范围，阶梯作用置于"重复"、"关"或"单族"。根据需要选择级 /秒，一般选 200 级/秒为宜。

⑧测试台　将接地开关置于需要位置，然后插上被测晶体管，调峰值电压等，此时有曲线显示，再经过 Y 轴、X 轴、阶梯三部分的适当调整，即能进行测量。

⑨集电极扫描、基极阶梯信号不能随便调节，要视管子的极限参数而定，否则容易损坏管子和仪器。

⑩测试完毕后，关闭电源，将集电极峰值电压范围置于 0～20V，峰值电压置于零，功耗电阻至 1kΩ，Y 轴作用至 1mA/度，X 轴作用至 1V/度，基极阶梯电压信号至 0.1mA/级，阶梯作用至"关"。

18　部分船用电表的规格数据

18.1　13、45 系列船用电表(见表 8.1.1－5)

表 8.1.1－5　**13、45 系列船用电表**

型　号	名　称	准确度等级	测　量　范　围	附　注
13C1－A (45C1－A)	直流电流表	1.5	直接接入：0～1、3、5、7.5、10 15 30 60mA；5、10A 配 75mV 分流器：0～5、10、15、20、30、50、75、100、150、200、300、500、750A：1、1.5、2、3、4、5、6、7.5KA	每个测量范围又分单、双方向两种
13C1－V (45C1－V)	直流电压表	1.5	直接接入：0～30、50、150、300、350、500V	每个测量范围又分单双方向两种

续上表

型号	名称	准确度等级	测量范围	附注
13C1－V (45C1－V)	直流电压－兆欧表	1.5	直接接入:0～150、250、300V,绝缘电阻有效量程均为0.1～1MΩ	
13D1－A (45D1－A)	交流电流表	2.5	直接接入:0～5、10、20、30、50、A 经次级电流为5A的电流互感器:0～5、10、20、30、50、75、100、150、200、300、400、600、750A;1、1.5、2、3、4、5、6KA 额定频率分50、400、427Hz三种	
13D1－V (45D1－V)	交流电压表	2.5	直接接入:0～30、150、250、450V 经380/100、380/127V电压互感器接入:0～450V 额定频率分50、400、427Hz三种	
13D1－Hz (45D1－Hz)	频率表	2.5	对127、220V,直接接入:45～55,350～450,380～480Hz 对380V,经380/100、380/127V电压互感器接入:45～55,350～450,380～480Hz	45～55Hz附FY50型附加装置;350～450,380～480Hz附FY58型附加装置
13D1－W (45D1－W)	三相功率表	2.5	额定频率50、400,或427Hz:参见表8.1.1－8	
13T1－cosφ (45T1－cosφ)	三相功率因数表	2.5	额定频率50、400或427Hz:$0_{容性}$～1～$0_{感性}$ 电压线圈:对127、220V直接接入;对380V,经380/100、380/127V电感互感器接入 电流线圈:经次级电流为5A的电流互感器接入	
13T1－S (45T1－S)	整步表	±3°	额定频率50、400或427Hz 对127、220V,直接接入;对380V,经380/100、380/127V电压互感器接入	
13C1－MΩ (45C1－MΩ)	交流高阻表	2.5	额定频率50、400或427Hz:0～5MΩ,有效量限0.01～1MΩ 对127、220V,直接接入;对380V经380/100、380/127V电压互感器接入	附FY69型附加装置

18.2 51系列船用电表(见表8.1.1—6)

表8.1.1—6　　51系列船用电表

型号	名称	准确度等级	测量范围	附注
51C2—A	直流电流表	1.5	直接接入:0～5、10、15A 配75mV分流器:0～5、10、20、30、50、75、100、150、200、300、500、750A;1、1.5、2、3、4、5、6KA	每个测量范围又分单、双方向两种
51C2—V	直流电压表	1.5	直接接入:0～30、50、150、250、350、500、750V	每个测量范围又分单、双方向两种
51D1—A	交流电流表	2.5	直接接入:0～5、10、20、30、50A经次级电流为5A的电流互感器接入:0～5、10、20、30、50、75、100、150、200、300、400、600、750A;1、1.5、2、3、4、5、6KA	
51D1—V	交流电压表	2.5	直接接入:0～30、150、250、450V经380/100、380/127V电压互感器接入:0～450V	
51D1—Hz	频率表	2.5	对127、220V,直接接入:45～55Hz 对380V,经380/100、380/127V电压互感器接入:0～450V	附FY50型附加装置
51D1—W	三相功率表	2.5	参见表8.1.1—8	
51T1—cosφ	三相功率因数表	2.5	$0_{容性}$～1～$0_{感性}$ 电压线圈:对127、220V,直接接入;对380V,经380/100、380/127V电压互感器接入 电流线圈:经次级电流为5A的电流互感器接入	
51T1—S	整步表	±3°	对127、220V,直接接入;对380V,经380/100、380/127V电压互感器接入	
51C2—MΩ	交流高阻表	2.5	0～5MΩ,有效量限0.01～1MΩ 对127、220V,直接接入;对380V,经380/100、380/127V电压互感器接入	附FS1型附加整流装置
51D1/1—A	中频电流表	2.5	额定频率400或427Hz时: 直接接入:0～5,10、20、30、50A 经次级电流为5A的电流互感器:0～5、10、20、30、50、75、100、150、200A	
51D1/1—V	中频电压表	2.5	额定频率400或427Hz时 直接接入:0～150、250V	

续上表

型　　号	名　称	准确度等级	测　　量　　范　　围	附　　注
51D1/1－Hz	中频频率表	2.5	对115、230V，直接接入：350～450，380～480Hz	附 FY58 型附加装置
51C1－A	直流电流表	1.5	直接接入：0～5、10、15A 配75mV分流器：0～5、10、15、20、30、50、75、100、150、200、300、500、750A；1、1.5、2、3、4、5、6kA	水密式、凸出安装的开关板式表，每个测量范围又分单、双方向两种
51C1－V	直流电压表	1.5	直接接入：0～30、50、150、250、350、500V	

18.3　19系列船用电表(见表8.1.1－7)

表8.1.1－7　　**19系列船用电表**

型　　号	名　称	准确度等级	测　　量　　范　　围
19C2－A	直流电流表	1.5	配75mV分流器：0～5、10、20、30、50、75、100、150、200、300、500、750A；1、1.5、2、3、4、5、6kA；每个测量范围又分单、双方向两种
19C2－V	直流电压表	1.5	直接接入：0～30、50、150、250、350、450V；每个测量范围又分单、双方向两种
19T1－A	交流电流表	2.5	直接接入：0～5、10、20、30、50、75、100、150、200A 经次级电流为5A的电流互感器接入：0～5、10、20、30、50、75、100、150、200、300、400、500、600、750A；1、1.5、2、3、4、5、6kA
19T1－V	交流电压表	2.5	直接接入：0～15、30、50、150、250、300、450、600V 经380/127V电压互感器接入：0～450V
19T1－S	整步表	±3°	对127、220V，直接接入；对380V，经380/127V，电压互感器接入
19D1－Hz	频率表	0.5	对110V，直接接入；对127、220、380V，经次级电压为100V的电压互感器接入：45～55，55～65，180～220，450～550Hz
19D1－cosφ	三相功率因数表	2.5	(1)0.9$_{容性}$～1～0.1$_{感性}$ 电压线圈：对127、220、380V，直接接入 电流线圈：经次级电流为5A的电流互感器接入 (2)0.5$_{容性}$～1～0.5$_{感性}$ 电压线圈：对127、220V，直接接入；对380V经380/127V电压互感器接入 电流线圈：经次级电流为5A的电流互感器接入
19D1－W	三相功率表	2.5	参见表8.1.1－10

续上表

型　　号	名　称	准确度等级	测　　量　　范　　围
19D1－Uar	三相无功功率表	2.5	参见表 8.1.1－10
19C1－A	直流电流表	1.5	同 19C2－A
19C1－V	直流电压表	1.5	同 19C2－V

18.4　62T51 系列船用电表(见表 8.1.1－8)

表 8.1.1－8　　62T51 系列船用电表

型　　号	名　称	准确度等级	测　　量　　范　　围	附　　注
62T51－A	交流电流表	2.5	直接接入:0～100、300、500mA;1、2、3、5、10、20、30、50A 经次级电流为 5A 的电流互感器接入:0～10、20、30、40、75、100、150、200、300、500、1000、1500A	适用于 50、60、400、427、500、800、1000、1200、1500Hz 回路
62T51－V	交流电压表	2.5	直接接入:0～30、50、150、250、460V	适用于 50、60、400、427、500、800、1000、1200、1500Hz 回路
62T51－Hz	频率表	2.5	对 110、127、220、380V,直接接入:45～55,380～480,450～550,950～1050,1450～1550Hz	外附专用附加阻抗器

18.5　13D1－W、45D1－W、51D1－W 型功率表测量范围(见表 8.1.1－9)

表 8.1.1－9　　13D1－W、45D1－W、51D1－W 型功率表的测量范围(kW)

额定电流(A)(经次级电流为 5A 的电流互感器接入)	额定线电压(V)		
	127(直接接入)	220(直接接入)	380(经 380/127、380/100V 电压互感器接入)
5	1	2	3
7.5	1.5	3	5
10	2	4	6
15	3	6	10
20	4	8	12
30	6	12	20
40	8	15	25

续上表

额定电流 (A) (经次级电流为5A的电流互感器接入)	额定线电压 (V)		
	127 (直接接入)	220 (直接接入)	380(经380/127、380/100V电压互感器接入)
50	10	20	30
75	15	30	50
100	20	40	60
150	30	60	100
200	40	80	120
300	60	120	200
400	80	150	250
600	120	250	400
750	150	300	500
1000	200	400	600
1500	300	600	1000
2000	400	800	1200
3000	600	1200	2000
4000	800	1500	2500
5000	1000	2000	3000
6000	1200	2500	4000

18.6 19D1－W、19D1－Var型三相功率表的测量范围(见表8.1.1－10)

表8.1.1－10 **19D1－W、19D1－Var型三相功率表的测量范围**

额定电流(通过次级电流为5A的电流互感器接入)	额定电压(V)					
	127 (直接接入)		220 (直接接入)		380(通过电压互感器380/127V,或直接接入)	
	kW	Kvar	kW	Kvar	kW	Kvar
5	1	0.8	2	1.5	3	2.5
7.5	1.5	1.2	3	2.5	5	4
10	2	2	4	3	6	5
15	3	2.5	6	5	10	8
20	4	4	8	6	12	10
30	6	5	12	10	20	15
40	8	8	15	12	25	20
50	10	10	20	15	30	25
75	15	12	30	25	50	40
100	20	20	40	30	60	50

续上表

额定电流（通过次级电流为5A的电流互感器接入）	额定电压(V)					
	127（直接接入）		220（直接接入）		380（通过电压互感器380/127V，或直接接入）	
	kW	Kvar	kW	Kvar	kW	Kvar
150	30	25	60	50	100	80
200	40	40	80	60	120	100
300	60	50	120	100	200	150
400	80	80	150	120	250	200
600	120	100	250	200	400	300
750	150	120	300	250	500	400
1000	200	200	400	300	600	500
1500	300	250	600	500	1000	800
2000	400	400	800	600	1200	1000
3000	600	500	1200	1000	2000	1500
4000	800	600	1500	1200	2500	2000
5000	1000	800	2000	1500	3000	2500
6000	1200	1000	2500	2000	4000	3000

参考文献

[1] 作者：林正馨，电工仪表和测量，电力工业出版社，81年5月

[2] 作者：黄伦坤，船舶电站及其自动装置，人民交通出版社 81年6月

[3] 作者：施亿生，船舶电站，国防工业出版社 81年5月

[4] 作者：上海航道局，船舶电工手册上册，上海人民出版社 75年4月

[5] 作者：何文兴，常用电子仪器的原理、使用和维护，冶金工业出版社，79年12月

第2章　船用电机

1　直流电机

1.1　基本工作原理

直流电机实质上是一种装有换向器的交流电机，通过换向器和电刷来实现使外电路的直流电与电枢绕组中的交流电之间的相互转换，同时通过静止气隙磁场来实现电枢绕组中的交流电能与转轴上机械能之间的相互转换。当原动机驱动直流电机的电枢旋转而输入机械功率时（发电机状态），则电枢绕组将切割气隙磁场而感生交流电，通过电刷与换向器的换向作用，将其转换为直流电输出电功率，若将直流电通过电刷与换向器的换向作用转换成电枢绕组的交流电而输入直流电功率时，则载流电枢绕组将与气隙磁场相互作用，产生电磁转矩而使电枢旋转，输出机械功率（电动机状态）。

1.2　基本结构

直流电机是由定子、转子及其它零部件所组成。

1.2.1　定子：直流电机的定子是产生磁场的部件，它由以下几部分组成。

机座：它不仅是电机的外壳，同时又是电机磁路的一部分（即磁轭8），由铸钢或钢板焊成，具有良好的导磁性能和机械强度。

磁极：包括极身1和极靴3（极掌）两部分，如图8.1.2－1a）所示。极靴较极身宽，表面呈弧状，以使磁极下面的磁通分布均匀，而且可以使励磁绕组2固定在极身上。为了减少涡流造成的铁损耗，其铁芯由1～2mm厚的普通钢板迭成。

在主极之间装有换向极4（又名中间极）其绕组5套在极身上，以改善换向。对于1kW以下的小型或微型直流电机可不装换向极。

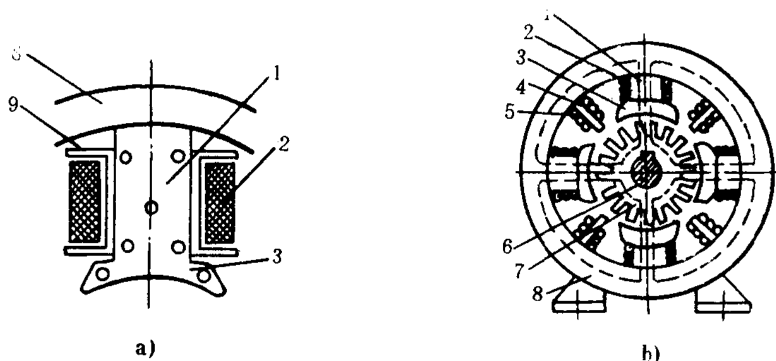


图8.1.2－1　磁极的结构和磁路分布

a）磁极的结构；b）磁路的分布

励磁绕组：在励磁绕组2中通入直流电，在电机中即产生主磁通，励磁绕组绕制在框架9

上，属于集中绕组并套在磁极铁芯上，磁路分布如图 8.1.2—1b)所示。

1.2.2　转子：即电枢部分。它由电枢铁芯 7、绕组、换向器、转轴 6 和风叶等组成。

1.2.2.1　电枢铁芯和绕组：电枢铁芯是一圆柱体，其表面有均匀分布的齿和槽，为了减小磁滞和涡流损耗，它一般由相互绝缘的 0.5mm 厚的硅钢片所迭成。电枢铁芯的槽内嵌放绕组元件，各绕组元件的两端都各与相应的换向片(铜片)连接。电枢绕组沿电枢圆周均匀分布。

按连接方式不同电枢绕组主要分为迭绕组与波绕组两种。

为了解电枢绕组的连接方法及特点，必须熟悉以下几个关系：

1)实槽数 Z 和虚槽数 Z_i

$$Z=\frac{S}{V_x}$$

$$Z_i=U_xZ_1=S=K$$

式中：S ——绕组元件数；

U_x——每一槽中的元件数；

K——换向片数。

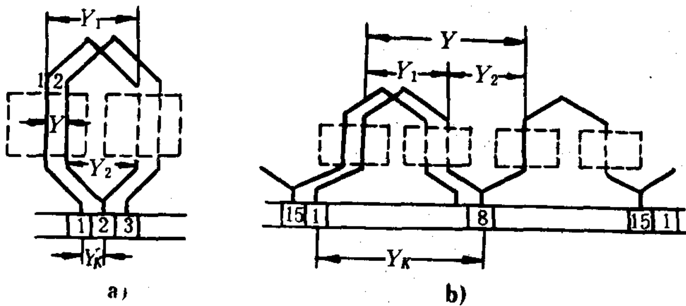


图 8.1.2—2　绕组的节距

a)单迭绕组；b)单流绕组

绕组元件分两层放置在铁芯槽中，每一层总有几个元件边，因此槽数比元件数少。为了说明与计算方便，可看成每个实槽中有几个虚槽。

2)绕组的节距

节距是指被连接起来的两个元件边或换向片之间的距离，它可用槽数或换向片数表示。

节距分为第一节距 y_1、第二节距 y_2、合成节距 y 与换向器节距 y_K。见图 8.1.2—2 及表 8.1.2—1。

表 8.1.2—1　**直流电机的节距**

绕组名称	合成节距与换向器节距	第一节距	第二节距	支路数	适用范围
代表符号	$y=y_K$	y_1	y_2	2a	
单迭	±1	$\frac{Z}{2P}\pm\varepsilon$	y_1-y	2P	几百千瓦正常电压电机或小功率二极电机
复迭	±m	$\frac{Z}{2P}+\varepsilon$	y_1-y	2mP	低电压大电流电机
单波	$\frac{K\mp1}{P}$	$\frac{Z}{2P}\pm\varepsilon$	$y-y_1$	2	几十千瓦、电压为 110V220V 正常电压电机
复波	$\frac{K\mp m}{P}$	$\frac{Z}{2P}\pm\varepsilon$	$y-y_1$	2m	几百千瓦和较高电压的电机

表中 Z 为实槽数；P 为极对数；m 为重路数即处于同一主极下 S/2P 个元件组成的并联支路数；ε 为使 y_1 凑成整数的分数。y=+1 为右行；y=−1 为左行；迭绕组多为右行。

船用电机多为单迭和单波绕组。复迭与复波绕组多用于特种电机，以下仅以单迭和单波绕

组为例说明直流电机的绕组结构及其内部电路。

3)单迭绕组的展开图

如已知绕组数据：2P＝4；Z＝S＝K＝20

$$y_1=\frac{Z}{2P}\pm\varepsilon=\frac{20}{4}=5$$

$$y=y_K=1\text{（为右行绕组）}$$

$$y_2=y_1-y=5-1=4。$$

其展开图如图 8.1.2—3 所示

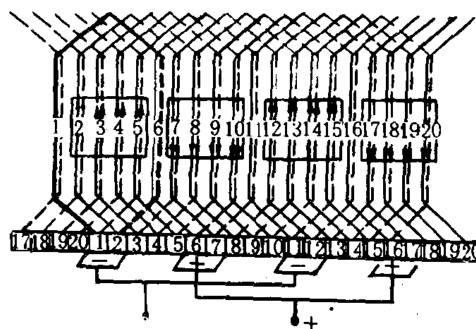


图 8.1.2—3　单迭绕组（右行）展开图

先将转子槽数编号，然后将换向器编号。其方法是将 1 号元件的始边（即上层边）放在 1 号槽的上层，其末边放在 6 号槽的下层，因为 1 号元件所接的两个换向片的分界线应恰好与 1 号元件的轴线重合，所以 1 号元件的上层边接在分界线左边的换向片上，此换向片为 1 号，分界线右边的换向片为 2 号。再沿右行方向依次将其余的换向片编号。编号完毕后，即可进行放置槽绝缘和下线工作。

为了接线方便，可用接线表来表示，如图 8.1.2—4 所示

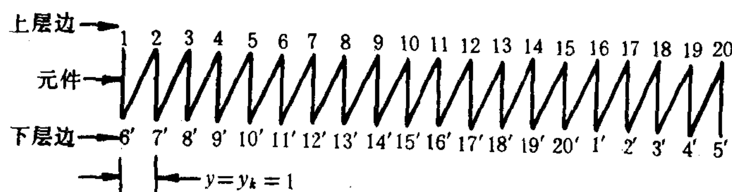


图 8.1.2—4　接线表

电刷的位置是根据正负电刷之间得到最大电压这一原则来确定的。因此电刷应该与几何中性线上的元件边所连接的换向片相接触，而电刷的实际几何位置刚好在极中心（几何中性线是主极极间分界线，该处主磁通为零，元件空载感应电势为零）。由于被短接的元件电势为零，这样就不会引起大的短路电流，整流的火花也最小，电刷的极性由元件感应电势的方向而定，指向电刷的为正，它们的正负极性交替随磁极的 N、S 的交替而变化。电刷的数目等于主极的数目。其宽度为 1.5～3.0 个换向片宽度。

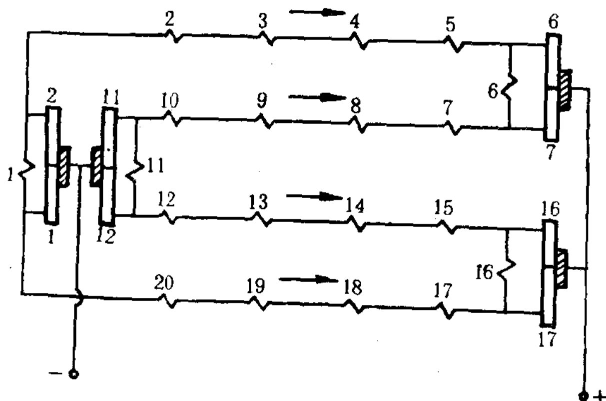


图 8.1.2—5　单迭绕组并联支路图

在图 8.1.2—5 所示的瞬间位置，从电刷端看绕组时，电枢绕组元件成为四条并联支路。电枢旋转时，元件的位置随之移动，被电刷短路的元件也交替更换，但从电刷两端看绕组时，仍旧是一个四路并联支路。

4)单波绕组的展开图

如已知绕组数据为：2P＝4，Z＝S＝K＝15

$$y_1=\frac{Z}{2P}\pm\varepsilon=\frac{15}{4}-\frac{3}{4}=3$$

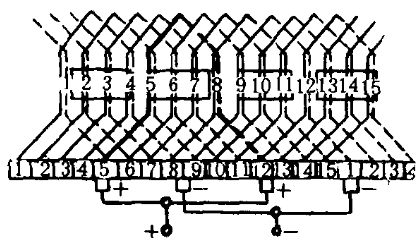


图 8.1.2－6　单波绕组(左行)展开图

$$y=y_k=\frac{K-1}{P}=\frac{15-1}{2}=7$$

$$\left(y_K=\frac{K-1}{P}\text{为左行}, y_k=\frac{K+1}{P}\text{为右行}\right)$$

$$y_2=y-y_1=7-3=4$$

其展开图如图 8.1.2－6 所示。

单波绕组和单迭绕组的不同点在于它的每一绕组元件的出发点和终止点并不位于同一极面下，而是近似相隔两个极距，即 $y_K \approx K/P$ 或 $y \approx 2\tau$（τ 为极距），这样相串联的元件中的电势就可以加起来。从图 8.1.2－3 和图 8.1.2－5 中可以看出，迭绕组的始边末边接在相邻的换向片上，而波绕组则接在相距两个极距的换向片上。

单波绕组的并联支路数为 2(见图 8.1.2－7)。这样单波绕组就只需两个电刷，便可引出或送入电流，为了保持电刷的电流密度不变和对换向不致产生不良影响，除小型电机外，电刷数仍等于极数。

此外，单迭绕组的支路数为 2P，即与极数相同，这也是它与单波绕组的不同点。

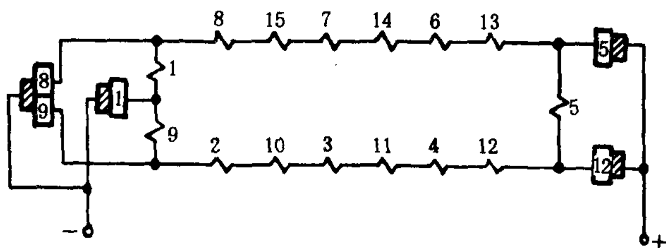


图 8.1.2－7　单波绕组并联支路图

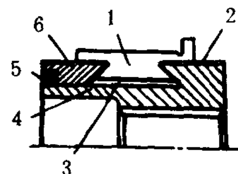


图 8.1.2－8　换向器的结构

1.2.2.2　换向器

换向器又称整流子，因为电枢内的电流是交变的，只有通过换向器才能与外部直流电路连接，这一点不论是发电机还是电动机都是如此。换向器是由换向片(铜片)1、云母片 3、V 形绝缘环 2、压圈 6 和紧固件(螺帽 5 和套筒 4)组成。如图 8.1.2－8 所示。在电机运行中，它既要传导电流，又要承受离心力和热应力的作用。因此要具有足够的强度和刚度。常用的船用直流电机的换向器是套筒式的。目前有些小型电机已采用塑料代替云母的换向器，这样可以节约大量铜材和云母，并简化了加工工艺。

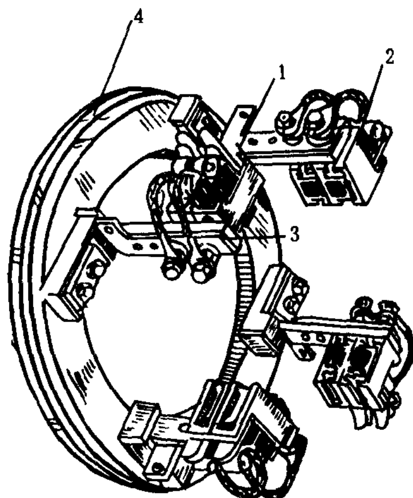


图 8.1.2－9　电刷装置

1.2.3　其它部件

1.2.3.1　电刷装置

电刷装置由电刷 1、刷握 2、刷杆 3 和刷杆座 4 等零件组成。如图 8.1.2－9 所示。

中小型电机的刷杆座装在端盖或轴承内盖上，大型电机的刷杆座则固定在机座上。

直流电机大多采用电化石墨电刷，低压大电流的电机如充电、电镀和柴油机起动用的电机则采用金属石墨

电刷。

1.2.3.2 端盖：一般用铸铁制成，有前端盖和后端盖两部分，其中后端盖设有观察窗，可检查电刷的火花大小。端盖通常作为转子的支承和安装轴承用，大型电机的轴承是装在轴承座上。中小型电机采用滚动轴承，大型和部分中型电机采用座式滑动轴承。

1.3 按励磁方式分类

按照励磁方式直流电机可分为两大类：即他励式和自励式。前者由独立的另外的电源励磁，后者则是由发电机本身供给励磁电流或者其励磁绕组与其电枢由同一电源供电（当作为电动机工作时），自励式直流电机按其励磁绕组与电枢绕组连接的方式不同又可分为并励（分励）、串励和复励三种励磁方式。

图 8.1.2—10 为这几种励磁方式的直流电机的电路图。

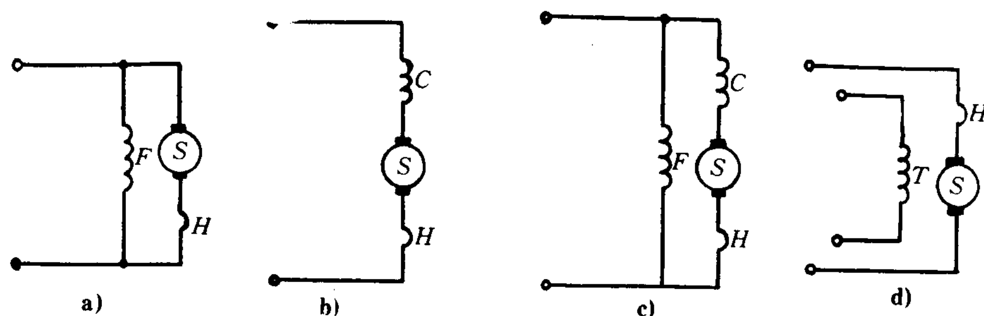


图 8.1.2－10 直流电机的电路图

a）并励；b）串励；c）复励；d）他励

对于发电机来说，因串励发电机的励磁电流就是电枢电流，所以其端电压随负载的变化而改变，除了少数特殊用途如作升压机用之外，一般不予采用。复励发电机是直流发电机的主要形式，而并励电动机则应用十分广泛。

1.4 电势与电磁转矩

当电机的极对数为 P，元件数为 S，每个元件有 W_a 匝，绕组共有 a 对支路，导体 $N=2SW_a$ 根，则在电刷处于中性位置时，其电枢电势可按下式求得：

$$E_a=C_e\Phi n \quad V$$

式中：$C_e=\frac{PN}{60a}$——电势常数；

N——电枢绕组总的有效导体根数；

a——并联支路对数；

Φ——每极气隙磁通，Wb；

n——电枢转速，r/min。

电枢电势的极性根据磁场极性与旋转方向按右手定则决定，若二者只变其一，则电势极性改变，若二者同时改变，则电势极性不变。

当电枢由原动机驱动旋转时，电枢电势为发电机电势。当电机由电源供电作电动机工作时，电枢电势为反电势（对电源的极性而言）。

根据电磁力定律，处于气隙磁场中的载流电枢绕组的各个元件边都将受到切向电磁力作

用，当电刷处于中性位置时，通过电刷的总电流为 I_a，则电磁转矩 T_{em} 可按下式求得：

$$T_{em}=C_T \varnothing I_a \qquad N \cdot m$$

式中：$C_T=\frac{PN}{2\pi a}$——转矩常数。

电磁转矩同时作用在电枢和主极上，其大小相等，方向相反。

电枢上电磁转矩的方向根据磁场极性与电枢电流的方向按左手定则决定，二者只变其一，则转矩方向改变；二者同时改变，转矩方向不变。

电机工作于电动机状态时，当通以电流后产生电磁转矩克服负载的阻转矩，以转速 n（角速度 ω）旋转，电磁转矩与转速同方向称为转动转矩。电机工作于发电机状态时，其电磁转矩与转速 n 方向相反为阻转矩。转矩 T_{em} 和角速度 ω 的乘积为电磁功率，按电磁功率相等的原则 $T_{em} \cdot \omega = E_a I_a$，电磁转矩是由电磁功率转换来的。

1.5 电枢反应

负载时，电枢绕组中的电流将产生电枢磁势，电枢磁势轴线所在的空间位置随电刷的移动而偏移，其空间分布为三角形，实际上电枢电流集中在槽内，其空间分布应为阶梯形，如图 8.1.2—11 所示。

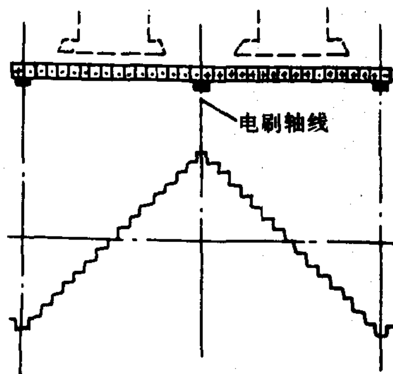


图 8.1.2—11 电枢磁势的空间分布

气隙磁场是由励磁绕组产生的主极磁势和电枢绕组的电枢磁势共同建立的，电枢磁势对主极磁场的影响称为电枢反应。电枢磁势按其轴线所在空间位置和对气隙磁场影响的不同，有交轴电枢磁势和直轴电枢磁势。直轴与主极中心线重合，交轴与极间几何中心线重合，交轴与直轴间夹角为 90°电角度。交轴和直轴电枢磁势对气隙磁场的影响，分别称为交轴电枢反应和直轴电枢反应。

交轴电枢反应的影响是：

1）使气隙磁场发生畸变，主极中心线一侧极靴下的磁场增强，另一侧减弱，如图 8.1.2—12 所示。气隙磁场的零点从空载时的几何中性线移至负载时的物理中性线，并使同一主极下各个元件边的感应电势不等，从而导致换向片间电压分布不均。

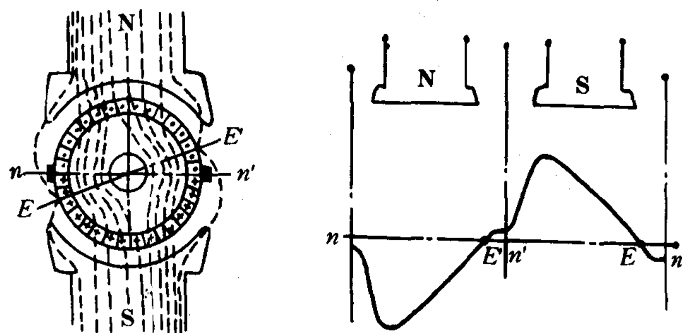


图 8.1.2—12 负载时气隙磁通畸变

2）在磁路不饱和的情况下，主极中心线两侧的气隙磁通的增减量相等，有效磁通不变。但当磁路饱和时，中心线一侧的增加量小于另一侧的减小量，从而使有效磁通减少而呈现去磁效应。这种去磁效应使发电机的电势降低；而在电动机中则会使转速增高（因反电势降低）。

交轴电枢反应所造成的不良后果可采用补偿绕组予以补偿，或采用主极极靴削角等方法加以抑制。

由于电刷在几何中性线上，所以直轴电枢反应不会造成气隙磁场畸变，它对气隙磁场的影

响是去磁或增磁，视电刷的位移方向和电机的工作状态而定，见表8.1.2－2。

表8.1.2－2　　直流电机的移刷效应

电机的工作状态	顺转向移刷	逆转向移刷
发电机	去　磁	增　磁
电动机	增　磁	去　磁

为了获得所要求的性能，有时利用其去磁或增磁效应而适当少量移动电刷。

1.6　换向及改善换向的方法

换向是指旋转的电枢绕组元件从一个支路进入到另一个支路时，在电刷使之短接的过程中，元件内电流方向所发生变化的现象。

通常在换向结束时的瞬间会在换向片离开电刷处出现火花。电刷下的微弱火花对电机运行并无危害，但达到一定程度后会烧灼换向片和电刷，使其表面粗糙和留有灼痕，这样又会使火花增大产生恶性循环致使电机不能正常运行，尤其是在某些不利条件下，正负电刷间形成“环火”，将使电机受到严重损坏。换向时产生火花主要是电磁原因，此外某些机械原因如电机振动、换向器偏心、凸片、刷握中弹簧压力不当、电刷在刷握中跳动、电刷与换向器滑动接触的化学与电离作用的影响等对形成换向火花也有关系。

改善换向的方法主要有以下几种：

1）装置换向极

换向极装在主极之间的交轴上，与主极成90°电角度，其极数一般与主极极数相同。由于位于主极之间故又称为中间极或间极。在发电机中，换向极的极性应与沿旋转方向前面即将进入的主极极性相同，在电动机中则相反。换向极的作用在于抵消交轴电枢反应磁势，换向极绕组必须与电枢绕组串联，其磁势应与负载电流成正比。换向极气隙应较大，使其磁路处于低饱和状态，以提高磁路的线性度。

2）装置补偿绕组

在中大型电机中普遍采用补偿绕组。补偿绕组分布于主极极靴上的补偿槽内，并与电枢绕组串联，其磁势方向与电枢反应磁势相反。这样在主极极靴范围内和相邻主极之间的电枢磁势可由补偿绕组和换向极绕组的合成磁势予以补偿。因此带有补偿绕组的电机，在负载运行时，其气隙磁场基本上不发生畸变，因而具有较大的运载能力。

3）选用接触压降较大，特别是伏安特性较陡的电刷也可以有效地改善换向。

4）叠片机座

当电机负载变化较大或用整流的脉动电源供电时，换向极磁路中的机座、换向极铁芯以及换向极垫片等零部件内将产生涡流，由于涡流的阻尼作用使电机换向性能恶化，因此采用叠片机座和叠片换向极。

对于不逆转的无换向极的小功率电机可采用移动电刷的方法来改善换向。发电机应顺转向移刷，电动机则应逆转向移刷。采用移刷改善换向时，换向区内的气隙磁场将随电枢电流的增加而减弱，因此某一刷位只能在某一特定负载的情况下才能获得较好的换向。

1.7　直流发电机

1.7.1　直流发电机的主要工作特性

直流发电机的端电压 U，电枢电流 I_a 和励磁电流 I_f 三者之间的关系，表征其工作特性。

工作特性通常是以转速 n 为常数作为基础来描述的。

直流发电机的主要工作特性有空载特性、外特性、负载特性和调整特性等。

工作特性因不同的励磁方式而异。

1.7.1.1 空载特性

空载特性曲线表示当转速 n 为常数时，电枢电势 E_a 与励磁电流 I_f 之间的函数关系。即：

$$E_a = f(I_f)$$

$$n = 常数$$

它反映了电机工作点的磁饱和程度。通常是在他励、空载时测得，如图 8.1.2－13 所示。

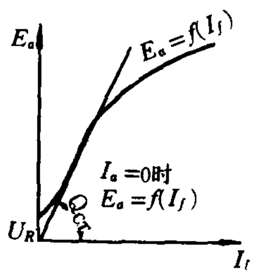


图 8.1.2－13 直流发电机的空载特性

图中可见当 $I_f=0$ 时，磁路中的剩磁仍可能建立电压，称为剩磁电压 U_R，其值约为额定值的 2%～5%。

自励建立电压达到额定值必须具备三个条件：

1）发电机应有足够的剩磁。

2）剩磁电压所产生的磁势必须与剩磁的极性一致。

3）励磁回路电阻不能太大。空载特性曲线通过原点的切线称为临界场阻线，励磁回路的电阻小于临界电阻 $R_{CT}=tg\theta_{CT}$，方能实现自励并稳定运行。

1.7.1.2 负载特性

负载特性表示当转速 n＝常数，电枢电流 I_a＝常数时，端电压 U 随励磁电流而变化的曲线。即：

$$U = f(I_f)$$

$$n = 常数、I_a = 常数$$

图 6.1.2－14 为直流发电机的负载特性曲线。

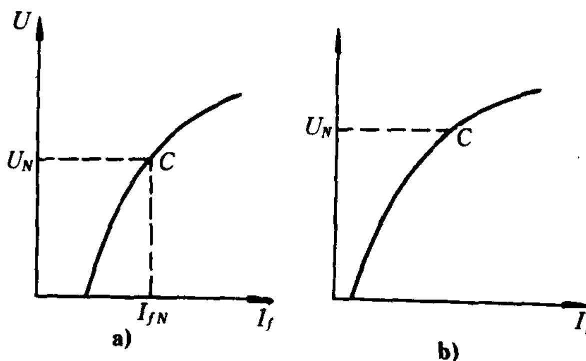


图 8.1.2—14 直流发电机的负载特性
a）为他励、并励电机； b）为复励电机

1.7.1.3 外特性

外特性表示励磁回路不作调节时，端电压 U 随负载电流 I 而变化的规律，即：

$$U = f(I)$$

$$I(f) = 常数, n = 常数、$$
$$R_f = 常数（并励）$$

图 8.1.2－15 为直流发电机的外特性。

当他励时，负载电流增加，电枢反应的去磁效应与电枢回路的电阻压降相应增大，端电压随负载电流增加而下降（如曲线 1）。

当并励时，由于励磁回路电阻 R_f 不变；励磁电流将随端电压降低而减小，因此随着负载电流的增加，其端电压的降低较他励时为大，特性较他励时稍软（如曲线 2）。

复励发电机在负载电流增加时，其端电压的变化取决于串励绕组的接法和串并励的安匝比。$U_N=U_0$ 为平复励（曲线 3），$U_N>U_0$ 为过复励（曲线 4），$U_N<U_0$ 为欠复励，其外特性比并励还软一些；差复励的串励磁势与并励磁势相反，故 U 随 I 的增加而迅速下降（曲线 6）。串励发电机为曲线 T。串励磁势与并励磁势方向相同为加复励。

1.7.1.4 调整特性

调整特性表示直流发电机为保持端电压U恒定，须在负载电流I增加时，相应增加励磁电流I_f，以补偿电枢反应的去磁效应和电枢回路的电阻压降。即：

$I_f = f(I)$

$$U = 常数, n = 常数$$

如图8.1.2—16所示。

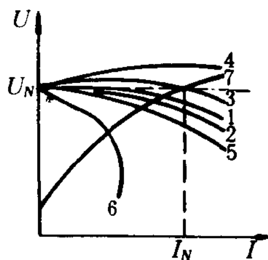


图8.1.2—15 直流发电机的外特性

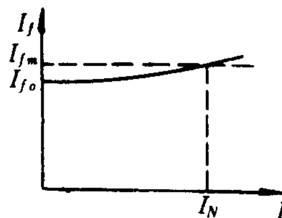


图8.1.2—16 直流发电机的调整特性

调整特性可以展示为保持端电压恒定所必须的励磁电流调节范围。

1.7.2 直流发电机的并联运行

直流发电机并联运行的条件：

1）各台发电机的电压相等。

2）接于同一汇流排的各台发电机的极性必须相同。

并联运行时，对于他励或并励发电机，各机组之间的负载分配将取决于他们的外特性如图8.1.2—17所示。外特性下倾较陡的发电机分担负载较小。通过调节发电机的励磁电流或转速来改变其外特性的相互位置从而改变它们之间的负载分配。由于他励或并励发电机具有稳定下倾的外特性，因此它们能稳定地并联运行。

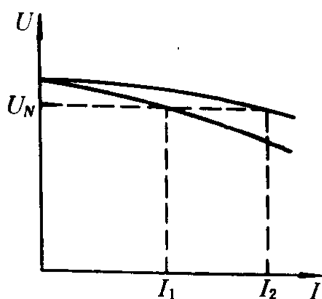


图8.1.2—17 他励、并励发电机并联时的负载分配

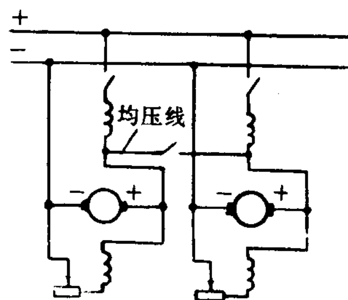


图8.1.2—18 复励发电机的并联电路图

对于积复励发电机来说，由于它具有串励绕组的增磁作用，其外特性随负载的增大而向上翘，当几台复励发电机并联运行时，如果供电系统的负载发生变化，则它们之间的负载分配可能出现随机转移的不稳定现象。为了使它们能稳定并联运行，通常将它们的串励绕组在近电枢端用低电阻的均压线连接起来。如图8.1.2—18所示。

均压线的作用是使两台发电机的串励绕组中的电流按其电阻成反比分配，而与负载电流的分配无关。

具有均压线的积复励发电机并联运行时，其负载分配与并励发电机运行时相似，负载的转

移可借调节并励绕组电流来进行。

1.8 直流电动机

1.8.1 直流电动机的主要工作特性

直流电动机端电压保持恒定，他励或并励的励磁电流不变时，其转速 n、电磁转矩 T_{em}、效率 η 与电枢电流 I_a 之间的关系，表示直流电动机的工作特性。

1.8.1.1 转速特性

转速特性表示，当 U 为常数；转速 n 随电枢电流 I_a 的变化而改变的函数关系，即：

$n=f(I_a)$

U＝常数

其数学关系式为 $n=\dfrac{U-(I_aR_a+\Delta U_b)}{C_e\varnothing}$；式中 ΔU_b 为电刷压降。

影响转速特性的因素是电枢回路的电阻压降与气隙磁通的变化。

他励或并励电动机其 I_f 为常数时，气隙磁通 Φ 只受电枢反应的影响。I_a 增大时，电枢回路电阻压降使转速趋于下降，电枢反应去磁效应则使转速趋于上升，因而转速变化较小，故其转速特性较硬如图 8.1.2－19 中曲线 3。通常电阻压降的影响较大，使转速略有下降，特性略微下倾。但当过载时，电枢反应影响增强，转速特性趋于上翘。

串励电动机其 $I_f=I_a$，气隙磁通 Φ 主要取决于负载电流的大小，转速随负载的增加而迅速下降，其转速特性很软如曲线 1。在轻载时 I_f 很小转速很高。因此不容许空载或轻载运行。

复励电动机通常接成积复励，使其运行稳定。并励绕组决定其空载转速；串励绕组则使其特性软化，其转速特性介于并励与串励之间如曲线 2，且其软化程度取决于并励绕组与串励绕组安匝比 。

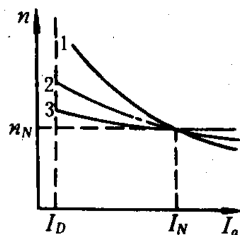


图 8.1.2－19 直流电动机转速特性

1.8.1.2 转矩特性

转矩特性表示输出转矩 T_2 随 I_a 的变化而改变的函数关系。即：

$$T_2=f(I_a),T_2=C_T\Phi I_a-T_0$$

式中：T_0——空载转矩。

他励或并励电动机其 I_f＝常数，在轻载时，转矩特性基本是通过空载电流 I_0 点的直线；过载时，电枢反应的去磁作用增强，特性偏离直线，略为向下弯曲如图 8.1.2－20 曲线 3 所示。

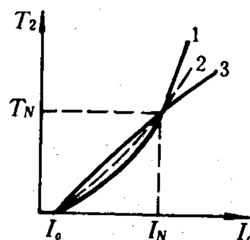


图 8.1.2－20 直流电动机转矩特性

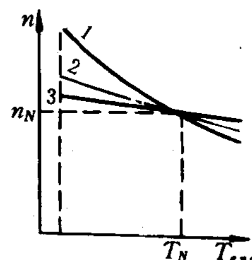


图 8.1.2－21 直流电动机的机械特性

串励电动机的磁通随电流 I_a 的增大而增加，当电枢电流 I_a 较小而磁路未饱和时，转矩按负载电流的平方关系增大；电枢电流增大时，由于磁路逐渐饱和，加之电枢反应的影响，转矩增加相对变慢见图 8.1.2－20 曲线 1。

复励电动机的转矩特性取决于并励安匝与串励安匝之比，介于并励与串励电动机转矩特性之间如图 8.1.2－20 曲线 2 所示。

1.8.1.3 机械特性

机械特性是转速与转矩的函数关系，即：

$$n=f(T_{em})$$

按照转速—转矩公式 $n=\frac{U-\Delta U_b}{C_e\Phi}-\frac{R_a}{C_eC_T\Phi^2}T_{em}$，可见机械特性具有与转速特性相似的形状。电枢回路串入外接电阻后，其外特性将变软。

图 8.1.2－21 为串励（曲线 1），复励（曲线 2）和并、他励（曲线 3）电动机的机械特性。

1.8.1.4 效率特性

效率特性是指效率与电枢电流的函数关系，即：

$$\eta=f(I_a),\eta=\frac{P_2}{P_1}=1-\frac{\Sigma P}{P_2+\Sigma P}$$

式中：ΣP——总损耗，包括铜耗、铁耗和机械损耗等。

负载时，当铜耗接近等于铁耗与机械损耗之和时，效率最高。对于经常工作于轻载状态下的电动机，一般应使铜耗大于铁耗与机械损耗之和；经常过载的电动机则应尽量减小铜耗。

直流电动机的效率特性如图 8.1.2－22 所示。

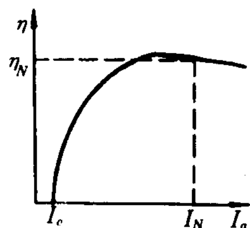


图 8.1.2－22　直流电动机的效率特性

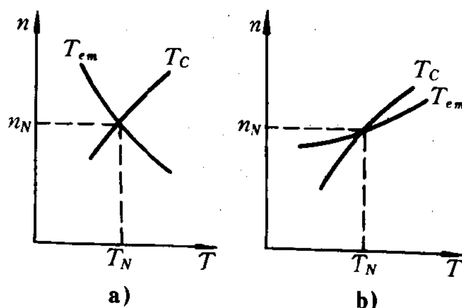


图 8.1.2－23　电动机稳定运行条件

1.8.2 直流电动机稳定运行的条件

直流电动机的稳定运行是指当电网电压或轴上机械负载波动而使电动机转速发生变化时，电动机具有能恢复到原工作状态的能力。

电动机的机械特性 $n=f(T_{em})$ 与被驱动机械的阻转矩特性 $n=f(T_c)$ 的交点称为电动机的运行点。电动机能否稳定运行取决于这两条特性 曲线是否配合恰当，如图 8.1.2－23 所示。

若以 Δn 表示转速的增量，ΔT_{em} 与 Δ_{Tc} 分别为转速增 Δn 后电动机转矩与负载阻转矩的增量，则当：

$\frac{\Delta T_{em}}{\Delta n}<\frac{\Delta T_c}{\Delta n}$ 时，如图 8.1.2－23a)，电动机能稳定运行；

$\frac{\Delta T_{em}}{\Delta n}>\frac{\Delta T_c}{\Delta n}$ 时，如图 8.1.2－23b)，电动机不能稳定运行。

1.8.3 直流电动机的起动

直流电动机在起动过程中，其电枢电流 I_a、电磁转矩 T_{em} 和转速 n 将随时间而变，电流和电磁转矩的最大值通常称之为起动电流 I_{st} 和起动转矩 T_{st}。

衡量起动性能的重要指标是起动电流与额定电流的比值 I_{st}/I_N 和起动转矩与额定转矩的比值 T_{st}/T_N。

串励电动机的磁通∅随 I_a 的增加而增大，故 $T_{st}/T_N > I_{st}/I_N$，因此当 I_{st}/I_N 值相同时，串励电动机比并励电动机可获得较大的 T_{st}/T_N 而具有优良的起动特性。复励电动机的起动特性介于并励电动机与串励电动机之间。

直流电动机有以下三种起动方法：

1.8.3.1 直接起动

直接起动不需加起动设备，操作简便，但缺点是起动电流大，最大冲击电流可达 15～$20I_N$，因此使电网承受很强的电流冲击，机组也会受到巨大的机械冲击，电动机换向恶化。直流电动机起动对于不大于 4kW 的小型电动机可采用直接起动，其起动电流为 6～$8I_N$。

必须指出的是：由于船舶直流电站容量一般较小，直接起动只限于 1kW 以下的小型直流电动机。

1.8.3.2 电枢回路串电阻起动

起动时，电枢回路内串入起动电阻，以限制起动电流。起动电阻为一可变电阻；在起动过程中可随着转速上升及电势的建立函级短接如图 8.1.2—24 所示。

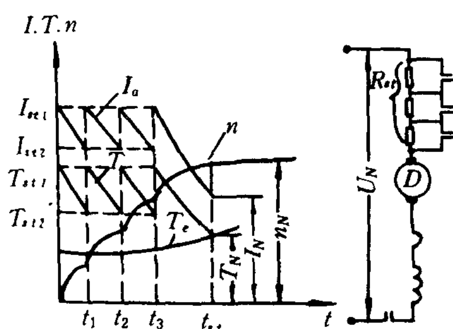


图 8.1.2-24 电枢回路串电阻起动

按电动机的电压平衡方程式：

$$U = E + I_a R_a;$$

加入起动电阻 R_{st} 后，

$$U = E + I_a(R_a + R_{st}) \quad I_a = \frac{U - E}{R_a + R_{st}}$$

在 t=0 时，n=0，E=0，电枢回路投入电网，串入全部起动电阻 R_{st}，使起动电流不超过允许值，一般限制在 2～$2.5I_N$，随着转速增加，反电势增大，再逐级将起动电阻短接。

这种方法广泛应用于各种中小型直流电动机，其缺点是在起动过程中能量消耗较大。

1.8.3.3 降压起动

由单独的电源供电，用降低电源电压的方法来限制起动电流。降压起动时，起动电流将与电枢电压的降低成正比地减小，为使电机有足够的起动转矩保持最大磁通的情况下起动，故电动机应采用他励。

这种起动方法，起动过程中消耗能量少，起动平滑，缺点是专用电源设备投资大，故很少单为起动而设置，通常是与调节电压调速(即发电机一电动机系统)结合使用(见 1.8.4.2)。

1.8.4 直流电动机的调速

直流电动机可以在宽广范围内平滑地调速。当电枢回路内接入调节电阻 r 时：

$$n = \frac{U - I_a(R_a + r) - \Delta U_b}{C e \Phi}$$

从上式可以看出，直流电动机可采用调节励磁电流、电枢端电压和电枢回路电阻等方法进行调速。

1.8.4.1 调节励磁电流进行调速

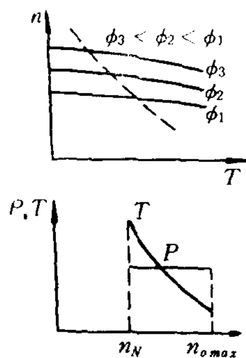


图 8.1.2—25 调节励磁电流调速电流调速特性

这种调速方法的特性曲线如图 8.1.2—25 所示。其主要特点为：

1)U＝常数，转速 n 随励磁电流 I_f 和磁通 Φ 的减小而升高。

2)转速愈高，换向愈困难，电枢反应和换向元件中电流的去磁效应对电机运行稳定性的影响愈大。

3)电枢电流保持额定值不变时，T 与 Φ 成正比，n 与 Φ 成反比，输入、输出功率及效率基本不变。

这种调速方法适用于额定转速以上的恒功率调速。

1.8.4.2 调节电枢端电压调速

这种调速方法的特性曲线如图 8.1.2—26 所示。其主要特点有：

1)Φ＝常数(他励)，转速 n 随电枢回路端电压 U 的减小而降低。

2)低速时，机械特性的斜率不变，稳定性好。最低转速受供电发电机剩磁的限制。

3)电枢电流保持额定值不变时，T_{em}保持不变，n 与 U 成正比，输入、输出功率随 U 和 n 的降低而减小，效率基本不变。

这种调速方法适用于额定转速以下的恒转矩调速。

1.8.4.3 调节电枢回路电阻调速

这种方法的特性曲线如图 8.1.2—27 所示。其主要特点是：

1)U＝常数，转速 n 随电枢回路电阻 r 的增加而降低。

2)转速愈低，机械特性愈软，其调速变阻器可用作起动变阻器。反之起动变阻器不可用作调速变阻器。

3)电枢电流保持额定值不变时，T_{em}保持不变，可作恒转矩调速，但低速时，输出功率随 n 的降低而减小，而输入功率不变，效率将随 n 的降低而降低，经济性很差。

此调速方法仅适用于额定转速以下，不需经常调速，且机械特性要求较软的场合。

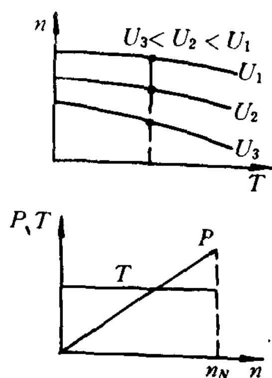


图 8.1.2—26 调节电枢端电压调速特性

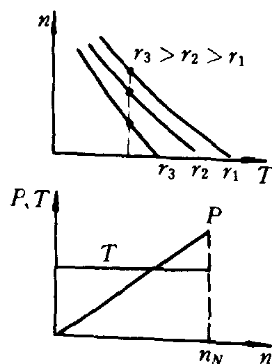


图 8.1.2—27 调节电枢回路电阻时的调速特性

1.8.5 直流电动机的制动

直流电动机的电磁制动可分为能耗制动、反接制动和回馈制动再生制动三种。

1.8.5.1 能耗制动

当励磁保持不变，将电枢从电源切断，串入制动电阻而形成回路，电动机作为发电机运行，向制动电阻供电，机组的惯性动能转化为电能消耗在制动电阻上(机组本身的损耗忽略不计)。

由于电枢电流由反电势提供，与原电枢电流方向相反，故电磁转矩与转速反向为阻转矩，且转速愈低制动效果愈差。因此通常采用机械制动配合以加强制动效果。制动电阻的大小关系到制动转矩的大小，显然制动转矩与电枢电流成正比，而与制动电阻成反比。能耗制动的原理。

如图 8.1.2—28 所示。能耗制动在船舶电力拖动装置中应用极为广泛。

1.8.5.2 反接制动

当励磁不变，电枢回路与电源经一限流电阻作反极性串联，使电枢电流反向，电磁转矩与转向相反成为制动转矩。由于制动时，电动机作发电机运行，并与电源串联向限流电阻供电。电源电能与机组惯性动能转化为限流电阻与机组本身的损耗。采用此法能使机组迅速停转，但应及时切断电源，否则将会反向起动。

这种制动方法的制动转矩很大，因电枢电流 $I_a=\frac{U+E_a}{R_a+r}$。制动电阻愈小，制动力矩愈强。

反接制动的原理图如图 8.1.2—29 所示。

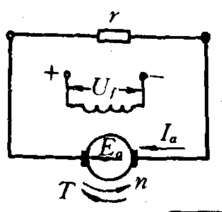


图 8.1.2—28 直流电动机能耗制动原理

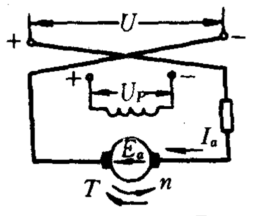


图 8.1.2—29 直流电动机反接制动原理

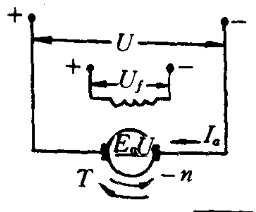


图 8.1.2—30 直流电动机回馈制动原理

1.8.5.3 回馈制动(再生制动)

保持励磁恒定，当转速升高到超过临界转速理想空载转速(即转速特性上 $I_a=0$ 时的转速)时，$U<E_a$，电枢电流反向，电磁转矩成为阻转矩，电动机这时作发电机运行，使电动机加速的机械能转化为电能向电网回馈。制动过程中不消耗电网能量，而且电网回收能量。这种制动不适用于串励电动机，且只能用于限制转速过分升高，以保证拖动系统在大于临界转速下匀速运行。

图 8.1.2—30 为回馈制动的原理图。

从 $I_a=\frac{E_a-U}{R_a}$，$E_a=C_e\Phi n$ 两个等式中可以看出：转速愈高，反电势愈大，制动力矩也愈强。因此具有限速功能。

1.9 直流电机的可逆应用

直流电动机可以作发电机使用，而直流发电机也可以作电动机使用。一般应按铭牌规定使用，按照国家标准，直流发电机额定电压规定为 115、230V，而电动机则为 110、220V。

当直流发电机需要作为电动机使用时，应适当提高电源电压或稍微减小励磁电流，否则其转速将低于其铭牌数值，而且在同样的电枢电流下，它输出的功率只有原发电机功率的 70～80%。如果直流电动机要当发电机使用时，为了能达到发电机规定的额定电压，就应适当提示机组的转速，但不能超过额定值的 10%；或者增大其励磁电流，但注意不要超过电机的允许温

升。对于积复励电机在改变用途时，应将串励绕组的两根引线调换一下，否则，作发电机时电压不能正常建立，作电动机时转速不能稳定，因为这时是差复励接线。

1.10 直流电机火花的射频干扰及抑制方法

直流电机在运行时电刷与换向器之间的火花即使很小也是属于射频的电磁振荡，它将对船舶无线电收发报机、电视机或其它信息显示设备的各级电路产生干扰，使之不能正常工作。

射频干扰的传播方式有以下几种：

1)辐射方式：通过电磁波幅射的形式，使其在一定方向和距离范围内传播其干扰能量。

2)传导方式：沿某些导线传播其干扰能量，作用距离比辐射方式短。

3)感应方式：传播能量的作用范围最小。

直流电机的射频干扰频率范围为 2.5～10MHz，主要在低频段，频率愈高，干扰愈小。在其接线端测得的干扰电平为几十(微伏)至几百(毫伏)，干扰能量的大小与火花等级、机壳屏蔽性能等。有封闭金属壳体的电机，干扰只是由电机引出线的辐射所引起的。

为了抑制射频干扰，船用直流电机一般装有 CZB 型滤波电容器。功率小于 4kW 的电机，采用 0.25μF、500V 的电容器；功率大于 4kW 的电机采用 0.5μF、500V 的电容器。接线方式见图 8.1.2－31。其中 a)用于电动机；b)用于发电机；c)两者通用。

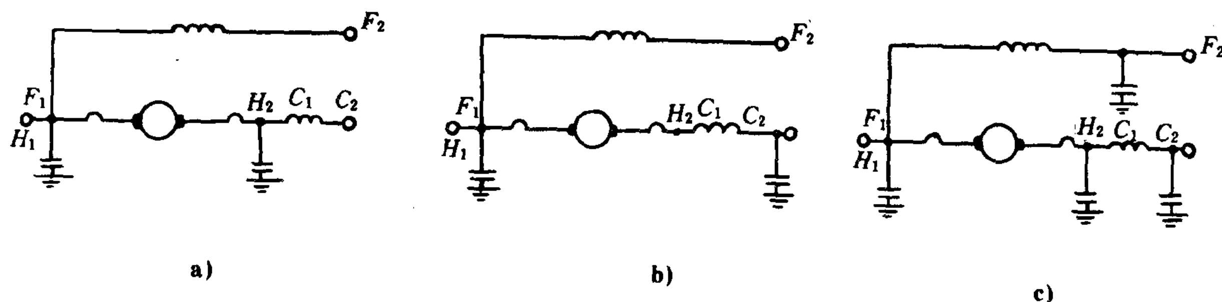


图 8.1.2－31 抑制射频干扰电容器的接法

1.11 船用直流电动机的用途、分类和技术要求

1.11.1 用途和分类

1)Z_2C 系列电动机，不需变速；适用于恒速的泵类及风机等，连续定额。

2)ZZY－H 系列，防水结构，带有圆盘式制动器，过载能力大；用于频繁起动、制动和正反转的场合，如起货机及锚机等。断续定额，负载持续率：15%，25%，40%，60%；短时定额分 30、60min 两种。

3)轴流通风机电动机，ZZY－H 系列，全封闭，与风扇联接，连续定额。

4)ZO2C 系列封闭式电动机，能堵转 1min；用作舵机及锚机的动力，连续定额；短时定额有 20、30、60min 三种。

5)ZHC2－H 系列，有 24/36、48/72 及 60/90V 等电压等级；用作蓄电池充电及浮充供电的调压发电机，连续定额。

6)恒速发电机，以柴油机拖动，用作电源设备；多为 Z2C 系列，连续定额。

7)变速发电机，由船舶主轴举动，与调压器结合使用，采用 Z2C 系列，连续定额。

1.11.2 技术要求

1.11.2.1 换向性能

连续定额电机从空载(串励电机从 1/4 负载)到额定负载的所有情况下,火花不应超过 1～1 $\frac{1}{4}$级;在短时过电流或过负载时不超过 1 $\frac{1}{2}$级。短时定额和断续定额的电机从空载到额定负载的所有情况下,火花不应超过 1 $\frac{1}{4}$～1 $\frac{1}{2}$级,短时过电流或过负载时的火花等级由产品技术条件规定。表 8.1.2－3 为直流电机火花等级的鉴别表,以此可确定电机能否继续工作。

表 8.1.2－3 **直流电机火花等级的鉴别**

火花等级	电刷下面的火花程度	换向器及电刷的状态
1	无火花	换向器上没有黑痕及电刷上没有灼痕
1 $\frac{1}{4}$	电刷下面有微弱的点状火花	
1 $\frac{1}{2}$	电刷下面有轻微的火花	换向器上有黑痕,用汽油可以擦除;电刷上有轻微灼痕
2	大部分电刷下面有较大的火花	换向器上有黑痕,用汽油不能擦除;电刷上有灼痕
3	全部电刷下面有强烈的火花同时有火花飞出	换向器上的黑痕相当严重,用汽油不能擦除;电刷上有灼痕;长期运行电刷将烧坏

1.11.2.2 耐冲击和振动

船舶在航行中,经常处在冲击、振动和颠簸情况下,因此船用电机的主要结构材料采用钢质材料,以保证较高的机械强度;电机上使用的紧固件必须装有止动装置;相邻导电接头间需要有较大的间距;为了满足船舶的倾斜要求,端盖或进出口处采用 45。的防滴角;出线盒采用防水密闭结构。

1.11.2.3 防潮、防盐雾、防霉菌、防水

船用电机的紧固件、刷握和刷杆应有合适的被复层;绝缘材料的防潮性能要好,线圈和电枢的浸漆次数要比一般电机多,定子、电枢表面应喷耐潮、耐霉等性能好的复盖漆如 B 级绝缘电机选用 H31－2 环氧酯灰瓷漆。防水船用电机的机座和端盖等接缝处及转动部分,应根据需要采用不同型式的防水结构。根据船用电机技术要求的规定,须进行防潮、防盐雾、防霉菌和防水试验。

1.12 直流电机的常见故障及排除方法

表 8.1.2-4　　直流电机常见故障及排除方法

故障现象	可能原因	排除方法
电刷下火花过大	1. 电刷与换向器接触不良	研磨电刷，并轻载运行 0.5～1h
	2. 刷握松动或不正	紧固或纠正刷握位置
	3. 电刷与刷握配合太紧	略微磨小电刷尺寸
	4. 电刷压力大小不当或不均匀	用弹簧秤校正电刷压力为 0.15～0.25kg/cm²（调整刷握弹簧压力或调换刷握）
	5. 换向器表面不光洁、不圆或有污垢	清洁或研磨换向器表面
	6. 换向器片间云母凸出	换向器刻槽、倒角再研磨
	7. 电刷不在中性线上	校正中性线位置
	8. 电刷磨损过度或所用牌号尺寸不符	按制造厂原有的牌号及尺寸更换电刷
	9. 过载	恢复正常负载
	10. 电机底脚松动，发生振动	固紧底脚螺钉
	11. 换向极绕组短路	检查换向极绕组，进行修理
	12. 电枢绕组与换向器脱焊	用毫伏表检查换向片之间电压是否呈周期性出现，如某两片间电压异常高说明脱焊，予以重新焊接
	13. 换向极绕组接反	用指南针检查换向极极性，发电机换向极极性应与旋转方向即将进入的主极极性相同，电动机则相反，如不符应纠正
	14. 电刷之间的电流分布不均匀	调整刷架等分，如电刷牌号不一致应按原用牌号及尺寸更换电刷
	15. 转子平衡未校好	重新校好转子动平衡
磁场绕组过热	1. 并励磁场绕组部分短路	分别测量每极绕组电阻，修理或调换电阻值特别低的绕组
	2. 电机转速太低	提高转速至额定值
	3. 电机端电压长期超过额定值	恢复电压至额定值
发电机电压不能建立	1. 剩磁消失	充磁
	2. 励磁绕组接反	纠正接线
	3. 旋转方向错误	改变旋转方向
	4. 励磁绕组断路	检查励磁绕组及磁场变阻器的连接是否松脱或接错，磁场绕组或变阻器内部是否有断线
	5. 电枢短路	检查换向器表面及接头片有无短路，或用毫伏表测试电枢绕组是否短路
	6. 电刷接触不良	检查刷握弹簧是否松弛或改善接触面
	7. 磁场回路电阻过大	检查磁场变阻器和励磁绕组电阻大小并检查接触是否良好

续上表

故障现象	可能原因	排除方法
发电机电压过低	1. 并励磁场绕组部分短路	测量每极绕组电阻,修理或调换电阻值特别低的绕组
	2. 转速太低	提高原动机转速至额定值
	3. 电刷不在正常位置	调整刷杆位置
	4. 换向片之间有导电体	云母拉槽,清除杂物
	5. 换向极绕组接反	用指南针试验换向极极性
	6. 串励磁场绕组接反	纠正接线
	7. 过载	减少负载
电动机不能起动	1. 无电源	检查线路是否完好,起动器连接是否正确,熔断器是否完好
	2. 过载	减少负载
	3. 起动电流太小	检查所用的起动装置是否合适
	4. 电刷接触不良	检查刷握 弹簧是否松弛或改善接触面
	5. 励磁回路断路	检查变阻器及磁场绕组是否断路,更换绕组
电动机转速不正常	1. 电动机转速过高,且有剧烈火花	检查励磁绕组与起动器连接是否良好,是否接错,磁场绕组或调速电阻内部是否断路
	2. 电刷不在正常位置	调整刷杆位置
	3. 电枢或励磁绕组短路	检查是否短路,如有短路,修理或换新
	4. 串励电动机轻载或空载运行	增加负载
	5. 串励绕组接反	纠正接线
	6. 磁场回路电阻太大	检查磁场变阻器和励磁绕组电阻并检查接触是否良好
电枢冒烟	1. 长时期过载	立即恢复正常负载
	2. 换向器或电枢短路	用毫伏表检查是否短路,是否有金属屑落入换向器或电枢绕组
	3. 负载短路	检查并排除之
	4. 电动机端电压过低	恢复电压至正常值
	5. 电动机直接起动或反转太频繁	使用适当的起动器,避免频繁反转
	6. 定子转子铁心擦碰	检查气隙是否均匀,轴承是否磨损

除了上述的常见故障以外,尚有以下一些问题。

1)机壳漏电

机壳漏电是由于电机绝缘电阻太低,出线头碰壳、接线板或绕组某些地方绝缘损坏、接地接触不良等原因造成。通常用 500V 兆欧表测量对地绝缘电阻,如低于 0.5MΩ,应对电机进行烘干处理。

2)带有少量串励绕组的并励电动机起动时反转,起动后又变为正转,这是由于串励绕组接反,将串励绕组的出线端互换即可排除。

3)轴承漏油或过热

滚动轴承润滑脂加得太多(正常为轴承室 2/3 空间)或所用润滑脂质量不符合要求,需更换。此外滚动轴承磨损或损坏使轴承温度过高,也会导致轴承漏油,应检查更换新轴承。

滑动轴承滑油加得太满或阻油装置失效也会产生漏油现象，轴承因缺油会造成过热，为此需加强平时的管理，防止漏油而缺油使轴承过热烧坏。

直流发电机和电动机，需要加强平时的养护检修，如定期检查整流器碳刷，消除火花，定期清洁内部的油垢灰尘，测量气隙防止擦壳，定期检查轴承更换润滑脂或滑油。

在修理时根据修理类别及船舶检验的要求，进行浸渍绝缘漆或喷涂绝缘漆及烘干处理，防止在运行期间发生线圈松动，产生断路和短路等情况。并使绝缘电阻值达到要求。

1.13 直流电机的拆装

直流电机的拆卸步骤：

1)拆除接于电机的所有接线，做好标记。

2)拆除换向器端的端盖螺钉、轴承盖螺钉，取下轴承外盖。

3)打开端盖的通风窗，从刷握中取出电刷，再拆下接到刷杆的连接线。

4)拆卸换向器端的端盖，拆时在端盖边缘垫以木楔，用木锤沿端盖四周的边缘均匀地敲击，逐渐使端盖止口脱离机座及轴承的外圈，取出刷架。

5)用纸板将换向器包好。

6)拆除轴伸端的端盖螺钉，把连同端盖的电枢从定子内小心地抽出，以免绕组受到擦伤。

7)将连同端盖的电枢放在木架上并包裹好，拆除轴伸端的轴承盖螺钉，取下轴承外盖及端盖。轴承只有在损坏情况下方可取下，如无特殊原因，不要拆卸。

电机的装配可按拆卸相反的顺序进行，并按所作记号，校正电刷位置。

1.14 直流电机在使用中的校验和检查

直流电机经过拆装后，要进行校验，即将电机试运转若干小时，观察电机出力、火花及转速等情况。

1)装配质量的一般检查

在进行运转试验之前，一般先要检查所有紧固螺钉是否拧紧，电机转动是否灵活，换向器光洁与否、是否偏心、是否有高低不匀，电刷牌号是否符合要求，电刷与换向器实际接触面积是否占电刷整个横截面的75%以上，电刷与刷握的间隙是否小于0.15mm，电刷受的压力是否均匀适当，电刷能否自由上下活动等。最后用万用表检查电机出线端的标记与实际是否相符。例如辨别复励电机的六个出线端：先用万用表电阻档(R×1 档)测通断的方法可测出三个绕组的两端，其中电阻值大的是并励绕组 F_1、F_2。再将万用表的一根试笔碰电刷，另一根试笔分别碰其余的四个线端，通的两个线端是换向极绕组和电枢 H_1、H_2，不通的是串励绕组 C_1、C_2 的两个线端，各绕组的1、2端可在试运转中观察运行情况确定。

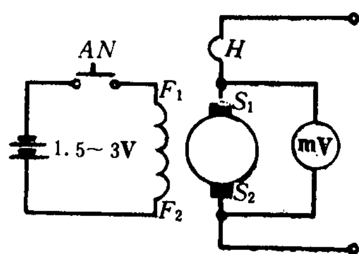


图 8.1.2 32
感应法求中性位置接线图

2)确定电刷的中性位置

确定电刷中性位置的方法很多，常用且较准确的方法为感应法。当电枢静止时(通常切除电源)，将毫伏表接到相邻两组电刷上，励磁绕组通过按钮开关 AN 接到 1.5～3V 的直流电源上。当按下和松开按钮 AN 时，毫伏表指针会左右摆动，这时将刷架顺电机旋转方向或逆电机旋转方向移

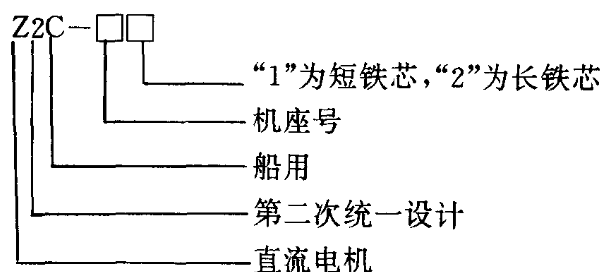
动，直到毫伏表指针不再摆动为止。这时的位置就是中性位置。图 8.1.2－32 为感应法确定电刷中性位置的接线图。

3)绕组绝缘电阻的测定

一般电机额定电压为 500V 或 500V 以下的可用 500V 兆欧表分别测量各绕组对机壳的绝缘，其绝缘电阻值不得低于 0.5MΩ，对更换过的绕组部分则不应低于 5MΩ(常温下)。其次测量各绕组之间的绝缘。如电机接线盒上装有电容器，则应拆除电容器后再进行测量。

1.15 常用船舶直流电机的型号含义

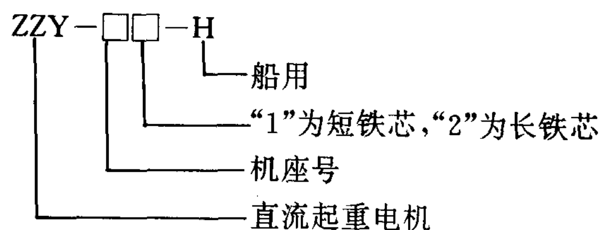
1)Z2C 系列直流电机



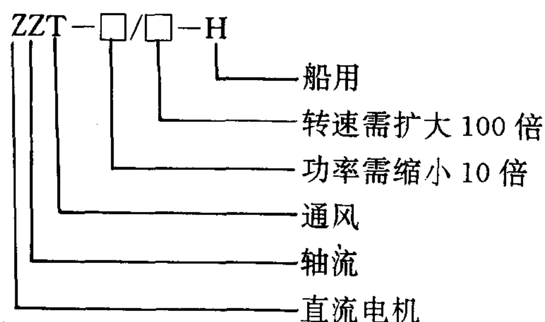
2)ZO2C 系列直流电机

在“Z”后加“O”表示封闭型防水，系 Z2C 系列产派生产品。其它含义同上。

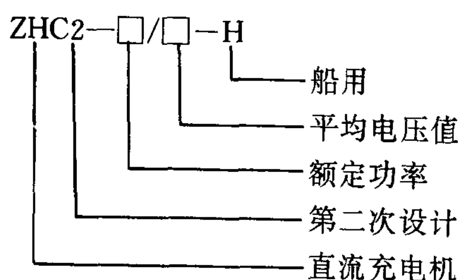
3)ZZY－H 系列直流起重电动机



4)ZZT 系列直流轴流通风电动机



5)ZHC2－H 系列直流充电机组



2 变 压 器

船用变压器用于船舶照明和配电，基本工作原理和特性同一般变压器，但在结构性能上，要求产品能防潮、防霉、防盐雾，并能耐受强烈的冲击和震动。

2.1 工 作 原 理

变压器是一种静止的电器，由绕在共同铁心上的两个或两个以上的绕组通过交变磁场而联系着，用以把某一种等级的电压与电流转变成另外一种等级的电压与电流。

图 8.1.2—33 为双圈式单相变压器的原理图。在闭合铁心上绕有两组绕组，其中一组绕组接电源，称为一次侧（或初级）绕组，另一组接负载，称为二次侧（或次级）绕组。

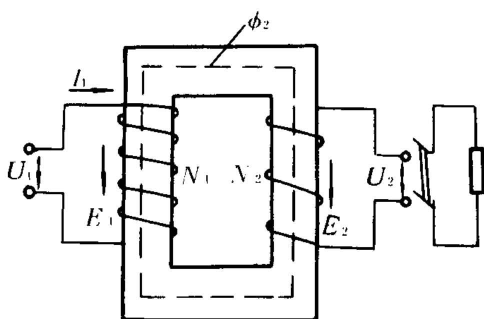


图 8.1.2—33 变压器的工作原理

根据电磁感应定律可推导得：

$$E_1=4.44fN_1\Phi_{zmax}$$

$$E_2=4.44fN_2\Phi_{zmax}$$

式中：E_1、E_2 ——分别为一、二次侧绕组中的感应电动势；

f ——电源频率；

N_1、N_2 ——分别为一、二次侧绕组的匝数；

Φ_{zmax} ——交变磁通的最大值。

将上面两式相比得：

$$E_1/E_2=N_1/N_2=K_{12}$$

式中：K_{12}——变压比。

如果忽略漏磁通和绕组电阻所造成的压降，则认为 $U_1\approx E_1$，而二次侧的空载电压 $U_{20}=E_2$，由此可得：

$$U_1/U_2\approx E_1/E_2=K_{12}$$

如果忽略变压器本身的损耗（一般只占有百分之几），其输入功率与输出功率应相等，即：

$$U_1I_1\approx U_2I_2$$

$$U_1/U_2\approx I_2/I_1\approx N_1/N_2$$

因此，利用一、二次侧线圈匝数的不同，就可以升高或降低二次侧输出的交流电压和电流。若二次侧线圈匝数多，就是升压变压器；若二次侧匝数少，就是降压变压器。

2.2 基本结构与分类

2.2.1 变压器的分类

按用途分为输配电用电力变压器，冶炼用电炉变压器，电解用整流变压器，焊接用电焊变压器，实验用调压器和测量仪用互感器等。按相数分为单相、三相。按绕组数和耦合方式分为自耦、双绕组和多绕组变压器。按冷却方式分为油浸自冷、风冷、水冷、强迫油循环风冷和干式等多种型式。

各类变压器的型号、意义及主要用途，见表 8.1.2—5 至表 8.1.2—8。

表 8.1.2—5　**电力变压器的分类和符号**

型号中符号排列顺序	分　　类	类　　别	代表符号
1	线圈耦合方式	自耦	O
2	相数	单相 三相	D S
3	冷却方式	油浸自冷 干式空气自冷 干式浇注绝缘 油浸风冷 油浸水令 强迫油循环风冷 强迫油循环水冷	— G C F S FP SP
4	线圈数	双线圈 三线圈	— S
5	线圈导线材质	铜 铝	— L
6	调压方式	无励磁调压 有载调压	— Z

表 8.1.2—6　**调压变压器的分类和用途**

项　目	符　号	类　　别	用　　　途
相数	S D	三相 单相	感应式调压器供需要调节电压、调节温度的地方用，可以在带负载情况下无级调节负载电压 自动电压调整器供作配电系统的稳定电压源 感应式移相器供离子整流、电解设备配套、作调整相角及仪表校验用 接触调压器，供实验室、农村和工业上作调节电压用，或与其他专用设备配套
冷却方式	F J G	风冷 油浸 干式	
调压方式	$\dot{T}$ TN TX A	调压 自动调压 移相调压 感应式调压	

表 8.1.2—7　**其它变压器的分类和用途**

名　称	符　号	类　别	用　　　途
整流变压器	Z J K S D J	整流 电力机车用 电抗器 三相 单相 油浸	用于电力机车电源、电镀电源、直流调速和充电等

续上表

名称	符号	类别	用途
	F	风冷	
	FP	强迫油循环风冷	
电炉变压器	H	电能与热能交换	用于烘烤、加热、冶炼、热处理和电渣重熔等
	ZU	电阻炉	
	S	三相	
	D	单相	
	J	油浸	
	SP	强迫油循环水冷	
中频变压器	R	中频	用于热处理、淬火、冶炼等
	G	干式	
试验变压器	Y	试验	用于工频、冲击和直流高压试验等
	S	三相	
	D	单相	
	G	干式	
	J	油浸	
船用变压器	S	防水	用于船舶配电和照明等
	D	移动式	
	G	干式	
矿用变压器	K	矿用	用于矿井有煤尘和沼气而有爆炸危险的场所，供电力拖动和照明等
	S	三相	
	D	单相	
	G	干式	
干式变压器	G	干式	用于地道、公共建筑内、车间等安全防火要求较高的场合
	Q	加强的	
	H	防火	
	S	三相	
	D	单相	
饱和电抗器	F	放大器	用于稳压、恒流、调光装置及温度自动控制中作为执行元件、三相异步电动机调速、直流电动机调速。三台单相可组成一台三相磁放大器
	C	磁放大器	

表 8.1.2－8 **电力变压器新旧型号对照表**

分类项目	代表符号		分类项目	代表符号	
	新 型 号	旧 型 号		新 型 号	旧 型 号
单相变压器	D	D	强迫油导向循环	D	不表示
三相变压器	S	S	双线圈变压器	不表示	不表示
油浸式	不表示	J	三线圈变压器	S	S
空气自冷式	G	G	无励磁调压	不表示	不表示
风冷式	F	F	有载调压	Z	Z
水冷式	S	S	铝线圈变压器	L	L
强迫油循环	P	P			

2.2.2 变压器的结构

一般电力变压器由铁心、线圈、油箱、套管、分接开关以及其它附件所构成。

1)铁心　是变压器的磁路部分,通常用0.35mm厚的硅钢片制成。按结构分为心式和壳式两种,见图8.1.2—34。有时采用长条冷轧硅钢片卷成的卷片式铁心,见图8.1.2—35所示。

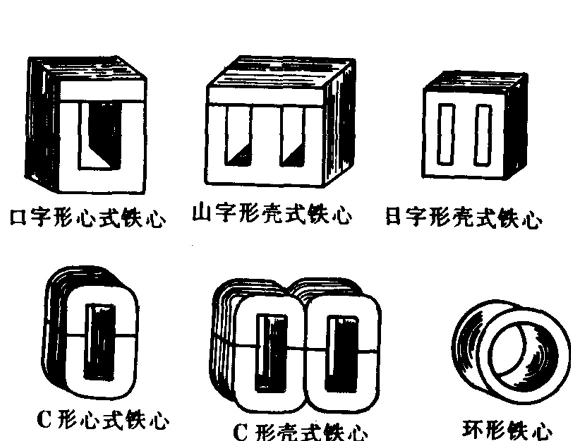


图8.1.2—34　变压器铁心结构

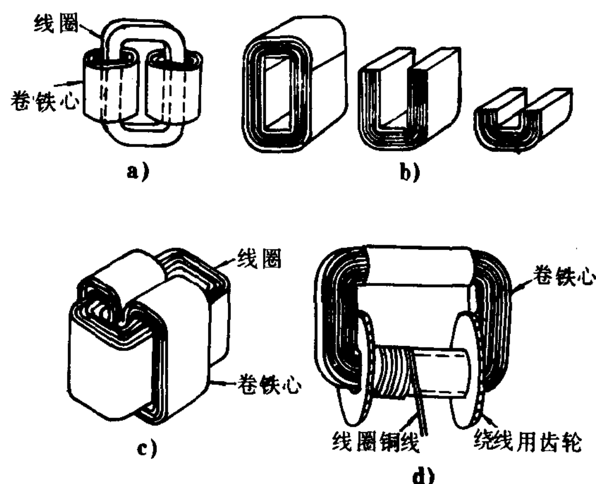


图8.1.2—35　卷铁心型变压器

a)圆形卷铁心;b)U形卷铁心;

c)椭圆形卷铁心;d)卷绕线式铁心

铁心及其它结构件(除穿心螺杆外)都必须可靠地接地。

2)绕组　是变压器的电路部分,由导线和绝缘零件组成,应具有足够的绝缘强度、机械强度、耐热能力及良好的散热条件。根据容量的大小和电压高低,具有不同的结构形式,一般有同心式和交叠式两种,见图8.1.2—36。

2.2.3 船用变压器结构特点

铁心均采用冷轧硅钢片加工而成,线圈为B级绝缘。单相变压器为卷铁心,方形线圈,铁心、线圈的外表面用环氧树脂浇注成一体,一、二次侧线圈接线柱有塑料出线盒防护。三相变压器为叠积式铁心,圆形线圈,其出线端也一起用环氧树脂浇出。线圈和铁心外围均有金属防护罩加以保护。容量较大时,线圈间可设置气道,表面还可以做成瓦楞形。

2.2.4 变压器的主要技术参数

1)额定电压　根据变压器绝缘强度、铁心饱和的限制和允许温升所规定的一次侧线电压值为U_{1N};变压器在空载时,二次侧的线电压值为U_{2N}。单位为V或k_V。

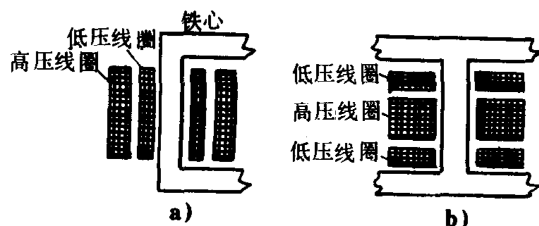


图8.1.2—36　变压器线圈结构

a)同心式;b)交叠式

2)额定电流　在额定运行条件下,变压器一、二次侧绕组中允许长期通过的工作电流叫额定电流I_{1N}、I_{2N},在三相变压器中指线电流,单位为A。

3)额定容量　为二次侧额定电压与额定电流的乘积,单位为kVA。

单相变压器 $S_N=\frac{V_{2N}I_{2N}}{1000}$ 　kVA

三相变压器 $S_N=\frac{\sqrt{3}V_{2N}I_{2N}}{1000}$ kVA

4)短路比(阻抗电压) 变压器二次侧短路,一次侧电流达到额定值时的电压值与一次侧额定电压值之比的百分数称为短路比。这种试验称为变压器短路试验。

5)空载损耗 变压器空载时从电源端吸取的功率,用 P_0 表示。

6)短路损耗 对双绕组变压器而言,当以额定电流通过一侧线圈,而另一侧接成短路时,变压器所吸取的功率,用 P_K 表示。

7)空载电流 变压器一侧开路,另一侧加额定电压时,所通过的电流,用 F_0 表示,单位为A,也可用额定电流的百分数表示。

2.3 变压器的特性

1)外特性 指一次侧电源电压和二次侧负载功率因数不变时,二次侧端电压随负载电流变化的规律,即 $U_2=f(I_a)$,见图 8.1.2－37。

2)电压变动率 变压器负载运行时,二次侧电压将随着负载电流和负载功率因数的改变而改变。电压变动率:

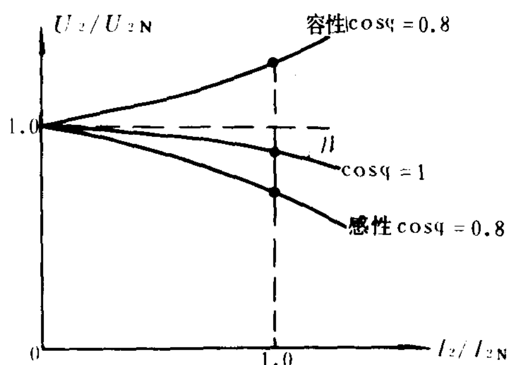


图 8.1.2－37 变压器的外特性

$$\varepsilon\%=\frac{U_{2N}-U_2}{U_{2N}}\times100\%$$

式中:U_{2N}——二次侧额定电压;

U_2 ——负载运行时二次侧的实际电压。

3)效率 输出有功功率 P_2 与输入有功功率 P_1 之比。

$$\eta\%=\frac{P_2}{P_1}\times100\%$$

$$=(1-\frac{\Sigma P}{P_1})\times100\%$$

$$=(1-\frac{P_0+K_{fz}{}^2P_k}{K_{fz}S_N\cos\varphi_2+P_0+K_{fz}{}^2P_k})\times100\%$$

变压器内部的损耗主要有铁耗和铜耗两部分。变压器在额定电压下的空载损耗 P_0 基本上是铁耗,变压器在额定负载下的铜耗基本上等于额定电流时的短路损耗 P_k,不同负载时,只要乘上负载系数 K_{fz}的平方,即 $P_d=K_{fz}\cdot P_k$。

一般变压器效率在 95%以上。

2.4 变压器联接组标号

2.4.1 变压器绕组的极性 一、二次侧绕组交链着同一交变磁通,两绕组中感应电动势相位相同的端点,称为同极性端或同名端。极性与绕组的绕向和端子标志有关,如图 8.1.2－38a)中 A、a(或X、x)为同名端,而 b)中 A、x(或 X、a)为同名端。

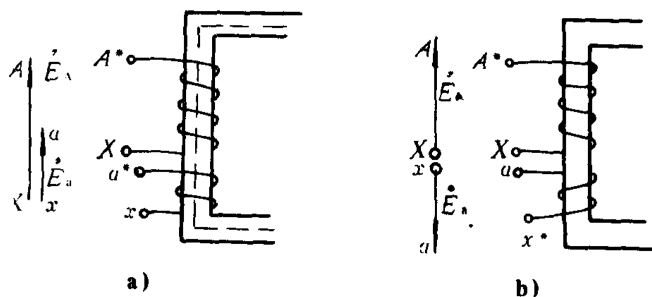


图 8.1.2－38 单相变压器极性

2.4.2 联接组标号 是代表变压器各相绕组的联接法和相量关系的符号。国家标准 GB1094－71 规定三相双绕组电力变压器的联接组标号有 Y/Y_0-12、$Y/\Delta-11$、$Y_0/\Delta-11$、$Y_0/Y-12$、$Y/Y-12$ 五种。

表 8.1.2—9

三相变压器常用的联接组标号及同组并联运行时端子变换法

组别	联接组标号的数字	线电压相角移	线电压矢量图	线圈联接法和端子标志			同组并联运行时端子排列
				Y/Y(Yy)①	△/△(Dd)①	△/Z(Dd)①	
Ⅰ	12 (0)①	0°					A、B、C a、b、c
	4	120°					A、B、C c、a、b
	8	240°					A、B、C b、c、a
Ⅱ	6	180°					A、B、C a、b、c
	10	300°					A、B、C c、a、b
	2	60°					A、B、C b、c、a

组别	联接组标号的数字	线电压相角移	线电压矢量图	线圈联接法和端子标志			同组并联运行时端子排列
				Y/△(Yd)①	△/Y(Dy)①	Y/Z(Yz)①	
Ⅲ	11	330°					A、B、C a、b、c
	3	90°					
	7	210°					A、B、C b、c、a
Ⅳ	5	150°					A、B、C a、b、c
	9	270°					
	1	30°					A、B、C b、c、a

①括号中标志是国际电工委员会(IEC)推荐《变压器》标准中采用的.

2.4.3 三相变压器常用的联接组标号及同组并联运行时端子变换法，见表 8.1.2－9。表中所示高、低压绕组绕向均相同。

2.5 变压器并联运行的条件

变压器并联运行的最理想情况是：空载时，并联的变压器二次侧之间没有循环电流；带负载后，各变压器承担的负载电流按它们的额定容量成比例分配，而且各二次侧电流同相位。为此，并联运行的各变压器必须具备下列条件：

1)各变压器的额定电压应相等，即各变压器的变比应相等；

2)各变压器应属于同一联接组，联接组标号中的数字要相同；

3)在允许偏差范围内，各变压器用标么值表示的短路阻抗应相等，短路阻抗与短路电阻之比也应相等。否则负载分配将不合理，阻抗小的变压器将过载，而阻抗大的变压器将负荷不足；

4)额定容量不能相差太大，两台变压器容量之比，一般不超过 3 比 1。

2.6 自耦变压器

是一种单圈式变压器，一、二次侧共用一个线圈，其变压比有固定和可调两种。与同容量的一般变压器相比，具有结构简单、用料省、体积小等优点。尤其在变比接近 1 的场合显得更为经济。

2.6.1 工作原理

单相降压自耦变压器的结构及原理图，见图 8.1.2－39 所示。若忽略阻抗电压，则变压比 $K_{12}=N_1/N_2=E_1/E_2\approx U_1/U_2$。磁势平衡方程式 $\dot{I}_1N_1+\dot{I}_2N_2=\dot{I}_0N_1$，当忽略空载电流时，$\dot{I}_1+\frac{\dot{I}_2}{K_{12}}=0$，在图中 $\dot{I}=\dot{I}_1+\dot{I}_2=\dot{I}_2(1-\frac{1}{K_{12}})$。

2.6.2 接触式调压器。是一种电压比连续可调的自耦变压器。按其铁心结构可分为环式和柱式两种。线圈为单层，均匀绕在绝缘的铁心上，凭借转轴与刷架的作用，使电刷沿线圈径向磨成光洁的导体平面上来回转动，以此来改变二次侧线圈的匝数。二次侧电压既可降压也可升压。

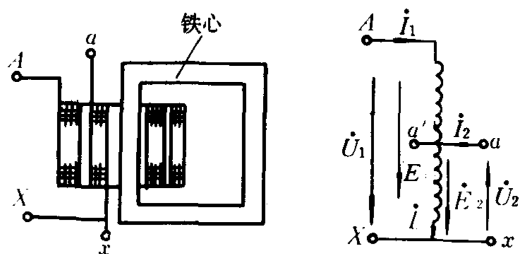


图 8.1.2－39 单相降压自耦变压器结构原理图

a)结构示意图；b)接线原理图

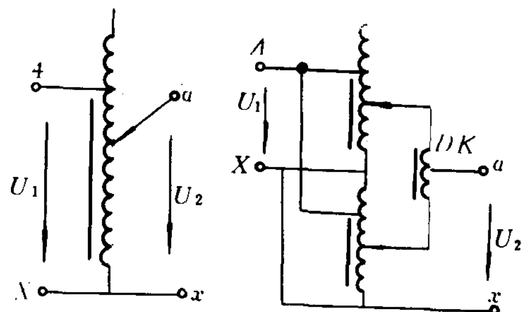


图 8.1.2－40 单相接触式调压器电路图

a)单个；b)两个并联

容量在 5kVA 以上时，可采用几个环式铁心共轴组装，为了使电流均匀分配，在输出端串接电抗器 DK，如图 8.1.2－40b)所示。

2.6.3 常用的降压起动器(补偿器)中自耦变压器铁心及绕组(线圈)数据，见表 8.1.2－10 和

表 8.1.2—11。

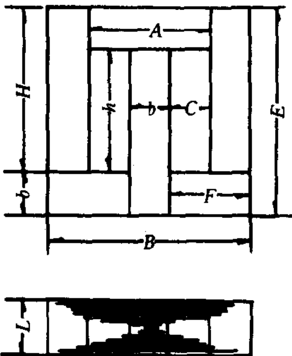
2.7 仪用互感器

2.7.1 互感器的主要作用

1)将仪表和继电器同主电路隔离,既避免了主电路的高电压直接引入仪表和继电器,又避免了仪表和继电器的故障直接影响主电路;

2)用来扩大仪表和继电器的使用范围;

表 8.1.2—10 **GTZ 系列低压起动补偿器的自耦变压器铁芯数据**



容量(kVA)	铁芯尺寸(mm)								
	A	B	b	F	C	E	H	h	L
14	156	268	56	106	50	262	206	150	47±1
20	156	268	56	106	50	262	206	150	47±1
28	156	268	56	106	50	262	206	150	52±1
40	176	308	66	121	55	297	231	165	56±1
55	196	328	66	131	65	297	231	165	56±1
75	192	334	72	131	59	344	272	200	70±1
115	200	320	60	130	70	320	260	200	97±1
135	205	335	65	135	70	355	290	225	102±1

表 8.1.2—11 **GTZ 系列补偿器的自耦变压器的绕组数据**

容量(kVA)	绕组抽头								木模(mm)
	0～40%		0～60%		60～80%		80～100%		
	匝数	线径(mm)	匝数	线径(mm)	匝数	线径(mm)	匝数	线径(mm)	宽×厚×高
14			138	Φ1.81	184	Φ2.26	230	Φ2.83	62×62×143
20			138	Φ2.1	184	Φ2.63	230	Φ3.28	
28	38.5	Φ0.406	57.5	3.5×5.9	47.5	3×10	95	2/Φ2.83	74×74×155
40			99.5	Φ2.83	132.5	Φ3.06	165	2.26×7.4	74×74×155
55			96.5	Φ3.53	128.5	2.83×5.1	160	2.5×10	74×74×155
75			72	1.95×6.9	96	2.63×6.9	120	2/2.26×6.9	80×80×190
115			60	1.81×8.6	80	2.63×8.6	100	3.05×8.6	68×111×190
135			54	1.68×10.8	72	2.44×10.8	90	2.83×10.8	73×116×215

注:每档匝数都是由星形连接点算起的,木模圆角尺一律等于 5mm。

3)采用互感器能使仪表和继电器的规格统一。通常电压互感器二次绕组额定电压为 100V,电流互感器二次绕组额定电流为 5A。

2.7.2 电压互感器

1)工作原理 图 8.1.2—41 为一双绕组变压器,一次侧绕组匝数很多,并联在测量电源

二次侧绕组匝数很少，与电压表或继电器的电压绕组串联，由于这些电压绕组的阻抗相当大，因此电压互感器在工作时接近空载状态。

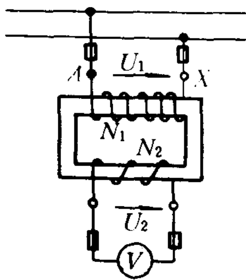


图 8.1.2－41　电压互感器的基本原理图

2）分类　按相数分为单相及三相；按安装场所分户内式及户外式；按绝缘特征分干式及油浸式。

电压互感器的准确度分为 0.2、0.5、1、3 四个等级。电压互感器的最大允许误差见表 8.1.2－12。

表 8.1.2－12　**电压互感器最大允许误差**

准确度等级	最大电压误差(%)	最大角度误差
0.2	±0.2	±10
0.5	±0.5	±20
1	±1	±40
3	±3	没有规定

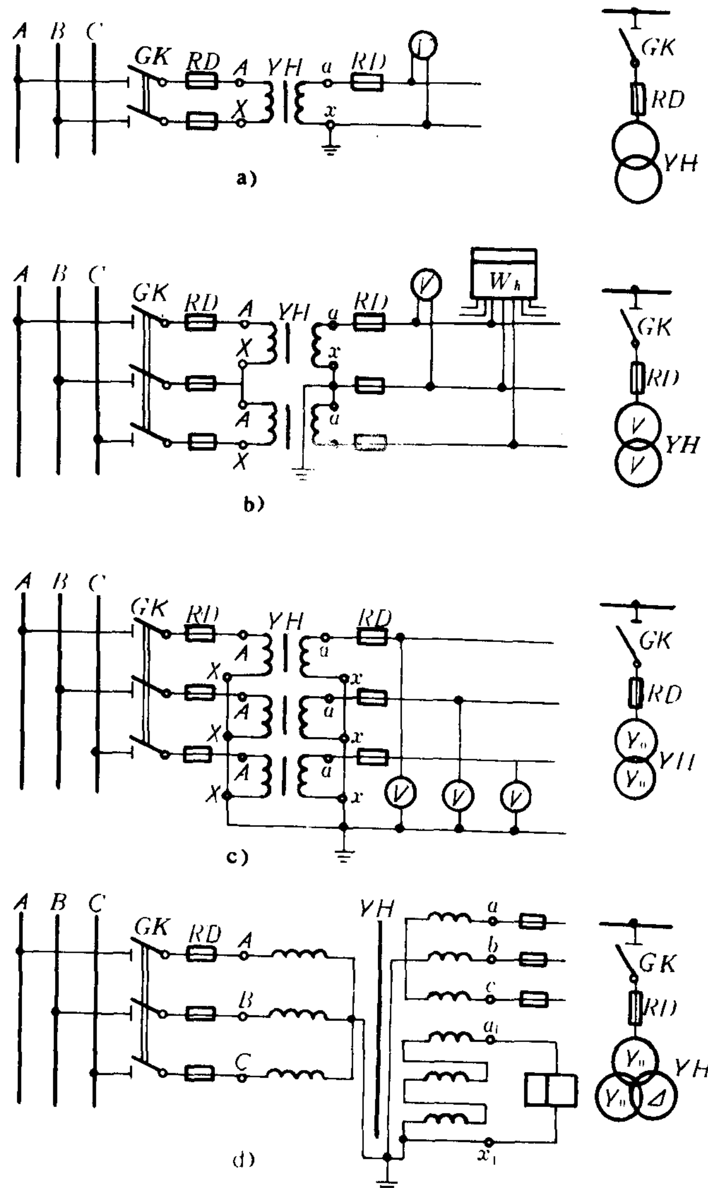


图 8.1.2－42　电压互感器在三相电路中的常用接线方案

3)常用接线方案　见图 8.1.2－42,a)只有一台单相电压互感器的接线,供仪表、继电器接于线电压;b)两台单相电压互感器接成 V/V 形,供仪表、继电器接于 A－B、B－C 两个线电压;这种接线方式广泛用于船舶电站;c)三个单相电压互感器接成 Y_0/Y_0 形,供给要求相电压的仪表、继电器及绝缘监察电压表;d)三个单相三线圈电压接成 $Y_0/Y_0/u$(开口三角形),接成 Y_0 形的二次线圈,供给仪表、继电器及绝缘监察电压表,接成开口三角形的二次线圈,构成零序电压过滤器,一旦系统发生单相接地时,开口三角形端会出现一个零序电压,作用到继电器上,引起继电器动作。

4)使用注意事项:

(1)电压互感器的二次侧在使用时不得短路;

(2)电压互感器的二次侧有一端必须接地;

(3)电压互感器在联接时,要注意其一、二次线圈接线端上的极性;

(4)电压互感器的一、二次侧一般都应装设熔断器作为短路保护。在一次侧还应装隔离开关,作为安全检修用。

5)电压互感器的技术性能及型号含义见表 8.1.2－13 和表 8.1.2－14。

表 8.1.2－13　**电压互感器的技术数据**

型号	额定电压(V)	额定容量(VA)			最大容量(VA)	接线方式	附注
		0.5 级	1 级	3 级			
JDG－0.5	220/100	25	40	100	200		
	880/100	25	40	100	200		
	500/100	25	40	100	200		
JDZ_1－6	3000/100	25	40	100	200	1/1－12	可取代 JDJ 及 JSJB 型
JDZ_1－6	6000/100	50	80	200	400	1/1－12	
JDZ_1－10	10000/100	50	80	200	400	1/1－12	
JDJ－6	3000/100	30	50	120	240		
	6000/100	50	80	200	400		
JDJ－10	10000/100	80	150	320	640		
JDJ－35	35000/100	150	250	600	1200		
$JDZJ_1$－6	$\frac{3000}{\sqrt{3}}/\frac{100}{\sqrt{3}}/\frac{100}{3}$	25	40	100	200	1/1/1－12	
$JDZJ_1$－6	$\frac{6000}{\sqrt{3}}/\frac{100}{\sqrt{3}}/\frac{100}{3}$	50	80	200	400	1/1/1－12	
$JDZJ_1$－10	$\frac{10000}{\sqrt{3}}/\frac{100}{\sqrt{3}}/\frac{100}{3}$	50	80	200	400	1/1/1－12	
JDZJ－6	$\frac{1000}{\sqrt{3}}/\frac{100}{\sqrt{3}}/\frac{100}{3}$	30	50	100	200	1/1/1－12	用三台取代老产品 JSJW 型,但不能作单相运行
JDZJ－6	$\frac{3000}{\sqrt{3}}/\frac{100}{\sqrt{3}}/\frac{100}{3}$	30	50	100	200	1/1/1－12	
JDZJ－6	$\frac{6000}{\sqrt{3}}/\frac{100}{\sqrt{3}}/\frac{100}{3}$	30	50	100	200	1/1/1－12	
JDZJ－10	$\frac{10000}{\sqrt{3}}/\frac{100}{\sqrt{3}}/\frac{100}{3}$	40	60	150	300	1/1/1－12	

续上表

型号	额定电压(V)	额定容量(VA)			最大容量(VA)	接线方式	附注
		0.5 级	1 级	3 级			
JDZJ—10	$\frac{11000}{\sqrt{3}}/\frac{100}{\sqrt{3}}/\frac{100}{3}$	40	60	150	300	1/1/1—12	用三台取代老产品 JSJW 型，但不能作单相运行
JDZJ—15	$\frac{138000}{\sqrt{3}}/\frac{100}{\sqrt{3}}/\frac{100}{3}$	40	60	150	300	1/1/1—12	
JDZJ—15	$\frac{15000}{\sqrt{3}}/\frac{100}{\sqrt{3}}/\frac{100}{3}$	40	60	150	300	1/1/1—12	
JDZJ—35	$\frac{35000}{\sqrt{3}}/\frac{100}{\sqrt{3}}/\frac{100}{3}$	150	250	600	1200	1/1/1—12	

2.7.3 电流互感器

表 8.1.2—14 **电压互感器型号字母含义**

字母排列顺序	代 号 含 义
1	J——电压互感器
2	D——单相 S——三相 C——串极式
3	J——油浸式 C——瓷箱式 Z——浇注式 G——干式 R——电容分压式
4	B——有 Z 形接线补偿线 J——接地保护 W——三线圈三相柱旁轭式铁心结构

1)工作原理　电流互感器是一个变流器，将电路中的大电流变成小电流，供给测量仪表及继电器的电流线圈，二次侧额定电流为 5A。

电流互感器的一次电流 I_1 与二次电流 I_2 间存在着下列关系：

$$I_1 \approx \frac{N_2}{N_1} \cdot I_2 = K_i \cdot I_2$$

式中：N_1、N_2——分别为电流互感器一、二次侧线圈匝数；

K_i——变流比，表示一、二次额定电流比。

2)分类　按一次线圈匝数分有单匝式和多匝式；按一次侧电压分有高压和低压；按准确度分有 0.5、1、3、10 五个等级。

3)接线方式　见图 8.1.2—43。

(1)一相式接线　用于负荷平衡的三相电路，电流表反映的是相电流。

(2)两相电流差接线　用于三相三线制电路，电流表反映二相电流的相量差值，在三相平衡负荷时，为相电流的 $\sqrt{3}$ 倍。

(3)零序接线　用于零序保护，通过电流表的是三相电流之和，即零序电流。

(4)两相 V 形接线　用于三相三线制电路中，三个电流表分别反映三相电流。

(5)三相 Y 形接线　用于三相负荷不论平衡与否的三相三线或三相四线制电路中，三个电流表分别反映三相电流。

4)使用注意事项

(1)电流互感器在使用时，二次回路不允许开路，否则在二次侧线圈中会感应出高电压，危及人身安全和损坏互感器。

(2)电流互感器的二次侧有一端必须接地；

(3)电流互感器在联接时要注意一、二次线圈接线端子上的极性。

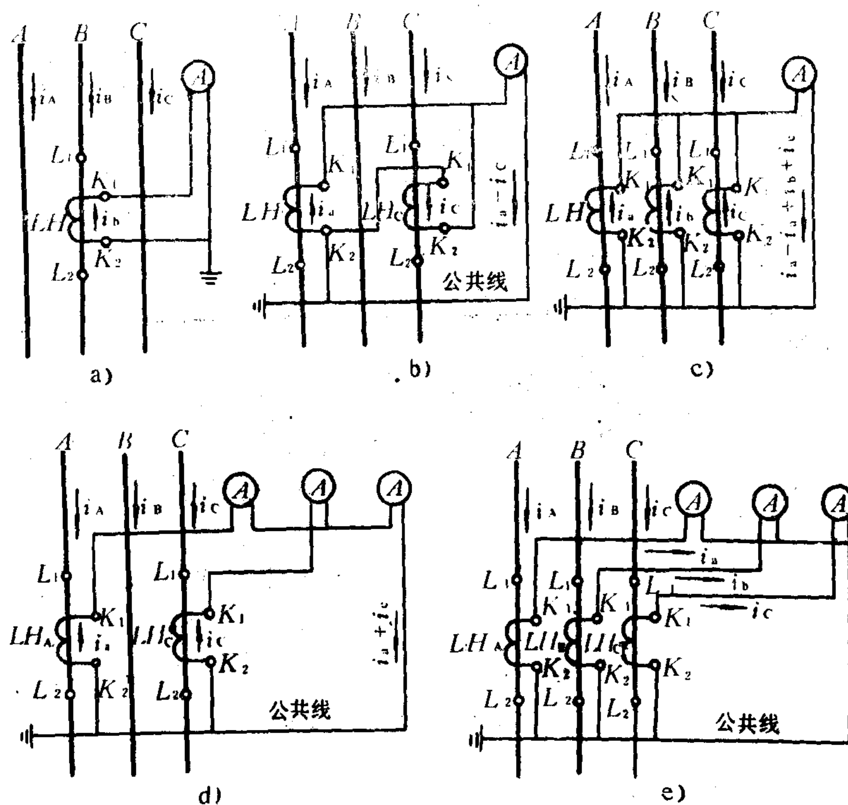


图 8.1.2－43 电流互感器在三相电路中的接线方案

a)一相式接线；b)两相电流差接线；c)零序接线；d)两相 V 形接线；e)三相 Y 形接线

5)电流互感器的型号含义及技术性能见表 8.1.2－15 和表 8.1.2－16。

表 8.1.2－15a) **低压母线型电流互感器的技术性能表**

型号	额定一次电流(A)	一次安匝	额定二次负荷(Ω)			一次需要多绕的一次电流安培值
			0.5 级	1 级	3 级	
LMZ_1－0.5	5、10、15、30、50、75、150	150				5～75
LMK_1－0.5	20、40、100、200	200	0.2	0.3		20～100
	300、400	300、400				
$LMZJ_1$－0.5	5、10、15、30、50、75、150、300	300				5～150
$LMKJ_1$－0.5	20、40、200、400	400				20～200
	500	500	0.4	0.6		
	600	600				
	800	800				
	5、10、15、30、50、75、100、150、300	300				50～150
$LMZB_1$－0.5	20、40、200、400	400				20～200
$LMKB_1$－0.5	500	500	0.4	0.6		
	600	600				
$LMZB_1$－0.5	800	800	0.4	0.6		
$LMKB_1$－0.5						
$LMZJ_1$－0.5	1000、1200、1500、2000、3000		0.8	1.2		

表 8.1.2－16b)　　**低压线圈式电流互感器技术数据**

型　　号	额定一次电流　(A)	额定二次电流(A)	额　定 电　压 (KV)	额定负荷(欧)			1秒热稳定倍数	动　稳 定　倍 数
				0.5级	1级	3级		
LQ－0.5	5、10、15、30、40、50 75、100、150、200、300、400 600 、750 、800 、1000	5	0.5	0.2			50	100
LQG－0.5	5、10、15、20、30、40、50 75、100、150、200、300、400 600 、750 、800 、1000	5	0.5	0.4	0.6		50	100
LQG_2－0.5	10、15、20、30、40 50、75、100、150、300 400	5			0.6		50	100
	600、800	5			0.6		50	70

注:1. LMZ_1($LMZJ_1$、$LMKB_1$)－0.5型电流互感器供500V以下的交流线路中测量电流、电能及继电保护用,尤其适用于季节性负荷变动的农村线路。可取代LQ－0.5型、LQG－0.5型和LYM－0.5型(150～3000安)电流互感器。

2. LMK_1($LMKJ_1$、$LMKB_1$)－0.5型电流互感器是新产品,可取代LQ－0.5型和LQG－0.5型电流互感器。

3. LQG_2、LQG为LQ－0.5的改进型,适用于安装在低压配电屏及低压配电设备中作为测量电流、电能及继电保护用

2.8　小型变压器设计

表 8.1.2－16　　**电流互感器型号字母含义**

字母次序	代　号　含　义
1	L——电流互感器
2	A——穿墙式　　B——支持式 C——瓷箱式　　D——单匝式 F——多匝式　　J——接地保护 M——母线式　　Z——支柱式 Q——线圈式　　R——装入式 Y——低压式
3	C——瓷绝缘的　　G——改进过的 K——塑料外壳式　　L——电缆电容型 M——母线式　　P——中频的
	S——速饱和的　　Z——浇注式 W——户外式　　J——树脂浇法
4	B——保护级

工频范围工作的灯丝变压器、电源变压器、控制变压器及行灯变压器等小型单相变压器的设计。

2.8.1 计算法

1)根据使用要求计算二次侧总功率

$$P_2=U_2I_2+U_3I_3+\cdots\cdots+U_nI_n=\Sigma V_iI_i(VA)$$

式中：Vi ——二次侧各线组电压有效值；

Ii ——二次侧各绕组电流有效值。

2)计算一次侧功率和电流：

$$P_1=\frac{P_2}{\eta}\quad (VA)$$

$$I_1=(1.1\sim1.2)\frac{P_1}{U_1}\quad (A)$$

式中： η—— 效率，一般取 0.8～0.9；

(1.1～1.2)—— 考虑变压器励磁电流分量经验系数。

3)预选铁心截面积 S_c：

$$S_c=K\sqrt{P}\quad (cm^2)$$

式中： P ——变压器平均功率，$P=\frac{P_1+P_2}{2}$ (VA)；

K 为铁心系数，与变压器功率有关，见表 8.1.2－17。

表 8.1.2－17　**铁心系数 K 与功率关系**

P(VA)	1～10	11～20	21～50	51～100	101～500	501～1000	1000 以上
K	2	2～1.75	1.75～1.5	1.5～1.3	1.3～1.25	1.25～1.1	1.0

表 8.1.2－18 列出目前通用的小型单相变压器硅钢片规格。

表 8.1.2－18　**小容量变压器常用铁心片规格**

铁心片型号	铁心规格 (mm) a×b	尺寸(mm)							参考数据		
		C	H	h	L	A	d	h_1	磁路平均长度(cm)	中间舌片净面积(cm^2) 芯片厚度为 0.2mm 时	芯片厚度为 0.35mm 时
GEI_{10}	10×12.5	6.5	31	18	36				5.76	1.06	1.14
	10×15									1.28	1.37
	10×17.5									1.49	1.59
	10×20									1.7	1.82
GEI_{12}	12×15	8	38	22	44				6.94	1.53	1.64
	12×18									1.84	1.97
	12×21									2.14	2.28
	12×24									2.45	2.62

续上表

铁心片型号	铁心规格(mm) a×b	尺寸(mm)							参考数据		
		C	H	h	L	A	d	h_1	磁路平均长度(cm)	中间舌片净面积(cm^2) 芯片厚度为0.2mm时	中间舌片净面积(cm^2) 芯片厚度为0.35mm时
GEI_{14}	14×18	9	43	25	50				8.04	2.14	2.29
	14×21									2.50	2.68
	14×24									2.86	3.06
	14×28									3.33	3.57
GEI_{16}	16×20	10	48	28	56				9.15	2.72	2.91
	16×24									3.26	3.49
	16×28									3.81	4.08
	16×32									4.35	4.66
$GEIB_{19}$	19×24	12	57.5	33.5	67	55	4	6	10.9	3.88	4.15
	19×28									4.52	4.84
	19×32									5.17	5.53
	19×38									6.14	6.57
$GEIB_{22}$	22×28	14	67	39	78	64	5	7	12.7	5.25	5.62
	22×33									6.17	6.61
	22×38									7.11	7.61
	22×44									8.23	8.81
$GEIB_{26}$	26×33	17	81	47	94	77	5	8.5	15.0	7.29	7.81
	26×39									8.62	9.23
	26×45									9.95	10.6
	26×52									11.5	12.3
$GEIB_{30}$	30×38	19	91	53	106	87	6	9.5	17.2	9.69	10.4
	30×45									11.5	12.3
	30×52									13.3	14.2
	30×60									15.3	16.4
$GEIB_{35}$	35×44	22	105.5	61.5	123	101	6	11	20.0	13.1	14.0
	35×52									15.1	16.6
	35×60									17.9	19.1
	35×70									20.8	22.3
$GEIB_{40}$	40×50	6	124	72	144	118	6	13	23.0	17.0	18.2
	40×60									20.4	21.8
	40×70									23.8	25.5
	40×80									27.2	29.1

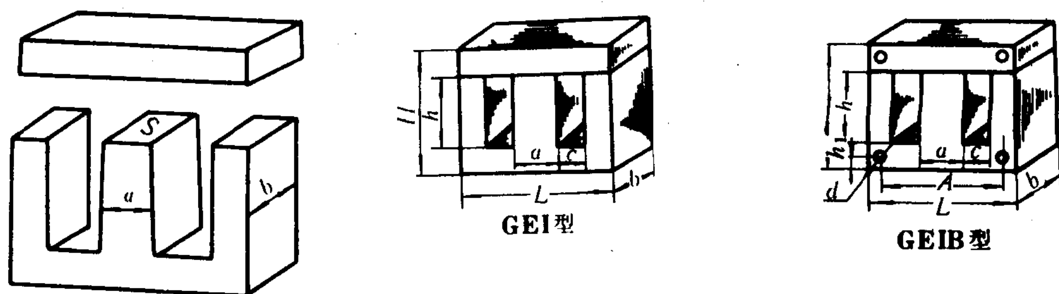


图 8.1.2—44 单相变压器尺寸图

图 8.1.2—44 中 a 为铁心中柱宽(cm)，b 为铁心净叠厚(cm)，一般$\frac{b}{a}$=1～1.75，考虑到热轧硅钢片表面涂有绝缘漆，叠片系数取 0.9 左右，则铁心毛厚 b′=(1.15～1.25)b。

4)计算每个绕组匝数

(1)一次侧绕组每伏匝数 W_0'

$$W'_0=\frac{10^8}{4.44fB_m\cdot S}=\frac{4.5\times10^5}{B_mS}$$

式中：B_m——铁心磁通密度(高斯)，通常不同硅钢片取不同值，冷轧硅钢片 D_{310}的 $B_m=12000\sim14000$，热轧硅钢片 D_{41}、D_{42}的 $B_m=10000\sim12000$，D_{43}的 $B_m=11000\sim12000$，一般电机用热轧硅钢片 D_{21}、D_{22}的 $B_m=5000\sim7000$。

(2)二次侧绕组每伏匝数：

$$W_0=1.05W'_0$$

(3)每个绕组匝数：

$$W_1=U_1\cdot W'_0\quad W_2=U_{21}\cdot W_0\quad W_{22}=U_{22}\cdot W_0$$

5)计算绕组的导线直径 d：

$$d=1.13\sqrt{\frac{I}{J}}\qquad(mm)$$

式中：I——每个绕组中电流，A；

J——电流密度，A/mm²，一般 100VA 以下连续使用的铜线变压器取 2.5；100VA 以上取 2。

6)计算绕组总的尺寸，核算铁心窗口面积：

$$S_D=C\cdot h\qquad(mm^2)$$

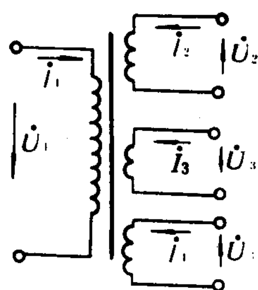


图 8.1.2—45

小型单相变压器

式中：C——窗口宽，mm；

h——窗口高，mm。

根据已计算出的 S_C，可初选一种硅钢片规格，c 和 h 即可知。

每层绕组可绕匝数：$W_i=\frac{0.9h}{d}$；

每个绕组所绕层数：$m_i=\frac{W}{W_i}$；

每个绕组所需厚度：$E_i=m_i(d'+\delta)+r$(mm)。

式中：d′——包括绝缘厚度的导线外径，mm；

δ——层间绝缘厚度，如线径在 0.2mm 以下，可采用透明纸，δ=0.015～0.02mm；如线径大于 0.2mm，可采用 δ=0.05mm

的电缆纸或牛皮纸；若线径更粗，则用 $\delta=0.12$mm 以上的青壳纸。

γ 为绕组之间的绝缘厚度(mm)，当电压不超过 500V 时，可用 2～3 层牛皮纸或一层青壳纸。

所有绕组的总厚度：

$$E=(Q+E_1+E_2+\cdots\cdots)\qquad(1.1\sim1.2)$$

式中：Q——绕组框架每边厚度。

所计算得 E 必须小于但接近于铁心窗口宽 C。否则要重新选择铁心尺寸，直至合适为止。

表 8.1.2—19　　1kVA 以下的变压器数据

容量(VA)	一次侧电压 U_1=220V				铁芯截面积 S (cm^2)	每伏需绕匝数(匝/伏)				参考铁芯尺寸(mm)			
	电流(A)	裸导线直径(mm)											
		j=2 (A/mm^2)	j=2.5 (A/mm^2)	j=3 (A/mm^2)		7000 高斯	8500 高斯	10000 高斯	中心柱宽×迭厚 a×b(mm)	A	H	c	h
3	0.0136	0.09	0.08	0.08	2.18	31	25	22	12×21	44	38	8	22
4	0.0182	0.11	0.09	0.09	2.47	27	22	19	12×24	44	38	8	22
5	0.0227	0.12	0.11	0.10	2.8	24	20	17	14×22	50	43	9	25
6	0.0273	0.13	0.12	0.108	3.05	22	18	15.5	16×22	56	48	10	28
8	0.0363	0.15	0.136	0.125	3.55	18.5	15.5	13	16×24	56	48	10	28
10	0.0454	0.17	0.15	0.14	3.95	17	14	12	16×28	56	48	10	28
12	0.0546	0.19	0.17	0.15	4.35	15	12.7	11	19×26	67	57.5	12	33.5
15	0.0682	0.21	0.18	0.17	4.85	14	11.5	9.6	19×35	56	48	10	28
16	0.0728	0.21	0.19	0.18	5	13	11	9.4	19×30	67	57.5	12	33.5
20	0.0910	0.24	0.21	0.2	5.6	12	10	8.4	19×34	67	57.5	12	33.5
22	0.10	0.25	0.23	0.21	5.85	11.3	9.3	8	22×30	78	67	14	39
25	0.1135	0.27	0.24	0.22	6.15	10.5	8.7	7.4	19×37	67	57.5	12	33.5
30	0.1365	0.29	0.26	0.24	6.85	9.5	8	6.8	22×36	78	67	14	39
33	0.15	0.31	0.27	0.25	7.15	9.2	7.6	6.5	19×43	67	57.5	12	33.5
38	0.1725	0.33	0.30	0.27	7.65	8.6	7	6.0	22×40	78	67	14	39
40	0.181	0.34	0.30	0.28	7.8	8.4	6.9	5.9	22×41	78	67	14	39
42	0.191	0.35	0.31	0.28	8	8.2	6.7	5.7	26×35	94	81	17	47
45	0.204	0.36	0.32	0.29	8.3	7.8	6.5	5.5	22×43	78	67	14	39
50	0.227	0.38	0.34	0.31	8.8	7.4	6.2	5.2	22×46	78	67	14	39
55	0.25	0.40	0.36	0.33	9.25	7	5.9	5	26×41	94	81	17	47
60	0.273	0.41	0.38	0.35	9.65	6.7	5.6	4.7	26×43	94	81	17	47
70	0.318	0.45	0.40	0.36	10.3	6.3	5.2	4.4	30×39	106	91	19	53
76	0.345	0.47	0.42	0.38	10.8	6	5	4.2	26×48	94	81	17	47
90	0.409	0.51	0.46	0.41	11.8	5.5	4.5	3.8	30×45	106	91	19	53
100	0.454	0.53	0.48	0.44	12.4	5.3	4.4	3.7	30×48	106	91	19	53

续上表

容量(VA)	一次侧电压 $U_1=220V$				铁芯截面积 S (cm^2)	每伏需绕匝数(匝/伏)				参考铁芯尺寸(mm)			
	电流(A)	裸导线直径(mm)											
		j=2 (A/mm^2)	j=2.5 (A/mm^2)	j=3 (A/mm^2)		7000高斯	8500高斯	10000高斯	中心柱宽×选厚 a×b(mm)	A	H	c	h
120	0.546	0.59	0.53	0.48	13.6	4.8	3.9	3.4	30×50	106	91	19	53
140	0.636	0.63	0.57	0.52	14.7	4.5	3.7	3.1	35×48	123	105.5	22	61.5
160	0.728	0.68	0.61	0.56	15.5	4.1	3.4	2.9	35×50	123	105.5	22	61.5
185	0.841	0.73	0.66	0.60	16.7	3.8	3.2	2.7	35×35	123	105.5	22	61.5
200	0.91	0.76	0.68	0.62	17.7	3.7	3.1	2.6	35×58	123	105.5	22	61.5
230	1.045	0.83	0.73	0.67	19	3.4	2.9	2.4	40×55	144	124	26	72
250	1.135	0.86	0.77	0.69	19.7	3.3	2.75	2.3	40×57	144	124	26	72
280	1.273	0.90	0.8	0.73	20.8	3.1	2.6	2.2	40×60	144	124	26	72
320	1.454	0.96	0.86	0.8	22.3	2.9	2.4	2.1	40×64	144	124	26	72
380	1.725	1.04	0.94	0.86	24.5	2.7	2.2	1.9	45×63	161	138.5	29	80.5
420	1.91	1.10	0.98	0.90	25.5	2.6	2.1	1.8	40×73	144	124	26	72
450	2.045	1.14	1.02	0.93	26.5	2.5	2.05	1.75	45×68	161	138.5	29	80.5
518	2.35	1.23	1.10	1.00	28.5	2.30	1.90	1.6	45×73	16	138.5	29	80.5
575	2.61	1.29	1.16	1.04	29.8	2.2	1.8	1.55	45×76	161	138.5	29	80.5
600	2.72	1.33	1.18	1.08	30.5	2.15	1.75	1.5	50×70	178	153	32	89
700	3.18	1.43	1.30	1.16	32.8	2.0	1.63	1.4	50×75	178	153	32	89
781	3.55	1.50	1.35	1.22	34.5	1.85	1.55	1.3	50×79	178	153	32	89
1020	4.63	1.72	1.55	1.40	39.5	1.6	1.35	1.15	50×91	178	153	32	89

2.9 变压器的维护、检查及故障分析

2.9.1 变压器的维护

1)负荷监视　用电压表电流表监视变压器的负荷，并安排值班人员定时记录。对于配电变压器，应在大负荷时测量三相负荷，防止三相不平衡运行。

2)温度监视　安装在变压器上的温度计指示值和配电盘上温度计，都要定时记录。

2.9.2 变压器的检查

检查内容包括：储油柜和充油套管内的油色，油面的高度和有无漏油；套管是否清洁，有无破损裂纹和放电痕迹；变压器音响的性质，"嗡嗡"声是否大，有无新的音响发生；冷却装置的运行是否正常；电缆和母线有无异常现象；变压器温升情况；防爆管的隔膜是否完整；瓦斯继电器油面和连续油门是否打开；外壳的接地状态；保险器的状态；油的再生和过滤工作状态，储油柜的集泥器有无水分和脏物；通风状态；控制油门铝封情况；各相颜色是否清楚。

2.9.3 变压器的故障分析

1)绝缘降低　使绝缘电阻下降，造成运行时泄漏电流增加，发热严重，温升增高，从而进

一步促进绝缘老化。若延续下去，后果非常严重。绝缘下降的原因：

(1)绝缘受潮；

(2)绝缘老化，年久失修的老变压器，易出现此类故障；

(3)油质劣化，绝缘性能变差。

2)温升过高　此时电流表指针超过了预定界限，变压器发热和油面上升，严重时保护装置动作，切断电路。温升过高原因：

(1)电流过大　负荷过重，超过变压器容量允许的限度。如 Y/Y_0—12 连接的变压器，当三相负荷不平衡时会发生过热。Δ 接法的变压器若对外一相断线，则对内线圈有环流通过，将发生局部过负荷。变压器受振后夹紧螺栓松脱，磁阻增大，无功电流增大也会造成过电流。若线圈反接，造成运行时的反电势不足，也会产生过电流。变压器带负荷投入同样会引起过电流。

(2)通风不良　变压器表面积尘，变压器风道阻塞，风叶片损坏，风扇电动机转速降低，环境温度升高等造成通风不良。

(3)变压器内部损坏　如线圈损坏，短路、油质不良等。

3)油面不正常

(1)油面升高，主要随着温度的增加而产生。当高出规定油面时应当放油。

(2)油面降低，主要检查是否漏油，还是油凝固所致。油面显著降低时应加油。

4)声响异常　运行正常时是发出连续匀称的嗡嗡声，各种变压器的声音大小不一。

(1)声音增大　检查是否电压过高；油温是否异常地提高；铁芯太松需将铁心重新夹紧。

(2)发出"吱吱"声，说明表面有闪络，检查套管是否太脏、有裂纹，若闪络在内部，需对内部进行检查。

(3)发生"哔剥"声，表示有击穿现象，可能发生在线圈间或铁芯与夹件间。

5)瓦斯继电器动作，说明变压器可能有问题。若是信号动作而不跳闸，通常有下列原因：

(1)油位降低，二次回路的故障；

(2)滤油、加油或冷却系统不严密，致使空气进入变压器。

6)变压器自动装置跳闸　应检查外部有无短路、过负荷和二次线路等故障。如故障不在外部，需检查绝缘电阻。若失火，则需拉闸放油，使油面低于着火处，并进行灭火。

7)用试验方法检查故障　许多故障不能全靠外部直观检查就能正确判断，例如匝间短路，内部线圈放电或击穿，内部线圈与外部线圈之间绝缘被击穿等，必须进行试验测量，才能正确判断故障。

2.10　船用变压器型号规格及铭牌数据(见文献[6])

3　异步电机

异步电机是应用最广泛的一种电机，它是基于气隙旋转磁场与转子线组中感应电流相互作用产生电磁转矩，从而实现能量转换的一种交流电机，主要作电动机用。工作特点是转子转速与定子旋转磁场转速间存在一定转差，故称为异步电动机。由于转子绕组电流是感应产生的，所以异步电动机又称感应电动机。它与其它电机相比，具有结构简单，运行可靠，效率较高，制造容易，成本较低，而且坚固耐用等优点。主要缺点是：不能经济地在较大范围内平滑调速以及必须从电网吸取滞后电流，使电网功率因数降低。

3.1 基本结构与分类

3.1.1 基本结构 异步电机主要由定子和转子两大部分构成。

3.1.2 定子 由铁芯、绕组和机座等组成。见图 8.1.2—46。

1)定子铁心 是电机磁路的组成部分，一般由冲片、齿压板和压圈等零件经压装后由扣片或弧键固成一体。冲片由两面涂以绝缘漆(或氧化膜)的 0.5mm 厚的电压 I 钢片冲压而成。

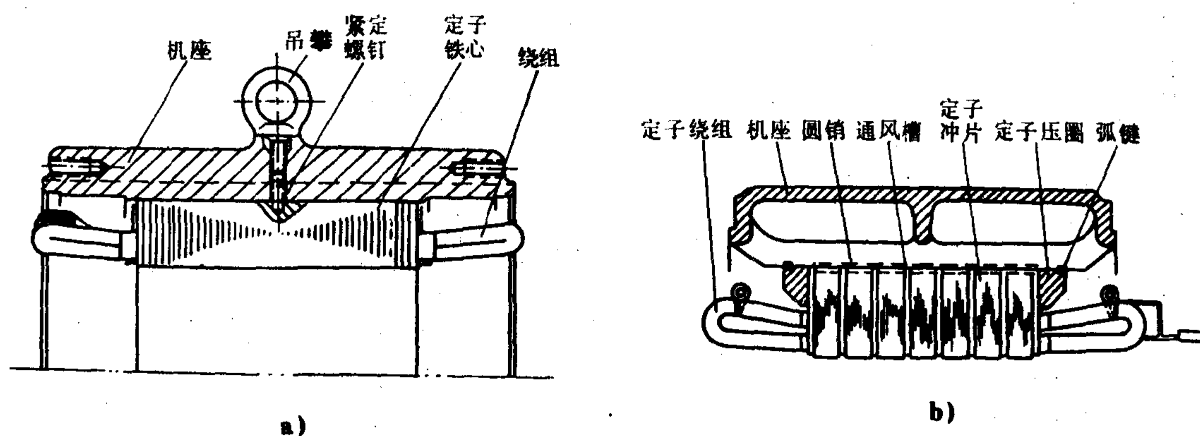


图 8.1.2—46 定子结构

a)小型自扇冷封闭式异步电动机定子结构；b)中型防护式异步电动机定子结构

2)机座 主要用来支撑定子铁芯、固定端盖，并通过其底脚将整台电机安装固定。中小型电机的机座一般用铸铁铸成；大型电机机座用钢板焊接而成。自扇冷封闭式小型电机的铸铁机座，壳体制成圆筒形，外表带有幅射状散热筋。

3)绕组 为对称三相绕组，六个出线头固定在机座的接线盒内，接线头标志见表 8.1.2—20。三相绕组可接成 Y 形或 Δ 形。

表 8.1.2—20 三相异步电动机出线端标志符号

绕组名称		出线端标志符号			
		始端		末端	
		新	旧	新	旧
定子绕组（各相不连接）	第一相	D_1	A(U)	D_4	X
	第二相	D_2	B(V)	D_5	Y
	第三相	D_3	C(W)	D_6	Z
定子绕组（中性点连接）	中性点	N			
	第一相	D_1			
	第二相	D_2			
	第三相	D_3			

3.1.3 转子 主要由铁芯、绕组及转轴等组成。

1)转子铁芯 一般用 0.5mm 厚电工钢片冲压后再叠装而成。小直径转子铁芯直接安装在转轴上，直径较大的转子铁芯一般通过其它支架固定于转轴上。

2)转子绕组　分鼠笼型和绕线型两类。

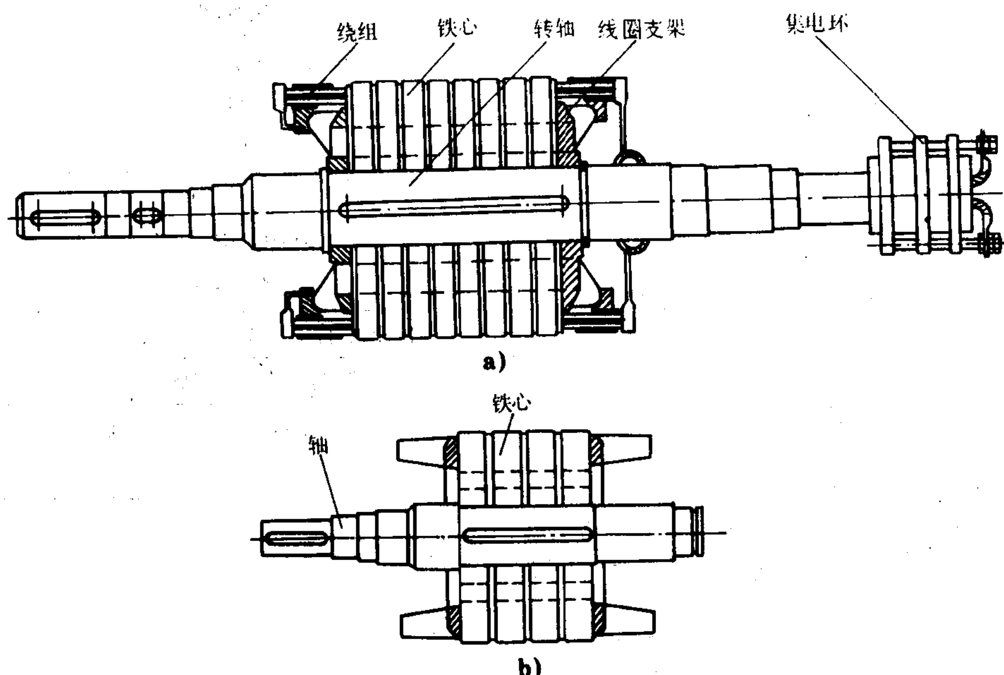


图 8.1.2—47　转子结构

a)鼠笼型铸铝转子结构；b)绕线型转子结构

(1)鼠笼型　分铸铝的铜(或铝)导条与端环焊接两种。前者广泛用于小型电机和转子直径在 600mm 以下的中型电机，后者用于大型和部分中型电机。为了改善起动性能，笼型绕组制成双笼式和深槽式，主要用于 100kW 以上的大、中型电动机。

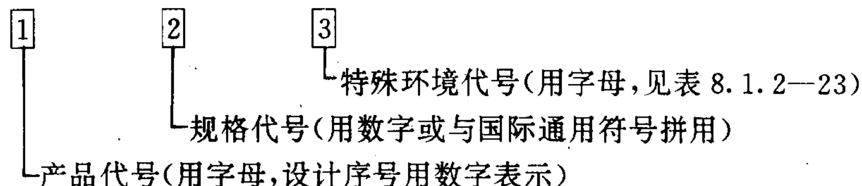
(2)绕线型　又分插入式和散嵌式两种。转子绕组的相数、极对数和定子绕组相同。转子三相绕组一般都接成 Y 形，三相引出线接到轴上的三个集电环上，再通过电刷与外电路联接。

3.1.4　异步电动机的主要类型

1)主要分类　见表 8.1.2－18

2)主要派生和专用产品一般是按工作环境、拖动特性或特殊性能要求来进行分类，见表 8.1.2－19。

3)异步电机型号的表示方法



(1)产品代号　由异步电机类型代号(Y)，电机特点代号(用字母表示)和设计序号(用数字表示)等三个小节顺序组成。

(2)规格代号　用中心高或铁芯外径或机座号或凸缘号、机座长度、铁芯长度、功率、转速或极数等表示。对中小型电机机座长度可用国际通用符号来表示，S 表示短机座，M 中机座，L 长机座。

表 8.1.2—21　　三相异步电动机的主要分类

分类方式	类别		
转子绕组型式	笼型，绕线型		
电机尺寸 中心高 Hmm （定子铁芯外径 D_1mm）	大型 ＞630 （＞1000）	中型 355～630 （500～1000）	小型 80～315 （120～500）
防护型式	开启式（IP11） 防护式（IP22，IP23） 封闭式（IP44）		
通风冷却方式	自冷式，自扇冷式，他扇冷式，管道通风式		
安装结构型式	卧式，立式　带底脚，带凸缘		
绝缘等级	E级，B级，F级，H级		
工作定额	连续，断续，间歇		

注：①异步电动机有单相和三相两类。单相异步电动机一般为 1kW 以下的小功率电机。
②目前我国生产的异步电机约有一百个系列，五百多个品种和五千多个规格。

表 8.1.2—22　　异步电动机的主要派生和专用产品

序号	产品类别	主要用途	型号
1	防爆电动机	石油、化工、煤矿等有爆炸危险的场所	YA、YB、YF
2	起重及冶金用异步电动机	冶金和一般起重设备	YZ、YZR
3	辊道异步电动机	传动轧钢机辊道	YG
4	深井泵用异步电动机	电机与长轴深井泵配套，从深井提水作为工业用水农业灌溉之用	YLB
5	潜水异步电动机	电机分别与潜水泵或河流泵配套，潜入井下或浅水中，供灌溉提水之用	YQS、YQSY
6	井用潜油异步电动机	电机与深井油泵配套，潜入石油井中，直接提油	YQY
7	屏蔽异步电动机	原子能、化工、石油等部门，可以不泄漏地传送不含有颗粒的剧毒、易燃、放射性、腐蚀性液体	YP
8	高转差率异步电动机	惯性矩较大并有冲击性负荷机械的传动，如剪床，压力机，锻压机及小型起重机	YH
9	力矩异步电动机	恒张力、恒线速（卷绕）传动和恒转矩（导辊）传动	YLJ
10	电磁调速异步电动机	恒转矩和风机类型设备的无级调速	YCT
11	变极多速异步电动机	机床、印染机、印刷机等需要变速的设备上	YD
12	齿轮减速异步电动机	矿山、轧钢、造纸、化工等需要低速、大转矩的各种机械设备	YCJ
13	自制动异步电动机	制动方式各有不同，均用于单梁吊车和机床进给系统等	YEP、YEG、YEZ

表 8.1.2－23　**特殊环境代号表**

"高"原用	G	热带用	T
"船"(海)用	H	"湿热"带用	TH
户"外"用	W	"干热"带用	TA
化工防"腐"用	F		

(3)特殊环境代号　按表 8.1.2－23 规定，如果同时具备一个以上的特殊环境条件时则按表中顺序排列。

4)电机产品代号　见表 8.1.2－24。

3.1.5　异步电机的工作制及额定数据

1)电机的工作制分为三种：

(1)连续工作制电机　按照规定的全部电量和机械量的数值，不受时间的限制连续运行的电机。

(2)短时工作制电机　按照规定的全部电量和机械量的数值，在规定的持续时间限值内运行(由实际冷状态开始)的电机。标准持续时间限值分为 10、30、60、90min 四种。

(3)断续工作制电机　按照规定的全部电量和机械量的数值，长期运行于一系列完全相同的周期的电机。此周期包括一个额定负载时间和一个停止时间。额定负载时间与整个周期之比称为负载持续率。每个周期为 10min，标准的负载持续率为 15%、25%、40%和 60%。

表 8.1.2－24　**异步电机产品代号表**

序号	产品名称	新产品代号	新产品代号汉字意义	老产品代号
1	异步电动机	Y	异	J,JO,JS,JK
2	绕线转子异步电动机	YR	异绕	JR,JRO,YR
3	大型高速(快速)异步电动机	YK	异(快)	JK
4	大型绕线转子高速(快速)异步电动机	YRK	异绕(快)	YRG
5	高起动转矩异步电动机	YQ	异起	JQ,JQO
6	高转差率(滑率)异步电动机	YH	异(滑)	JH,JHO
7	多速异步电动机	YD	异多	JD,JDO
8	笼型转子立式异步电动机(大中型)	YL	异立	YLL,JSL
9	绕线转子立式异步电动机(大中型)	YRL	异绕立	JRL
10	精密机床用异步电动机	YJ	异精	JJO
11	制动异步电动机(傍磁式)	YEP	异(制)傍	JZD
12	制动异步电动机(杠杆式)	YEG	异(制)杠	JZD
13	制动异步电动机(附加制动器式)	YEJ	异(制)加	JZD
14	锥形转子制动异步电动机	YEZ	异(制)锥	JZZ
15	电磁调速异步电动机	YCT	异磁调	JZT
16	机械调速异步电动机	YJT	异机调	JT
17	换向器(整流子)调速异步电动机	YHT	异换调	JZS

续上表

序号	产品名称	新产品代号	新产品代号汉字意义	老产品代号
18	齿轮减速异步电动机	YCJ	异齿减	JTC
19	摆线针轮减速异步电动机	YXJ	异线减	JXJ
20	行星齿轮减速异步电动机	YHJ	异行减	
21	力矩异步电动机	YLJ	异力矩	JLJ
22	装入式异步电动机	YUR	异(装)入	
23	滚筒用异步电动机	YGT	异滚筒	
24	频繁起动用异步电动机	YPQ	异频起	
25	辊道用异步电动机	YG	异辊	JG,JGK,JGT
26	起重冶金用异步电动机	YZ	异重	JZ
27	起重冶金用绕线转子异步电动机	YZR	异重绕	JZR
28	起重冶金用绕线转子(管道通风式)异步电动机	YZRG	异重绕管	JZRG
29	起重冶金用绕线转子(自带风机式)异步电动机	YZRF	异重绕风	
30	起重冶金用制动异步电动机	YZE	异重(制)	
31	起重冶金用减速异步电动机	YZJ	异重减	
32	起重冶金用减速绕线转子异步电动机	YZRJ	异重绕减	
33	电梯用异步电动机	YTD	异梯电	JTD
34	木工用异步电动机	YM	异木	JM
35	中频异步电动机	YZP	异中频	
36	电动阀门用异步电动机	YDF	异电阀	
37	耐振用异步电动机	YN	异耐	
38	震捣器用异步电动机	YUD	异(震)捣	
39	管道泵用异步电动机	YGB	异管泵	
40	立式深井泵用异步电动机	YLB	异立泵	JLB
41	井用(充水式)潜水异步电动机	YQS	异潜水	JQS
42	井用充油式潜水异步电动机	YQSY	异潜水油	JQSY
43	井用潜油异步电动机	YQY	异潜油	JQY
44	井用潜卤异步电动机	YQL	异潜卤	JQL
45	钻探用异步电动机	YTZ	异探	JTZ
46	单相电容起动异步电动机	YDY	异单(容)	JDY
47	屏蔽式异步电动机	YP	异屏	
48	装岩机用异步电动机	YI	异(岩)	
49	轴流式局部扇风机(通风机)	YT	异(通)	
50	防爆安全型异步电动机	YA	异安	JAO
51	隔爆型异步电动机	YB	异爆	JB,JBS
52	防爆通风型异步电动机	YF	异风	
53	防爆安全型绕线转子异步电动机	YAR	异安绕	JAR

续上表

序号	产品名称	新产品代号	新产品代号汉字意义	老产品代号
54	隔爆型绕线转子异步电动机	YBR	异爆绕	JBR
55	防爆安全型高起动转矩异步电动机	YAQ	异安起	
56	隔爆型高起动转矩异步电动机	YBQ	异爆起	
57	防爆安全型高转差率(滑率)异步电动机	YAH	异安滑	
58	隔爆型高转差率(滑率)异步电动机	YBH	异爆滑	
59	防爆安全型多速异步电动机	YAD	异安多	
60	隔爆型多速异步电动机	YBD	异爆多	
61	隔爆型制动异步电动机(傍磁式)	YBEP	异爆(制)傍	
62	隔爆型制动异步电动机(杠杆式)	YBEG	异爆(制)杠	
63	隔爆型制动异步电动机(附加制动器)	YBEJ	异爆(制)加	
64	防爆安全型电磁调速异步电动机	YACT	异安磁调	
65	隔爆型电磁调速异步电动机	YBCT	异爆磁调	
66	防爆安全型机械调速异步电动机	YAJT	异安机调	
67	隔爆型机械调速异步电动机	YBJT	异爆机调	
68	防爆安全型齿轮减速异步电动机	YACJ	异安齿减	
69	隔爆型齿轮减速异步电动机	YBCJ	异爆齿减	
70	电梯用防爆安全型异步电动机	YATD	异安梯电	
71	电梯用隔爆型异步电动机	YBTD	异爆梯电	
72	电动阀门用防爆安全型异步电动机	YADF	异安电阀	
73	电动阀门用隔爆型异步电动机	YBDF	异爆电阀	
74	震捣器用防爆安全型异步电动机	YAUD	异安(震)捣	
75	管道泵用隔爆型异步电动机	YBGB	异爆(管)泵	
76	隔爆型屏蔽式异步电动机	YBP	异爆屏	
77	装岩机用隔爆型异步电动机	YBI	异爆(岩)	JBT
78	隔爆型轴流式局部扇风机(通风机)	YBT	异爆(通)	JBT
79	链板运输机用隔爆型异步电动机	YBY	异爆运	JBY
80	绞车用隔爆型异步电动机	YBJ	异爆绞	JBJ
81	回柱绞车用隔爆型异步电动机	YBH	异爆回	
82	立式深井泵用隔爆型异步电动机	YBLB	异爆立泵	
83	起重冶金用隔爆型异步电动机	YBZ	异爆重	

2)电机的额定数据

(1)电动机的额定功率　指输出的机械功率,单位用 W、kW 或 MW 表示。

(2)额定电压　电机在额定运行时的线电压,单位用 V 或 kV 表示。

(3)额定频率　电机在额定运行时的频率,单位用 Hz 表示。

(4)额定电流　电机在额定运行时的线电流,单位用 A 表示。

(5)额定转速　电机在额定运行时的转速,单位用 r/min 表示。

3.1.6 主要技术数据 有额定功率、额定转速、额定电压、效率 η、功率因数 cosφ、起动电流 I_{st}、起动转矩 T_{st}和最大转矩 T_{max}，见表 8.1.2—25 所示。

表 8.1.2—25 **三相异步电动机基本系列产品主要技术数据**

系列型号	功率 kW	电压 V	η %	cosφ	$\frac{I_{st}}{I_N}$	$\frac{T_{st}}{T_N}$	$\frac{T_{max}}{T_N}$	极数
YR	400～3200	6000	89.5～94.0	0.68～0.86			1.8	6～24
Y	400～2000	6000	90.5～94.0	0.72～0.86	6.5	0.7	1.8	6～16
YK	1000～3000	6000	93.0～95.0	0.84～0.86	7.0	0.7	1.8	2
JS2 JSL2	60～320	380	89.5～93.5	0.80～0.91	5.5～6.5	1.0	1.8～2.0	4～10
JR2 JRL2	60～320	380	87.5～93.5	0.79～0.91			1.8～2.0	4～10
JS	45～280	380	89～94.5	0.80～0.91	5.5～6.5	0.9	1.6	4～12
	200～780	6000						
JR	45～300	380	8.0～94.5	0.76～0.90			1.8	4～12
	200～1050	6000						
J2 JO2	0.6～125	380	74～92.5	0.68～0.90	5.5～6.5	1.0～2.2	1.8～2.2	2～10

3.2 工 作 原 理

异步电机的定子三相绕组通以三相交流电流后，在气隙中产生旋转磁场，旋转磁场切割定、转子绕组而分别在定、转子绕组中感应电动势。转子电动势在自成闭合回路的转子绕组中产生电流。转子电流与气隙中基波磁场相互作用产生电磁转矩，拖动机械负载旋转。

3.2.1 三相交流绕组

1)分类 见表 8.1.2—26。

表 8.1.2—26 **交流绕组的分类**

分类方式	按相带分	按每相每极槽数 q 分	按槽内线圈边层数分	按线圈端部连接线形状分	按相数分	按线圈节距分	按分布情况分
类别	有 120°、60°、30°相带及混合相带	有整数槽和分数槽绕组	有单层、双层和单双层绕组	有叠绕组和波绕组	有单相、三相及多相绕组	有整距、短距和长距绕组	有集中绕组和分布绕组

2)三相绕组连接

(1)单层绕组 见图 8.1.2—48。

①单层同心式 由几何尺寸和节距不等的线圈连成同心形状的线圈构成。

②单层交叉式绕组

③单层链式绕组 各线圈尺寸相同，线圈端部不交叉。

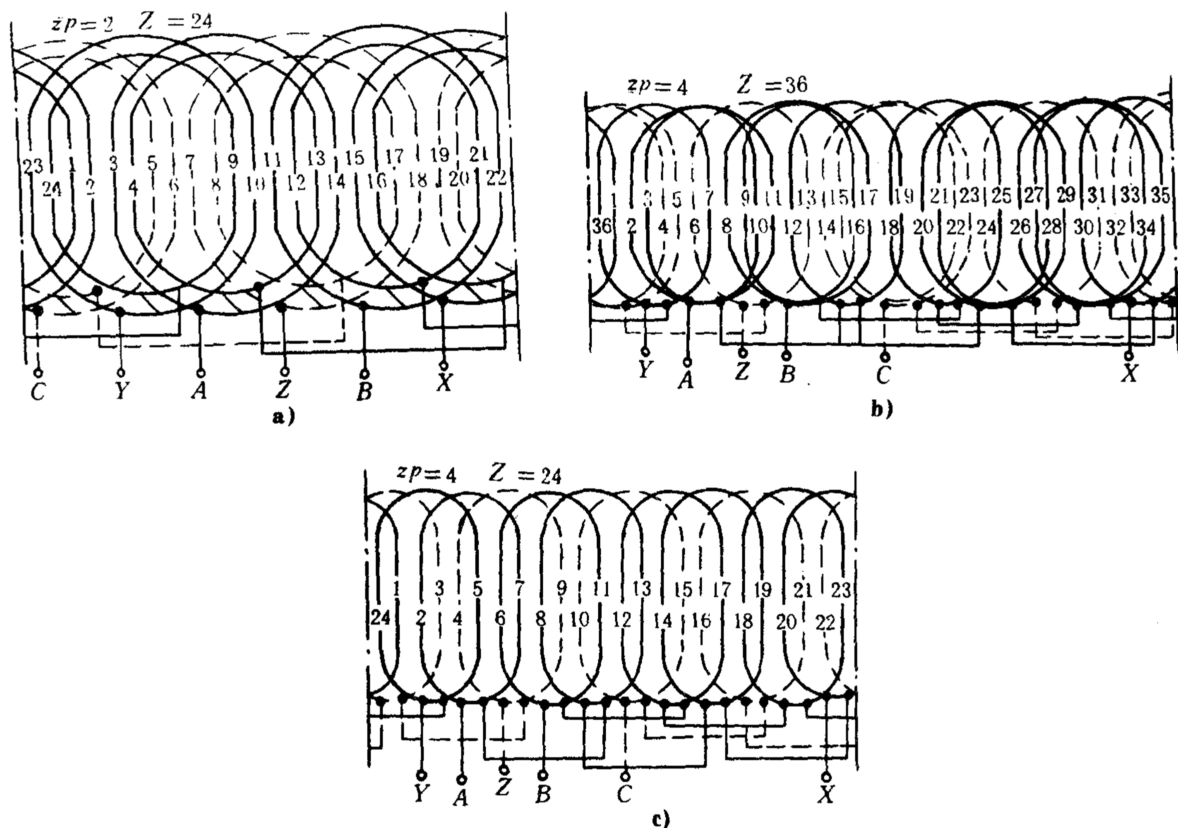


图 8.1.2—48 单层绕组展开图

a)单层同心式；b)单层交叉式；c)单层链式

3)双层绕组 见图 8.1.2—49。

①双层叠绕组 每槽有两个线圈边，各线圈尺寸相同，可选择有利节距，以改善电动势和磁动势波形。

②双层波绕组 与叠绕组相比，可减少极间连接线，常用于异步电动机绕线型转子。

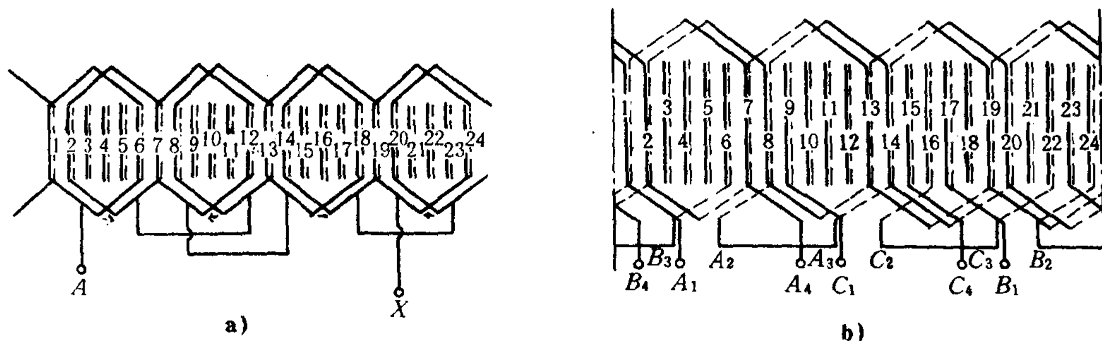


图 8.1.2—49 双层绕组展开图

a)三相双层叠绕组；b)三相双层波绕组

3.2.2 旋转磁场

在对称三相绕组中通以三相对称电流后，形成一个幅值不变，在空间以一定速度旋转的磁动势。

旋转磁场的转速为：

$$n_s = \frac{60f_1}{p} \quad r/min$$

式中：f_1——电源频率；

p ——磁极对数。

旋转磁场的旋转方向与通入的三相电流相序一致。

3.2.3 转差率

异步电动机转子的旋转方向与定子磁场的旋转方向一致，但转子转速 n 始终小于磁场转速 n_s，两者差值与同步转速 n_s 的比值，称为转差率，用 s 表示，即：

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad 或 \quad s = \frac{n_s - n}{n_s} \times 100\%$$

电磁制动 电动机 发电机 T_{em} T_{max} T_{st} S 1.0 S_m 0

图 8.1.2—50 转矩—转差率曲线

转差率 s 是描述异步电机运行情况的一个重要物理量，不同 s 值反映电机处于不同运行状态：

$n=0, s=1$	电动机起动瞬间
$n_s > n > 0, 0 < s < 1$	电动机运行
$n > n_s, s < 0$	发电机运行
$n < 0, s > 1$	电磁制动运行

3.2.4 电磁转矩和转矩——转速特性

1）电磁力矩 T_{em} 正比于转子电流 I_2，转子电路功率因数 $\cos\varphi_2$ 以及每极磁通量 Φ，即：

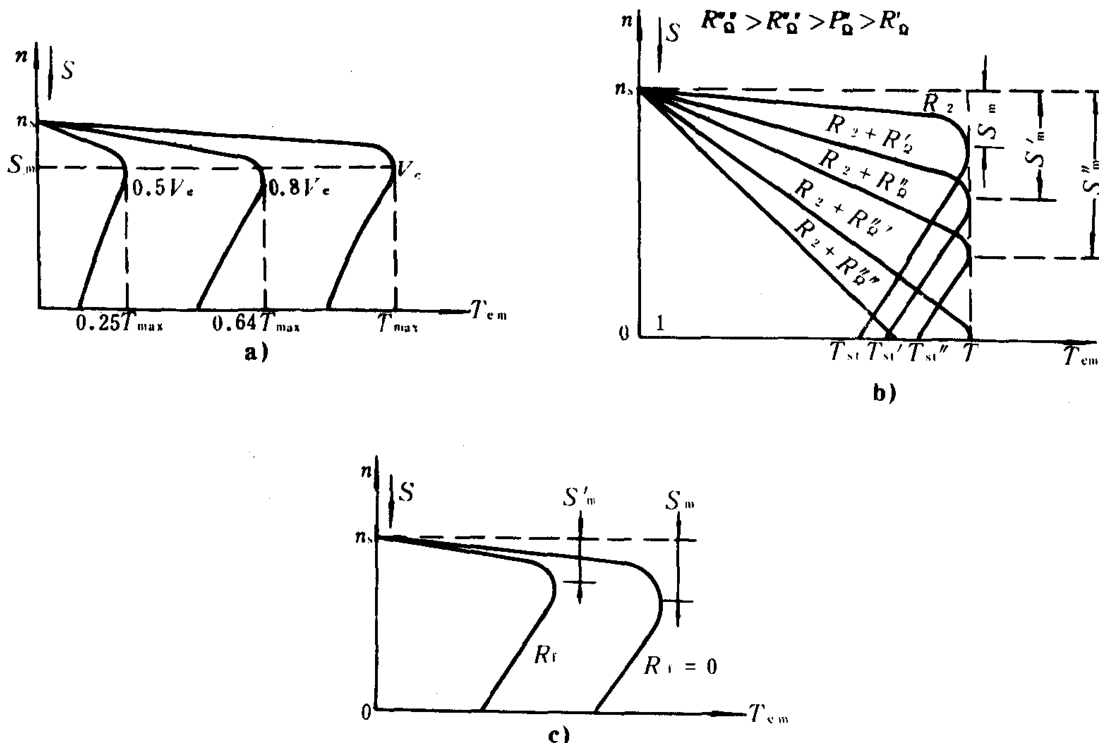


图 8.1.2—51 人为机械特性

a）降低电网电压；b）转子串对称电阻；c）定子串对称电阻

$$T_{em} = CM\Phi I_2\cos\varphi_2$$

2)电磁转矩与转差率的关系曲线，见图 8.1.2—50。图中 T_{st}为起动转矩，即 n＝0，s＝1 时的转矩；T_{max} 为最大转矩，相应的转差率 S_m。

3)影响转矩—转速特性曲线的因素

(1))降低电网电压 U　T_{st}和 T_{max}都随 U^2 成比例下降，而 S_m 不变。见图 8.1.2—51a)。

(2)转子电路内串接对称电阻 T_{max}不变，而 S_m 随转子电阻值成正比增加，使 T_{st}变化。见图 8.1.2—51b)。

(3)定子电路内串接电阻 R_f，见图 8.1.2—51c)。

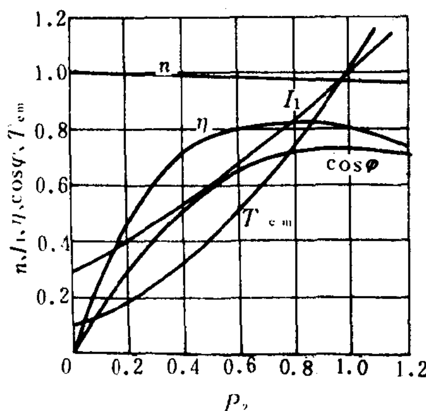


图 8.1.2—52　运行特性曲线

3.3　三相异步电动机

3.3.1　运行特性　是指在额定电压、额定频率下，异步电动机的转速 n、效率 η、功率因数 $\cos\varphi_1$、定子电流 I_1、电磁转矩 T_{em}等与输出功率 P_2 的关系曲线。图 8.1.2—52 中以标准值示出一般用途异步电动机典型的运行特性曲线。

1)运行特性随负载变化情况　见表 8.1.2—27。

表 8.1.2—27　**运行特性随负载变化情况**

运行特性	空载时	当负载增加时	额定负载时
$s=f(p_2)$	$s\approx0$	当 p_2 增加时，s 稍有增加	一般 $S_N=0.01\sim0.05$
$n=f(p_2)$	ns	因 $n=(1-s)n_s$，当 p_2 增加时，n 稍有下降	一般 $n_N=(0.99\sim0.95)n_s$
$\eta=f(p_2)$	0	随负载增加而增加，当负载增加到一定值（例如 50%额定值）以上时，变化较少	在$(\frac{3}{4}\sim\frac{4}{4})p_N$ 范围内达到最大值
$\cos\varphi_1=f(p_2)$	通常 <0.2	随负载增加，定子电流有功分量增加，功率因数逐渐上升	在额定负载附近达到最大值
$T_{em}=f(P_2)$	T_{em0}	因 $T_{em}=P_{em}/\frac{2\pi n}{60}$，而负载变化时 n 变化很小，$P_{em}=p_0+p_2$，故 $T_{em}=f(p_2)$近似为一直线	T_{emN}
$I_1=f(p_2)$	$I_0=I_m$	因 $\dot{I}_1=\dot{I}_m+\dot{I}_2$，当 p_2 增加时，I_2 增加，故定子电流也增加	I_{1N}

2)运行性能随电压和频率变化情况　见表 8.1.2—28。

表 8.1.2－28　**运行性能的变化**

运行性能	频率额定，电压低于额定值	电压额定，频率低于额定值
转　矩	T_{max}减小($\propto U_1^2$)；T_{st}减小($\propto U_1^2$)	T_{max}增大($\propto \frac{1}{f_2}$)；T_{st}也增大
功率因数	因 Φ_1 减小($\propto U_1$)，故 I_m 减小，$\cos\Phi$ 增大	因 $U_1 \approx E_1 \propto f\Phi_1$＝常值，即 Φ_1 增大($\propto \frac{1}{f}$)，故 I_m 增大，$\cos\Phi$ 降低
电　流	因 $T_{em} \propto \Phi_1 I_2 \propto U_1 I_2$＝常值。故 I_2 增大($\propto \frac{1}{U_1}$)；负载较大时 I_1 一般增大	因 $T_{em} \propto \Phi_1 I_2 \propto \frac{I_2}{f}$＝常值，故 I_2 减小($\propto f$)；而 I_m 增大，故 I_1 视具体情况而定
转差率	s 增大($\propto I_2^2 \propto \frac{1}{U_1^2}$)	s 降低($\propto \frac{I_2^2}{f} \propto f$)
转　速	因 S 值对 n 影响很小，故 n 变化很小	因 s 值对 n 影响很小，故 n 降低($\propto f$)
损　耗	P_{Fe1}减小；P_{Cu2}增大；P_{fv}近似不变；P_{cU1}轻载时变化小，负载较大时一般增大	P_{Fe1}增大，P_{cu2}减小；P_{fv}减小；P_{cu1}视具体情况而定
效　率	轻载时 η 稍增加；负载较大时 η 降低	因输出功率降低，故 η 一般略降低
温　升	θ 增加	θ 略增加

3.3.2　起动

3.3.2.1　笼型电动机的起动方法

1)全电压起动　在电源容量足够大时，应优先采用。一般 $I_{st}/I_N = 5 \sim 8$，$T_{st}/T_n = 1 \sim 2$。

2)星一角起动法　适用于三角形接法电动机，起动时改为星形接法，使起动电流降为$\frac{1}{3}$，起动转矩也降为$\frac{1}{3}$。

3)自耦变压器降压起动法　定子绕组在起动时接在自耦变压器二次侧，有不同抽头供选择，起动电流与起动转矩都随端电压平方成比例下降。

4)定子电路中串电阻或电抗降压起动。

3.3.2.2　绕线型转子电动机的起动方法

1)起动变阻器起动　起动时，电阻全部接入，随着转速上升，逐级切除电阻，起动完毕后，将电阻全部短接。

2)频敏变阻器起动　频敏变阻器实际上是一个由厚钢板作钢芯的三相电抗器，在起动过程中，由于转子电流频率的变化，频敏变阻器的等效电抗和电阻值会随转速上升而自动下降，实现了无级变速起动。

3.3.3　调速　从异步电动机的转速关系式 $n = n_s(1-s) = \frac{60f}{p}(1-s)$ 中可见，异步电动机的主要调速方法有：

1)变极调速；

2)转子电路串电阻调速；

3)调压调速；

4)串级调速；

5)变频调速；

6)其它调速和变速电动机，如电磁调速电动机、摆线针轮减速电动机和齿轮减速电动机等。

3.3.4 制动 是指外加一个与转子旋转方向相反的转矩，强制电动机迅速停转或限制其速度不超过规定数值，常用的制动方法有：

1)电磁机械制动；

2)能耗制动；

3)再生制动(又称回馈制动)；

4)反接制动。

异步电动机的起动、调速和制动的详细内容，参看本卷第3篇第4章第6节。

3.3.5 三相异步电机接线端判别方法

3.3.5.1 接线错误的后果 见表8.1.2－29。

表8.1.2－29 **三相异步电动机接线错误的后果**

接线错误	后果
将星形接法误接成三角形	使每相电压增至额定值的$\sqrt{3}$倍，导致铁心严重过热，定子电流过大而烧毁电机
将三角形接法误接成星形	使每相绕组所受的电压只有额定值的$\frac{1}{\sqrt{3}}$，使起动转矩下降，若满载或重载运行，转子和定子电流都会剧增，使三相绕组烧坏
一相反接(头尾互换)	相当于定子绕组加上一组极不对称的三相电压，起动转矩明显下降，三相空载电流明显增大且不平衡，有明显的振动和电磁噪声，即使空载运行，电机也很快发热
相内反接(个别线圈头尾接错)	起动转矩下降，三相空载电流增大且不平衡，在电磁噪声，满载运行容易过热

3.3.5.2 判别方法

1)一相反接的判别法 见图8.1.2－53。

(1)用万用表检查方法(一)，用毫安档进行测试，转动电动机的转子，若万用表的指针不动，表明连接正确，反之，表明有一相反接，应调换后再试。

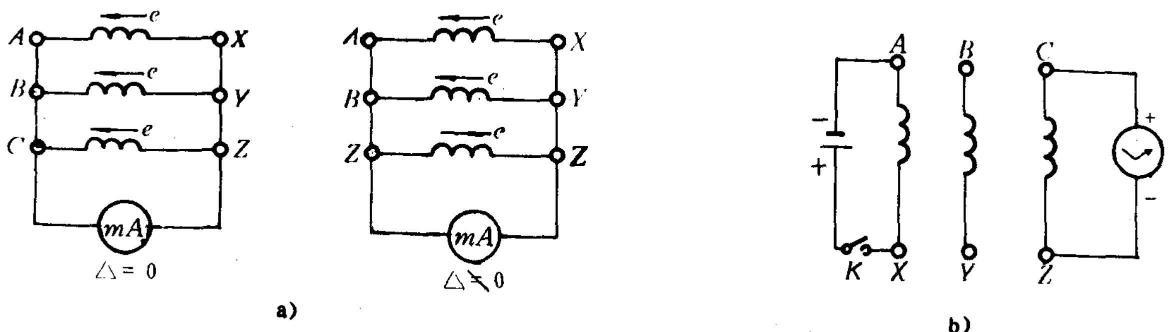


图8.1.2－53 用万用表检查绕组的头尾

a)方法(一)；b)方法(二)

(2)用万用表检查方法(二),在接通开关的瞬间,如万用表(毫安档)指针摆向大于零的一边,则电池正极所接线头与万用表负端所连线头同为头或尾,如指针反向摆动,则相反。再将电池接到另一相的两线头进行测试。

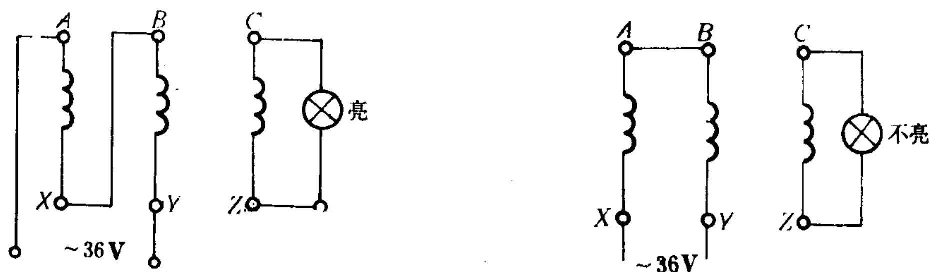


图 8.1.2—54　用灯泡法检查绕组的头、尾方法

(3)灯泡法 先用灯泡或万用表检查出各相的二个引出线,再将任意两相串联,接交流低压电源(36～220V),余下一相接 36～220V 的灯泡,如果灯泡发亮,则表明串联的两相是头,尾端相连;如不亮,则相反。见图 8.1.2—54。

2)线圈绕组之间接错或嵌反的检查方法

将直流低电压通入某一相绕组,用指南针沿着定子铁心槽口上逐槽检查,如指南针在该相极间位置上是交替变化的,表明接线正确。反之,说明线圈组方向接错。

如果在同一线圈组中个别线圈接错了,则在同一极相组内指南针的指向会交替变化。

3.4　单相异步电动机

3.4.1　单相异步电动机特点

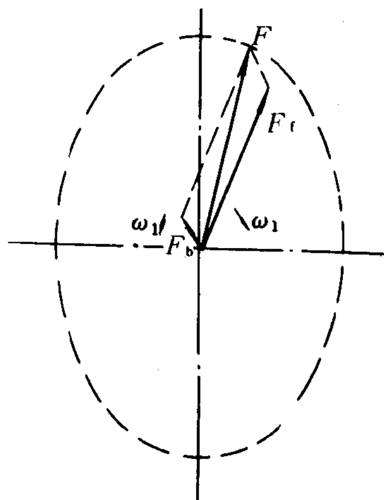


图 8.1.2—55　椭圆形旋转磁场

1)只需要单相电源供电,由单相交流电流所建立的磁势是脉振磁势。

2)转子静止时,由单相脉振磁势产生的合成转矩为零,因此单相电动机不能自行起动。

3)电机 一旦以一定的转速向任一方向转动,则沿着该方向会继续旋转下去。

4)为使单相异步电动机有一定的起动转矩,必须在气隙中建立两个时间,空间不同相的脉振磁势,以便合成一个圆形或椭圆形旋转磁场,见图 8.1.2—55。

3.4.2　单相异步电动机的主要类型和结构特点

1)罩极式　定子有凸极式和隐极式两种,一般采用凸极式。主绕组是集中绕组,并在极靴的一小部分上套有电阻很小的短路环(又称罩极绕组)。隐极定子其冲片形状和一般异步电动机相同,主绕组和罩极绕组均为分布绕组,它们的轴线在空间相差一定的电角度(一般为 45°),罩极绕组匝数少,导线粗。见图 8.1.2—56。

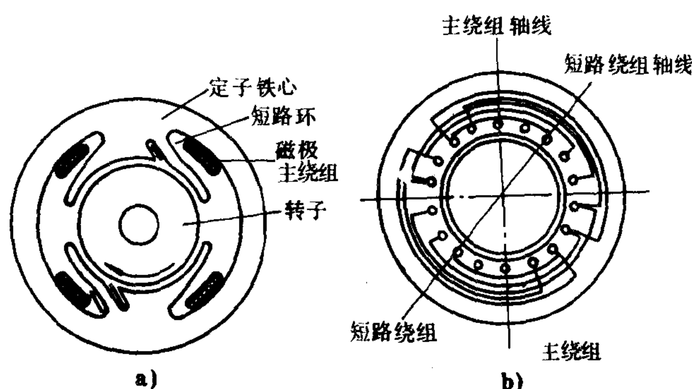


图 8.1.2－56　罩极式电动机结构

2)电阻起动式　定子具有主绕组和副绕组，两者的轴线在空间相差 90°电角度。将电阻值较大的副绕组经起动开关与主绕组并接在电源上。当电动机转速达到(75～80%)同步转速时，通过起动开关将副绕组切离电源，由主绕组单独工作。

3)电容起动式　定子具有主、副两套绕组，两者的轴线在空间相差 90°电角度。副绕组中串接一起动电容器 C_{st}，经起动开关与主绕组并接于电源，当电动机转速约达 80%同步转速时，通过起动开关将副绕组切离电源，由主绕组单独工作。

4)电容运转式　副绕组串接一个工作电容器 C(容量较起动电容量小得多)后，与主绕组并接于电源，一直参与运行。

5)电容起动和运转式　定子绕组与电容运转式相同，不同处是副绕组与两个并联的电容器串联。当电动机转速达到 75%～80%同步转速时，通过起动开关将起动电容器切离电源，而副 绕组与工作电容继续参与运行。

6)电容器容量选用　见表 8.1.2－30、31。

表 8.1.2－30　**电容器电容量选用表**

电动机容量(W)	15	25	40	60	90	120	180	250	370	550	750
电动机极数	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4
工作电容器电容量 C_1(μF)(CZMS 型纸介电容器)	1.2	1.2/2	2/2	2/4	4/4	4/4	4/6	6			
起动电容器电容量 C_{st}(CDJ 型电解电容器)(μF)						75	75	100	100	150	200

表 8.1.2－31　**电容器的交流电阻和电抗**(f＝50Hz)

电容量 C　μF	1	2	3	4	5	6	8	10	75	100	150	200
电抗 X_c　Ω	3180	1590	1060	795	637	530	396	318	42.5	31.8	21.2	15.9
电阻 r_c　Ω	20	16	15.5	15	14.5	14	13	12	4.3	3.2	2.2	1.6

3.4.3　各种单相异步电动机的性能比较，见表 8.1.2－32。

表 8.1.2－32 **单相异步电动机的分类、特性和应用**

电动机类型	微型单相异步电动机				
	电阻起动	电容起动	电容运转	电容起动和运转	罩极式
基本系列代号	BO	CO	DO		
接线原理图					
机械特性曲线 $\frac{T}{T_N}=f(n)$ $\frac{T}{T_N}$－输出转矩倍数 T_N－额定输出转矩 n－转速					
最大转矩倍数 T^*_{max}	＞1.8	＞1.8	＞1.6	＞2	
最初起动转矩倍数 T^*_{st0}	1.1～1.6	2.5～2.8	0.35～0.6	＞1.8	＜0.5
最初起动电流倍数 I^*_{st0}	6～9	4.5～6.5	5～7		
功率范围 W	40～370	120～750	8～180	8～750	15～90
额定电压 V	220	220	220	220	220
同步转速 r/min	1500;3000	1500;3000	1500;3000	1500;3000	1500;3000
典型应用	具有中等起动转矩和过载能力，适用于小型车床、鼓风机、医疗机械等	具有较高起动转矩，适用于小型空气压缩机、电冰箱、磨粉机、水泵及满载起动机械等	起动转矩较低，但有较高的功率因数和效率，体积小，重量轻，适用于电风扇、通风机、录音机及各种空载或轻载起动机械	具有较高起动性能过载能力，功率因数和效率，适用于家用电器、泵、小型机床等	起动转矩、功率因数和效率均较低，但结构简单，成本低，适用于小型风扇，电动模型及各种轻载起动的小功率电动设备

3.4.4 常用单相异步电动机的技术数据

1）BO 系列单相电阻起动异步电动机

BO 系列产品具有起动转矩较低和起动电流较大等特点，适用于不需较高的起动转矩，而起动电流容许较大的一般机械传动设备，如小型机床、鼓风机、医疗器械、排风扇等。主要技术数据见表 6.1.2—33。

2)CO 系列单相电容起动异步电动机

CO 系列具有起动转矩高，起动电流小等特点，适用于需要满载起动而电流不宜过大的机械传动设备，如空气压缩机、泵、冰箱、医疗器械等，其主要技术数据见表 8.1.2—34。

3)DO 系列单相电容运转异步电动机

DO 系列产品具有起动转矩低、起动电流小等特点，适用于要求运转平稳及起动转矩小的机械传动设备上，如录音机、风扇、记录仪表以及各种空载起动的机械。其主要技术数据见表 8.1.2—35。

表 8.1.2—33 **BO 系列微电机主要技术数据**

型　号	额定功率(W)	额定转速(r/min)	额定电流(A)	效率(%)	功率因数(cosφ)	起动电流(A)	起动转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩
BO7112	370	2800	3.5	65	0.74	29	1.25	1.8
BO6332	250	2800	2.5	63	0.72	20	1.3	1.8
BO6322	180	2800	1.95	60	0.70	15.5	1.5	1.8
BO6312	120	2800	1.43	56	0.68	12.5	1.6	1.8
BO5622	90	2800	1.19	52	0.66	10.5	1.7	1.8
BO5612	60	2800	1.01	42	0.64	8	1.8	1.8
BO7124	370	1400	4.17	63	0.64	29	1.3	1.8
BO7114	250	1400	3.05	60	0.62	20	1.4	1.8
BO6334	180	1400	2.44	56	0.60	15.5	1.6	1.8
BO6324	120	1400	1.85	50	0.59	12.5	1.7	1.8
BO6314	90	1400	1.6	44	0.58	10.5	1.8	1.8
BO5624	60	1400	1.28	38	0.56	8	2.0	1.8
BO5614	40	1400	1.05	32	0.54	7	2.2	1.8

表 8.1.2—34 **CO 系列微电机的主要技术数据**

型　号	额定功率(W)	额定转速(r/min)	额定电流(A)	效率(%)	功率因数(cosφ)	起动电流(A)	起动转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩
CO8012	750	2800	6.24	70	0.78	37	2.5	1.8
CO7122	550	2800	4.83	68	0.76	29	2.5	1.8
CO7112	370	2800	3.5	65	0.74	21	2.5	1.8
CO6332	250	2800	2.5	63	0.72	15	3.0	1.8
CO6322	180	2800	1.95	60	0.70	12	3.0	1.8
CO8024	750	1400	7.05	69	0.70	37	2.5	1.8
CO8014	550	1400	5.65	66	0.67	29	2.5	1.8
CO7124	370	1400	4.17	63	0.64	21	2.5	1.8
CO7114	250	1400	3.05	60	0.62	15	3.0	1.8
CO6334	180	1400	2.44	56	0.60	12	3.0	1.8
CO6324	120	1400	1.85	50	0.59	9	3.0	1.8

表 8.1.2－35　　DO系列微电机主要技术数据

型　号	额定功率（W）	额定转速（r/min）	额定电流（A）	效率（%）	功率因数（cosφ）	起动电流（A）	起动转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩
DO3312	180	2800	1.01	65	0.88	7	0.35	1.8
DO5622	120	2800	0.705	62	0.88	5	0.35	1.8
DO5612	90	2800	0.579	58	0.86	3.2	0.35	1.8
DO5022	60	2800	0.422	53	0.86	2.5	0.35	1.8
DO5012	40	2800	0.318	48	0.84	2	0.7	1.8
DO4522	25	2800	0.228	42	0.84	1.5	0.7	1.8
DO4512	15	2800	0.163	36	0.82	1	0.7	1.8
DO6324	180	1400	1.18	57	0.86	7	0.35	1.8
DO6314	120	1400	0.845	53	0.86	5	0.35	1.8
DO5624	90	1400	0.701	49	0.84	3.2	0.35	1.8
DO5614	60	1400	0.51	45	0.84	2.5	0.35	1.8
DO5024	40	1400	0.392	40	0.82	2	0.7	1.8
DO5014	25	1400	0.28	35	0.82	1.5	0.7	1.8
DO4524	15	1400	0.20	30	0.80	1	0.7	1.8
DO4514	8	1400	0.14	23	0.80	0.8	0.7	1.8

注：BO、CO、DO的额定电压220V；频率：50Hz；工作定额：连续；转向：可逆。

3.5 变极多速异步电动机

3.5.1 变极原理和方法　变极多速异步电动机的极对数改变是通过改变部分线圈的电流方向来实现的。如图 8.1.2－57 所示，图中 b)和 c)的极数都比 a)减少一半，从而改变了旋转磁场的同步转速。变极多速异步电动机大都为笼型转子。

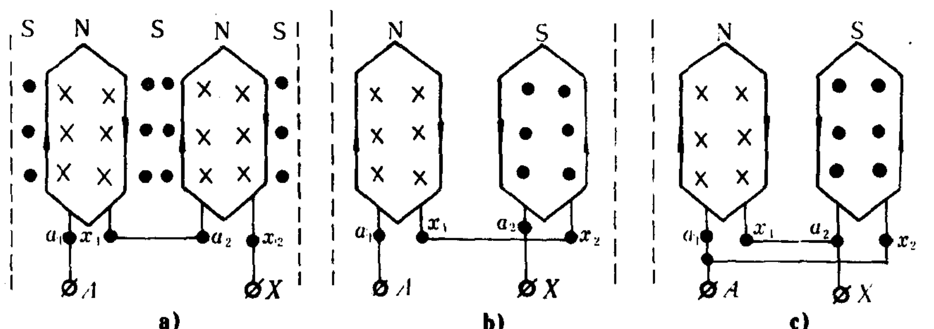


图 8.1.2－57　改变极对数时，一相绕组的改接方法

a)2p＝4；b)2p＝2；c)2p＝2

常用的改变绕组极对数的方法：

1)改变定子绕组的接法来实现变更极对数，这种方法多用于倍极比(2∶1)，非倍极比而速比较近的双速电机或三速电机；

2)在定子槽内嵌放两套不同极对数的独立绕组，这种方法一般只用于非倍极比而且速比较远的双速电机；

3）在定子槽内嵌放两个或三个不同极对数的独立绕组，每个绕组又可以改变连接来变更极数，这种方法适用于三速或四速电机。船用交流起重电动机常采用 JZH 系列[6]。

3.5.2 三相绕组间的连接方法

三相之间一般可采用单 Y（每相一条支路），双 Y（每相两条支路）和 Δ（每相一条支路）三种接法。双速电机常用的接法有 YY/Δ、YY/Y、Δ/YY；三速电机常用的接法有 ΔΔ/ΔΔ/YY、YY/YY/YY、ΔΔ/YY/YY 等。

1）YY/Y 与 Δ/YY 变换

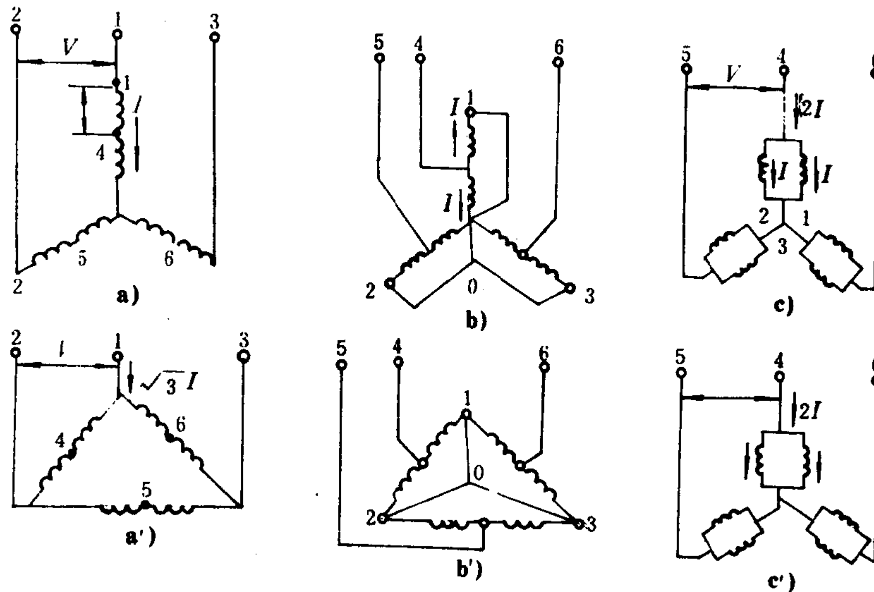


图 8.1.2—58　Y/YY 与 Δ/YY 变换接线图

a）Y 形（2p）；a'）Δ 形（2p）；b）、b'）、c）、c'）YY 形（p）

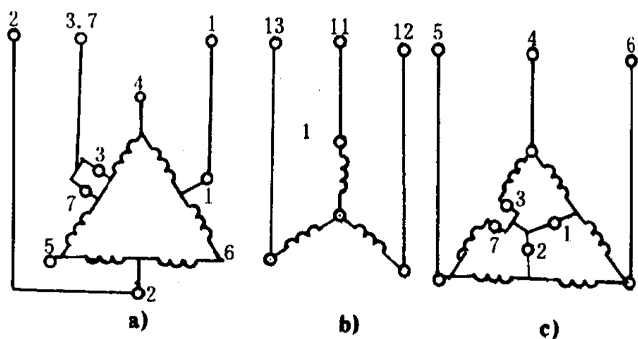


图 8.1.2—59　Δ/Y/YY 变换接线图

a）Δ 形（低速）；b）Y 形（中速）；c）YY（高速）

图 8.1.2—58 所示为常用的双速电动机的两种接线。每相绕组中点抽出一个头，按图 a）、a'）接成 Y 形或 Δ 形时，为低速 p＝2 状态。如把端子 1、2、3 接在一起且与中性点 0 相连，把 4、5、6 接电源，就变成 YY 接法，电动机变为高速 p＝1 状态。

2）Δ/Y/YY 变换

在定子上装有两套独立的三相绕组 Ⅰ 和 Ⅱ。其中绕组 Ⅰ 可作 Δ/YY 变换，绕组 Ⅱ 为 Y 接法。当绕组 Ⅰ 接成 Δ 形接电源时，电动机为低速（8 极 750r/min），若改接成 YY 时，见图 8.1.2－59c），变成高速（4 极 1500r/min），若绕组 Ⅰ 空着不用，绕组 Ⅱ 接电源，则电动机为中速（6 极 1000r/min）运行。这就是常见的双绕组三速（750/1000/1500r/min）电动机。

3.5.3 变极前后的相序

变极前后的相序会发生变化。为了保持电动机的旋转方向不变，必须在变极同时，将绕组三个端头的任意两个对调连接。

3.5.4 不同连接方法的调速性能

不同连接方式在同一负载电流下，对输出转矩和功率的影响是不一样的，应根据负载需要，选择合适的连接方式。见表 8.1.2－36。

表 8.1.2－36　**不同连接方式对转矩和功率的影响**

负载种类	绕组连接法		转矩比	输出功率比
	高速连接	低速连接		
恒定输出转矩	2Y	Δ	1∶1	1∶0.5
恒定输出功率	Δ	2Y	1∶2	1∶1
递减转矩	2Y	Y	1∶0.4	1∶0.2

3.5.5 JDO_2 系列三相变极式多速异步电动机性能数据（见表 8.1.2－37）

表 8.1.2－37　**JDO_2 系列三相变极式多速异步电动机性能数据**

型　号	极数	额定值				起动电流/额定电流	起动转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩	外形尺寸(mm)			重量(kg)	接法
		功率(kW)	电压(V)	电流(A)	转速(r/min)				长	宽	高		
JDO_2－31－4/2	4	1.5	380	3.9	1440	6.5	2.2	2.4	395	300	270	39	Δ/2Y
	2	2.2		5.12	2870	6.5	2.0	2.6					
JDO_2－32－4/2	4	2.2	380	5.27	1440	6.5	2.2	2.4	415	300	270	48	Δ/2Y
	2	3.0		6.58	2980	7.0	2.0	2.6					
JDO_2－31－6/4	6	1.3	380	3.89	940	4.5	1.8	2.0	395	300	270	42	Δ/2Y
	4	1.7		4.3	1440	6.0	1.4	2.4					
JDO_2－32－6/4	6	1.7	380	4.85	950	5.0	2.0	2.0	415	300	270	48	Δ/2Y
	4	2.5		6.02	1440	6.5	1.5	2.4					
JDO_2－31－8/4	8	0.9	380	3.33	700	4.0	1.6	1.8	395	300	270	42	Δ/2Y
	4	1.5		3.69	1380	4.5	1.4	1.8					
JDO_2－32[illegible]4	8	1.1	380	3.97	700	4.0	1.8	1.8	415	300	270	48	Δ/2Y
	4	1.2		5.07	1380	4.5	1.4	1.8					
JDO_2－[illegible]4/2	4	3.3	380	7.21	1440	6.0	1.9	2.4	470	350	315	68	Δ/2Y
	2	4.0		8.38	2880	7.0	2.2	2.6					
JDO_2－42－4/2	4	4.0	380	8.6	1440	6.5	2.0	2.4	505	350	315	73	Δ/2Y
	2	5.5		11.3	2880	7.0	2.2	2.6					
JDO_2－41－6/4	6	2.8	380	6.47	940	4.5	1.6	2.0	470	350	315	65	Δ/2Y
	4	3.0		6.81	1440	6.5	1.6	2.4					
JDO_2－42－6/4	6	3.5	380	7.93	940	6.0	1.7	2.0	505	350	315	76	Δ/2Y
	4	4.0		8.78	1440	7.0	1.8	2.4					
JDO_2－41－8/4	8	2.0	380	6.0	710	4.0	1.6	1.8	470	350	315	65	Δ/2Y
	4	3.0		6.58	1420	5.0	1.6	2.0					
JDO_2－42－8/2	8	1.4	380	5.15	715	4.0	1.8	2.0	505	350	315	76	Δ/2Y
	2	4.0		8.90	2880	7.0	3.2	3.2					
JDO_2－42－8/4	8	2.5	380	7.38	720	4.5	1.7	1.8	505	350	315	65	Δ/2Y
	4	4.0		8.5	1430	5.5	1.7	2.0					
JDO_2－41－6/4/2	6	1.8	380	6.67	970	6.5	3.0	3.2	470	350	315	62	2Y/Δ/Δ
	4	2.2		5.16	1430	7.0	2.1	3.0					
	2	2.8		6.75	2890	7.0	1.2	2.5					
JDO_2－42－8/4/2	8	1.8	380	5.67	710	5.5	1.2	1.8	505	350	315	70	2Y/Δ/Δ
	4	4.5		9.05	1420	7.0	1.7	1.8					
	2	5.5		12.1	2910	7.0	1.8	2.2					

续上表

型　号	极数	额　定　值				起动电流/额定电流	起动转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩	外形尺寸(mm)			重量(kg)	接法
		功率(KW)	电压(V)	电流(A)	转速(r/min)				长	宽	高		
JDO_2－51－4/2	4	5.5	380	10.3	1460	7.0	1.8	2.2	545	385	370	95	Δ/
	2	7.5		15.4	2880	7.0	2.2	2.4					2Y
JDO_2－52－4/2	4	7.5	380	15.3	1450	7.0	1.8	2.2	575	385	370	114	Δ/
	2	10.0		20.2	2880	7.0	1.8	2.4					2Y
JDO_2－51－6/4	6	6.0	380	13.5	960	5.0	1.5	2.0	545	385	370	115	Δ/
	4	8.0		16.3	1460	7.0	1.6	2.4					2Y
JDO_2－52－6/4	6	8.0	380	18.4	955	6.5	1.5	2.0	575	385	370	125	Δ/
	4	10.0		21.4	1450	7.0	1.6	2.4					2Y
JDO_2－51－8/6	8	3.0	380	8.44	730	5.0	1.2	2.0	545	385	370	100	Δ/
	6	4.0		8.28	960	6.0	1.3	2.0					2Y
JDO_2－51－12/6	12	2.2	380	7.13	480	4.0	1.3	1.8	545	385	370	115	Δ/
	6	3.5		7.22	960	6.0	1.3	2.0					2Y
JDO_2－51－8/4	8	3.5	380	9.97	720	5.5	1.6	1.8	545	385	370	100	Δ/
	4	5.5		11.60	1430	6.5	1.6	2.0					2Y
JDO_2－52－8/4	8	4.5	380	12.4	720	5.5	1.6	2.0	575	385	370	100	Δ/
	4	7.5		15.5	1430	6.5	1.6	2.2					2Y
JDO_2－52－6/4/2	6	6.0	380	15.5	960	6.5	3.0	3.2	575	385	370	114	3Y/
	4	6.5		13.1	1420	7.0	2.0	3.0					Δ/
	2	7.5		16.5	2890	7.0	1.2	2.5					Δ
JDO_2－51－8/4/2	8	2.2	380	6.95	710	4.5	1.1	2.0	545	385	370	115	2Y/
	4	5.5		11.0	1420	7.0	2.2	2.2					2Δ/
	2	6.6		15.0	2900	7.0	2.2	2.8					2Δ
JDO_2－51－8/6/4	8	3.5	380	10.1	730	5.5	2.0	2.2	545	385	370	105	2Y/
	6	4.0		11.2	960	5.5	2.0	2.2					2Y/
	4	5.0		10.4	1400	6.0	1.3	2.2					2Y
JDO_2－52－10/8/6/4	10	2.5	380	7.25	570	4.0	1.3	1.8	575	380	370	120	2Y/
	8	3.0		9.1	730	5.5	2.0	2.4					2Y/
	6	3.0		10.5	980	5.5	1.9	2.4					2Y
	4	4.0		9.15	1440	6.0	4.5	2.2					
JDO_2－61－8/4	8	7.5	380	17.5	720	5.0	1.4	2.0	635	355	425	168	Δ/
	4	10.0		19.5	1460	7.0	1.5	2.2					2Y
JDO_2－62－8/4	8	8.5	380	19.6	720	5.5	1.5	2.0	675	355	425	178	Δ/
	4	13.0		25.6	1460	7.5	1.5	2.2					2Y
JDO_2－61－8/6/4	8	5.0	380	14.9	730	5.5	1.3		635	355	425	168	2 Y/
	6	7.0		17.8	980	6.5	1.3						2Y/
	4	9.0		17.4	1450	7.0	1.2						2Y
JDO_2－72－8/6/4	8	13.0	380	37.2	735	5.5	1.3		785	515	505	275	2Y/
	6	14.0		40.0	985	6.5	1.3						2Y/
	4	19.0		35.2	1465	7.0	1.2						2Y
JDO_2－91－8/4	8	40.0	380	91.6	730	6.5	1.5		990	720	630	592	Δ/
	4	55.0		106.0	1470	7.0	1.8						2Y

3.6 三相异步电动机的使用、维护和拆装

3.6.1 三相异步电动机的使用

1)电动机使用前的检查

(1)检查电动机铭牌所示电压、频率与电源电压、频率是否相符,接法是否相同。

(2)新的或长期未使用的电动机,使用前应用兆欧表检查绕组间和绕组对地的绝缘电阻。

(3)检查电动机内部有无杂物,若有杂物,可使用吹风机或手风箱等来吹除,清除时应注意不要碰坏绕组。

(4)检查电动机转轴是否转动灵活自如。对于滑动轴承,转子的轴向游动量每边应约为2~3mm。

(5)检查轴承的润滑情况。一般高速电动机采用高速机油,低速电动机采用机械油。润滑油应有规定的油位,润滑脂以充满轴承室$\frac{2}{3}$为宜。

(6)检查电动机的接地装置是否可靠。

(7)绕线式转子的刷握距集电环应有2~4mm的距离,电刷在刷握内应滑移自如(游隙0.1~0.2mm),与集电环的接触面积不小于电刷全面积的75%。

(8)电刷压力按规定调整,一般为0.15~0.25kg/cm^2,同一刷架上的各电刷压力相差不应超过10%。

(9)对新安装的电机,还要检查地脚螺栓,轴承螺帽等是否拧紧,以及机构方面是否牢固。

2)校正电动机转向,对不可逆的电动机,需检查运转方向。若方向反了,任意调换与定子绕组连接的三根电源线中的两根即可。

3)空载试运行,一般电动机在起动后进行空载试运行h(反复短时工作制的电动机应适当减少),试运行中应作全面检查。

(1)测量空载电流,不同容量与极数电动机的空载电流大致范围见表8.1.2—38。

表8.1.2—38 **电动机空载电流占额定电流的百分数**(三相平均值)

极数 \ 容量(kW)	0.5以下	2以下	10以下	50以下	100以下
2	45~70	40~50	30~40	23~30	15~25
4	60~75	45~55	35~45	25~35	20~30
6	65~80	50~60	40~60	30~40	22~33
8	70~85	50~65	40~65	35~45	25~35

若空载电流太大,可能是定转子之间的气隙超过允许值;定子绕组匝数太少;电源电压偏高或星形接法误接成三角形接法等。

若空载电流太小,可能是定子绕组匝数太多;二路改为一路或三角形接法误接成星形等。

若三相空载电流相差太大,应首先检查三相电压是否对称,再将各相进行换接,如情况未好转,则应检查各相有无匝间短路;气隙是否均匀以及极性是否正确等。

(2)倾听与判别音响是否正常。

(3)检查冷却、润滑情况,测量轴承温度。滚动及滑动轴承允许的最高温度为95℃及80℃。

(4)测量电机振动,不应超过表8.1.2—39规定。

表 8.1.2—39 **电机的振动标准**

同步转速(r/min)	3000	1500	1000	750及以下
振动值(双振幅)(mm)	0.06	0.10	0.13	0.16

3.6.2 正常运行中的监视与维护

电动机在运行中,应定期进行巡视,要同时注意电压、电流、温度、声音及气味等各个方面。

1)监视电动机的电流是否超过额定值。用电流表或钳形电流表定期进行测量。不同环境温度时的允许电流值可按表 8.1.2—40 的 K_t 进行修正。

表 8.1.2—40 **电动机的温度修正系数 K_t**

环境温度 / 温度修正系数	冷却温度(C)					
	25	30	35	40	45	50
K_t	1.1	1.08	1.05	1.0	0.95	0.875

2)注意轴承是否良好。对油环式轴承,应观察环是否转动,油位是否正常;对滚动轴承,应观察有无油脂外溢,并注意其颜色的变化。

3)检查电刷有无冒火、缺角、卡死、过短、铜辫外露及弹簧脱离等现象,电刷的防护罩应完整。

4)检查冷却空气是否畅通,严密监视电动机的温度。可用温度计或电阻法来测定温度。

5)电动机在额定电压变化±5%以内时,仍以额定功率和转速运行。当输入电压低于额定电压5%以下时,应适当减轻负荷运行。

6)保持电动机及周围环境的整洁,不得有杂物、水及油等落入电动机内,要定期拭抹电动机。

7)发现电动机在运行中有摩擦声、尖叫声或其它杂音,应立即停止运行,进行检查,排除故障后才可继续运行。

8)如电动机起火,应先切断电源,然后用专门的灭火器进行灭火。

3.6.3 三相异步电动机的拆装

电动机在维护保养或修理时,需要进行拆装,如果操作不当,就会损坏机件。下面介绍几个主要部件的拆装。

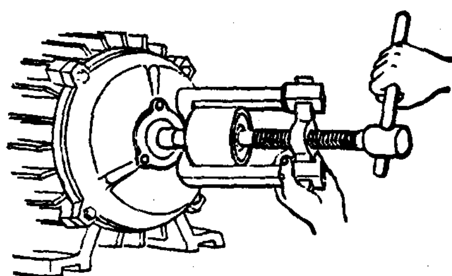


图 8.1.2—60 拉具拆卸皮带轮

1)皮带轮或联轴器的拆装 拆卸前,先将皮带轮或联轴器上的固定螺钉或销子松开,再用拉具把皮带轮慢慢拉下,见图 8.1.2—60。拉时要注意皮带轮的受力情况,以免拉坏。如果拉不出,可在支头螺丝孔内注入煤油,也可采用加热(<300℃)的办法。没有专用工具时,可用木锤、铝锤或铜棒将它们敲打出来。

2)拆卸端盖,抽出转子 先在端盖与机座的接缝处做好标记,以便复位。绕线式电动机应提起或拆除电刷、电刷架和引出线。一般小型电动机应先拆前侧轴承盖、端盖以及后侧的风罩、风叶和端盖螺针,然后用手将转子带着后侧端盖一起抽出,其步骤如图 8.1.2—61 所示。对于大风叶在机座内的电动机,可将转子连同大风叶及风叶侧的端盖一起抽出。大中型电动机因转子较重,可按图 8.1.2—62 所示步骤,用起重设备将转子吊住 ,平移抽出。

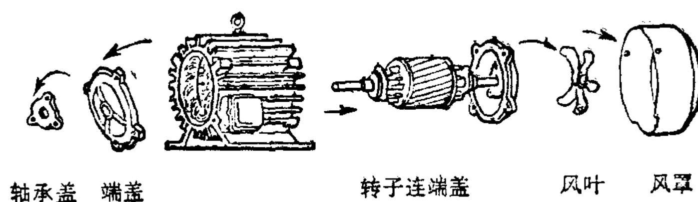


图 8.1.2—61 小型电动机拆卸步骤

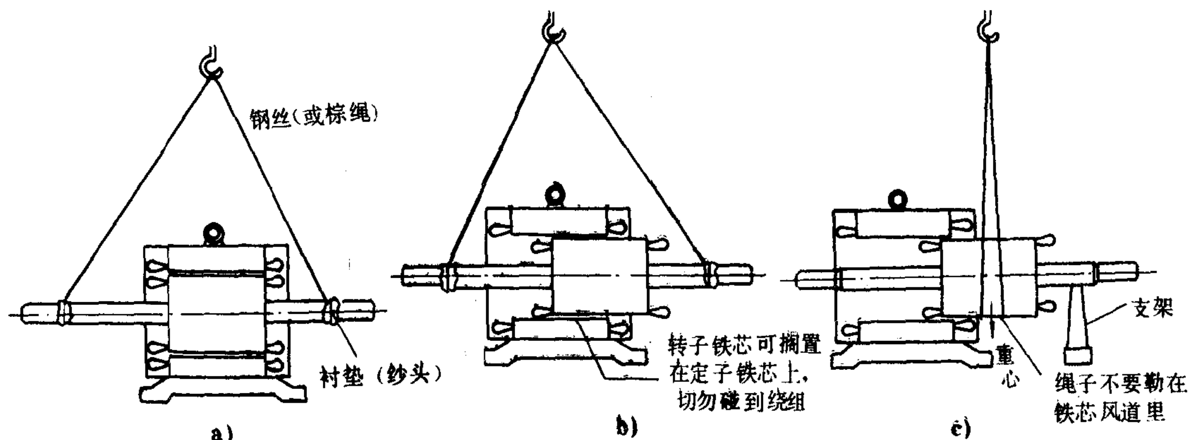


图 8.1.2—62 大、中型电机抽出转子的方法

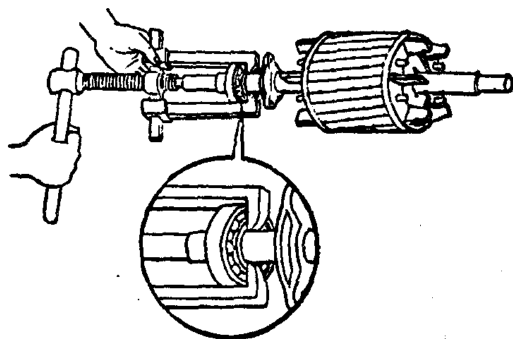


图 8.1.2—63 轴承的拆卸步骤

3)轴承的拆卸 轴承拆卸时,应选用大小适宜的拉具,用图 8.1.2—63 所示的方法夹住轴承,拉具的脚应尽量紧扣住轴承的内圈,将轴承拉出。

4)清洗、检查 用煤油(或汽油、或清洗剂)清洗电动机的定子、端盖、轴承、转子及其它零件。对于绕组灰尘较多的电动机,先用吹风机吹净或用刷子刷净后,再进行清洗。清洗时,应观察定子绕组有无松动,轴承有无磨损和松动,以及其它不正常的现象。

5)装配 装配过程与拆装过程相反,装配前要检查定子内有无脏物,各配合处是否有锈存在,装配时各部件应按原标记对齐复位,检查轴承与轴及端盖的配合是否恰当,用手转动轴,观察转子是否转动灵活以及有否摩擦现象。

3.7 异步电动机的常见故障及处理方法

故障一般分为电气及机械故障两大类,前者包括绕组或导电部分接错、接触不良、损坏及控制保护设备的故障,后者主要是轴承、风叶、联轴器、端盖、铁心、转轴及紧固件等损坏所致。当发生故障时,应仔细观察所发生的异常现象,并测量有并数据,分析其原因,找出故障部位,采取措施加以排除。现将常见故障及处理方法列于表 8.1.2—41 中。

表 8.1.2－41　　**异步电动机的常见故障及处理方法**

故障现象	可能原因	处理方法
1)绝缘电阻过小	1)绕组受潮 2)绝缘老化 3)绝缘局部损坏 4)绕组或接线板污垢严重	1)进行干燥 2)更换新绝缘 3)将损坏处修复 4) 清除污垢
2)不能起动	1)电源未接通或只有两相接通 2)定子或转子绕组断路,定子绕组相间短路,通地或接线错误 3)绕线转子回路断路(电刷与集电环接触不良,变阻器断路,引线接触不良等) 4)控制设备接线错误 5)负载过重或工作机械被卡住	1)检查开关各触点,引出线各接头,熔丝及线路,将不通点查出并修复 2)找出断路、短路点进行修复,如为接线错误,经校核后改正 3)查出断路点进行修复 4)校对图纸,进行改正 5)减轻负载或更换较大的电动机,检查工作机械,将卡住故障排除
3)起动时保护装置动作	1)被驱动机械有故障 2)电动机或线路短路 3)保护动作电流过小 4)熔丝选择过小 5)过载保护时限不够 6)绕线转子集电环直接短路	1)将故障排除 2)找出短路点并修复 3)适当调大 4)按电动机规格选配适当熔丝 5) 适当延长 6)操作手柄置于起动位置,将变阻器串入
4)电机运行时有异常噪声或振动过大	1)定转子相擦 2)单相运行 3)转子擦绝缘纸,风叶碰壳 4)滚动轴承缺油或损坏 5)绕线型电动机,转子线圈断路 6)转子绕组或铁心松动 7)轴伸弯曲 8)转子或皮带盘不平衡 9)联轴器连接松动 10)安装基础不平或有缺陷	1)检查转动部分和静止部分间隙,找出相擦原因,进行校正 2)检查熔丝及开关触点,排除故障 3)修剪绝缘纸,校正风叶 4)清洗轴承加新油或更换轴承 5)查出断路处,加以修复 6)将松动处重新焊牢或紧固 7)校直或更换转轴 8)校平衡 9)查清松动处,把螺栓拧紧 10)检查基础和底板的固定情况,加以纠正
5)电动机温升过高或冒烟	1)过载 2)单相运行 3)定子绕组匝间,相间短路或接地,或接法错误 4)电源电压偏低或偏高 5)绕线转子接头松脱或集电环短路片接触不良,笼型转子断条 6)定转子相擦 7)通风不良或环境温度过高	1)测量定子电流,发现过载时,减轻负载或更换较大功率的电动机 2)检查熔丝、触头、接点和绕组,找出断相点并修复 3)查出短路或接地部位,并修复,接法错误时,改正接法 4)测量电源电压 5)对绕线型转子查出其松脱处加以修复,对铜条笼型转子,补焊或更换铜条,对铸铝转子,更换转子 6)查出相擦原因并消除 7)清除风道杂物及抹净机壳,如风叶损坏,应予修复或更换,环境温度偏高,采取降温措施

续上表

故障现象	可 能 原 因	处 理 方 法
6)电动机空载或负载运行时电流表指针来回摆动	1)绕线型转子电动机一相电刷接触不良 2)绕线型转子电动机集电环的短路片一相接触不良 3)绕线型转子绕组一相断路 4)鼠笼型转子断条	1)调正电刷压力并改善电刷与集电环接触 2)修理或更换短路片 3)查出断路点,加以修复 4)更换转子或改为铜条转子
7)轴承过热	1)轴承损坏 2)滚动轴承润滑脂过多、过少或有杂物 3)滑动轴承润滑油不够,有杂质或油环卡住 4)轴承与轴配合过松(走内圆)或过紧 5)轴承与端盖配合过松(走外圆)或过紧 6)皮带过紧,过松或联轴器装配不良 7)电动机两侧端盖不平行,或轴承盖装配不良	1)更换轴承 2)调整或更换润滑油脂 3)加油到规定油位或更换新油,查明卡住原因,加以修复 4)过松时可将轴颈喷涂金属;过紧时重新加工 5)过松时将端盖镶套;过紧时重新加工 6)调整皮带张力,校正联轴器传动装置 7)将两侧端盖或轴承盖止口装平,旋紧螺栓
8)绕线转子集电环火花大	1)电刷牌号或尺寸不合要求 2)集电环表面不平或有污垢杂物 3)电刷压力太小或压力不均衡 4)电刷在刷握内被卡住	1)修理或更换电刷 2)清除污垢,用00号砂纸磨光,严重时可车光 3)调整弹簧压力 4)磨小或更换合适尺寸的电刷,把电刷装正
9)电机外壳带电	1)未接地(零),或接地不良 2)绕组受潮,绝缘损坏或接线极有污垢 3)引出线绝缘磨破	1)按规定接好地线,或消除接地不良处 2)绕组干燥处理;绝缘损坏,予以修复;清理接线板 3)进行修复

3.8 船用异步电机型号规格及铭牌数据(见文献)

4 同步电机

同步电机和异步电机一样,也是根据电磁感应原理工作的一种交流电机,它的主要特点是转子转速 n 与定子电流频率 f 之间维持严格的关系,即:

$$n=\frac{60f}{p} \quad (r/min)$$

式中: p——电机的极对数。

表 8.1.2-42 **同步电机极对数与转速对照表**(f=50Hz)

极对数 p	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
转速 n (r/min)	3000	1500	1000	750	600	500	428	375	333	300	250	214	200	187	167	150

同步电机主要用作发电机,在现代电力工业中,几乎全部采用同步发电机。同步电机作为电动机时,可以调节其励磁电流来改善电网的功率因数,因此广泛应用于驱动不要求调速和功率较大的机械设备。同步电机还可作同步调相机,靠调节它的励磁电流专门来供给或吸收电力

用户的滞后无功电流，以改善电力系统的供电性能。

4.1 基本结构与分类

4.1.1 同步电机的分类

1)按结构型式分为旋转电枢式和旋转磁极式两种。旋转电枢式只用于小容量或特殊用途的同步电机中，一般都采用旋转磁极式。

2)按用途分类　有汽轮发电机；水轮发电机；柴油发电机；同步调相机；同步电动机和中频发电机等。

4.1.2 同步电机的基本结构

主要由定子和转子两个基本部分组成。

1)定子　与异步电机的定子结构基本相同，由铁心、三相绕组、机座及固定用结构件组成。

2)转子　由铁心、励磁绕组、转轴和滑环等组成。同步电机的转子有两种形式：一种是凸极式，如图 8.1.2－64a)所示；另一种是隐极式，如图 8.1.2－64b)所示。

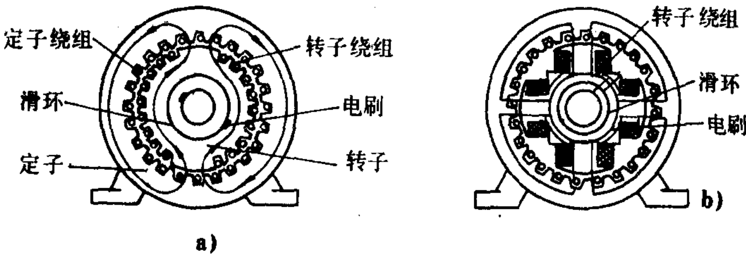


图 8.1.2－64　同步电机的结构

a)凸极式；b)隐极式

4.1.3 小型柴油发电机凸极式和隐极式转子特点的比较，见表 8.1.2－40。

表 8.1.2－43　**小型柴油发电机凸极式和隐极式转子特点的比较**

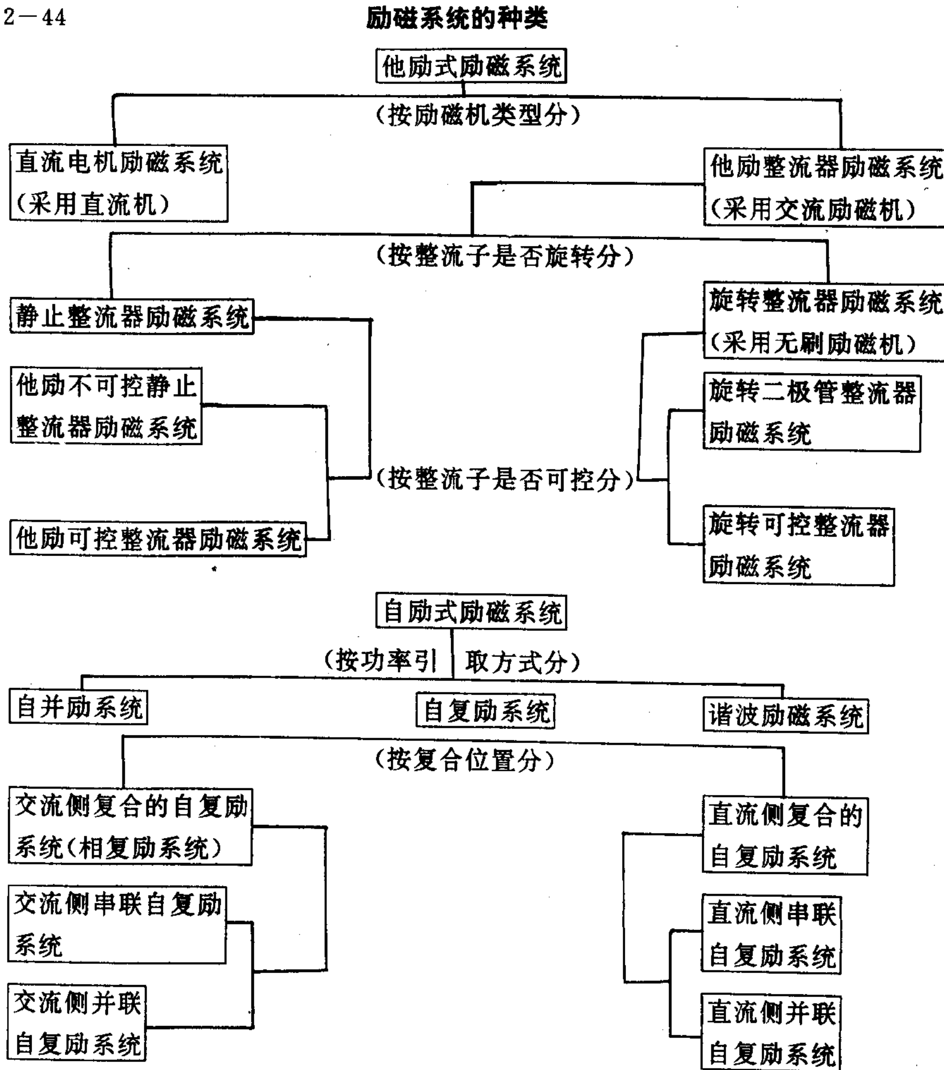
凸　极　式　转　子	隐　极　式　转　子
磁极冲片与磁轭分开制造，然后将磁极固定在磁轭上，金工工时较多	磁极与磁轭整片冲出，然后叠装在轴上，金工工时较少
励磁绕组的每极线圈是集中式的，电工工时较少	励磁绕组的每极线圈是分布式的，绕制后逐个嵌入槽内，电工工时较多
磁极、磁极线圈、轴等可分开制造，然后组装，便于平行作业	转子嵌线、绝缘处理必须在转轴加工、铁心压装后进行，不便于平行作业
励磁绕组散热面积较小，散热条件差	励磁绕组散热面积大，散热条件好
定子线电压波形差，负载时电压波形有较大畸变	空载和负载时的电压波形都较好
励磁功率较小	励磁功率较大
励磁绕组固定比较困难	励磁绕组容易固定

4.1.4 同步电机的励磁系统

1)励磁系统的主要功能　电机正常运行时，供给一定励磁电流来维持正常电压和所需无功输出；当电力系统发生突然短路或突加与突卸负荷时，对电机进行励磁或强行灭磁，当电机、内部出现短路时，对电机进行灭磁。

2)励磁系统的分类：按供电方式分为他励和自励两大类，见表 8.1.2—44。

表 8.1.2—44　**励磁系统的种类**



3)各种励磁方式的原理接线图：见图 8.1.2—65 至 8.1.2—68 所示。

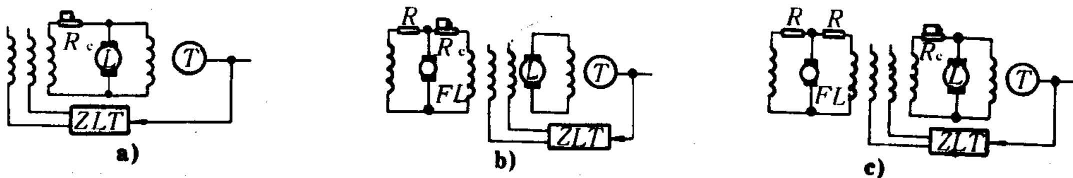


图 8.1.2—65　直流电机励磁系统

a)并励式主励磁机；b)他励式主励磁机；c)复励式主励磁机

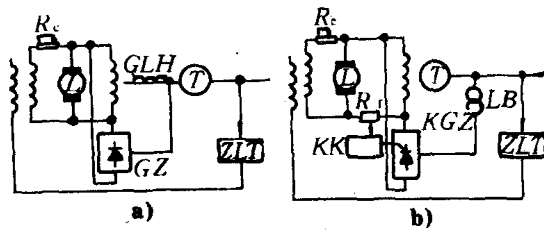


图 8.1.2－66　直流励磁机与整流器励磁混合系统

a)直流励磁机加功率电流互感器；b)直流励磁机加励磁变压器

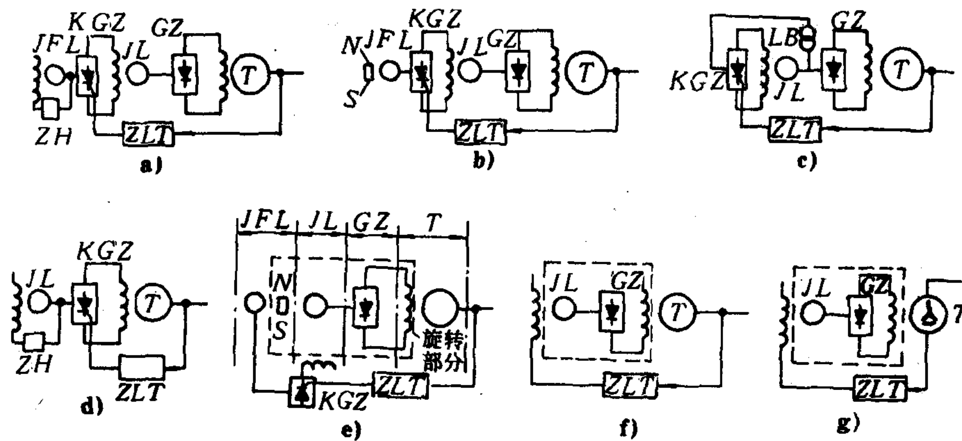


图 8.1.2－67　他励整流器励磁系统

a)～c)他励不可控静止整流器励磁系统；d)他励晶闸管励磁系统；e)～g)无刷励磁系统

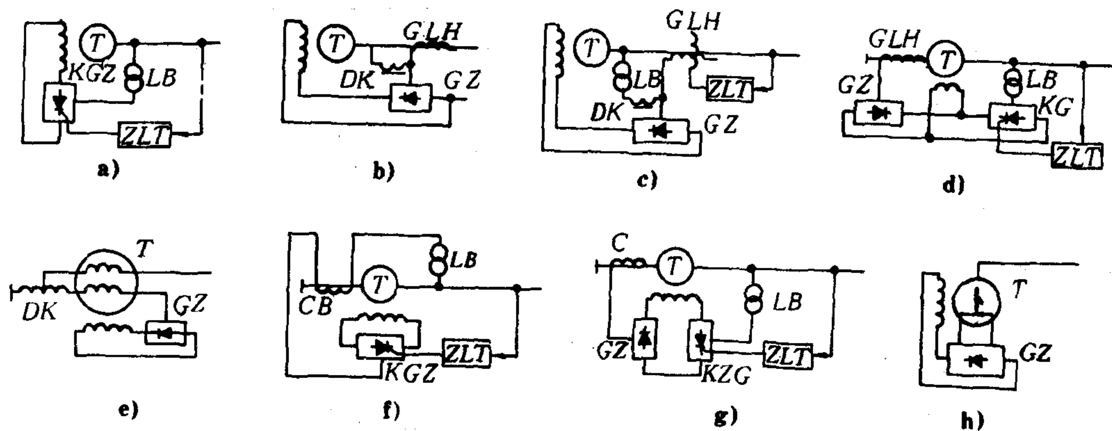


图 8.1.2－68　自励整流器励磁系统

a)自并励系统；b)、c)交流侧并联自复励系统；(b 亦称不可控相复励系统；c 亦称可控相复励系统)；d)直流侧并联自复励系统；e)、f)交流侧串联自复励系统；(e 亦称双绕组电抗分流式励磁系统)；g)直流侧串联自复励系统；h)谐波励磁系统

4)各种励磁系统的特点比较　见表 8.1.2－45。

表 8.1.2－45　**励磁系统的特点比较**

性能及特点	同轴直流电机励磁系统	整流器励磁系统						
		他励式				自励式		
		静止整流器		旋转整流器		自并励	自复励	
		不可控	可控	不可控	可控		并联式	串联式
反应速度	慢	慢	快	慢	快	快	快	快
有无旋转机械	有	有	有	有	有	无	无	无
有无电刷	有	有	有	无	无	有	有	有
快速灭磁可能性	能	能	能	不能	能	能	能	能
运行独立性	高	高	高	高	高	低	较低	较高
接线及结构	较简单	较复杂	复杂	较复杂	复杂	简单	较简单	较复杂
维护工作量	大	较小	较小	小	小	小	小	小
快速减磁可能性	不能	不能	能	不能	能	能	不能	能
占地面积	小	较小	较小	小	小	较大	大	大
主机轴线长度	较长	长	长	长	长	短	短	短

4.1.5　同步电机的额定值

1)额定容量 S_N 或额定功率 P_N　对同步发电机来说，额定容量是指线端的额定视在功率，以 kVA 或 MVA 为单位；而额定功率是指输出的额定有功功率，以 kW 或 MW 为单位。对电动机来说，指轴上输出的有效机械功率，以 kW 或 MW 为单位。对同步调相机，则用线端的额定无功功率来表示其容量，以 kvar 或 Mvar 为单位。

2)额定电压 U_N　是指在额定运行时电机定子三相的线电压，单位为 V 或 kV。

3)额定电流 I_N　是指电机在额定运行时流过定子的线电流，以 A 为单位。

4)额定功率因数 $\cos\varphi_N$　即电机在额定运行时的功率因数。

5)额定效率 η_N　即电机额定运行时的效率。

其它还有电机的额定频率 f_N(Hz)、额定转速 n_N(r/min)、额定励磁电流 I_{fN}和额定励磁电压 μ_{fN}等。

4.2　工 作 原 理

4.2.1　三相电动势的产生

当同步发电机转子由原动机拖动旋转，励磁绕组接通直流电源，由于转子旋转，它的磁场也旋转，气隙旋转磁场切割定子上的三相绕组，感生电动势。为了使感生电动势的波形接近正弦波，定子绕组采用分布和短距形式。

4.2.2　空载特性

发电机在额定转速下，其空载电动势(即空载端电压)与励磁电流之间的关系 $v_0=f(I_f)$ 称为空载特性。其曲线可通过空载实验求得。同步电机的常规空载特性数值，见表 8.1.2－46。

表 8.1.2－46　**同步电机的常规空载特性**

I_f^*	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
V_0^*	0.58	1.0	1.21	1.33	1.40	1.46	1.51

4.2.3　电枢反应

同步发电机接有对称负载时，定子绕组中通过三相对称电流，该电枢电流在气隙中产生电

枢磁场与转子励磁磁场同步旋转，通常将电枢磁场对气隙磁场的影响称为电枢反应。电枢反应的作用随负载性质不同而不同。例如带感应负载时，起去磁作用，容性负载时，起增磁作用。

4.2.4 同步发电机的运行特性 见表 8.1.2—47。特性曲线见图 8.1.2—69 和 8.1.2—70。

表 8.1.2—47 **同步发电机的运行特性**

特性名称	空载特性 $V_0=f(I_f)$	短路特性 $I_k=f(I_f)$	负载特性 $V=f(I_f)$	外特性 $V=f(I)$	调整特性 $I_f=f(I)$
条件	$n=n_N, I=0$	$n=n_N, V=0$	$n=n_N, I=$常数，$\cos\varphi=$常数	$n=n_N, I_f=$常数，$\cos\varphi=$常数	$n=n_N, V=V_N$，$\cos\varphi=$常数

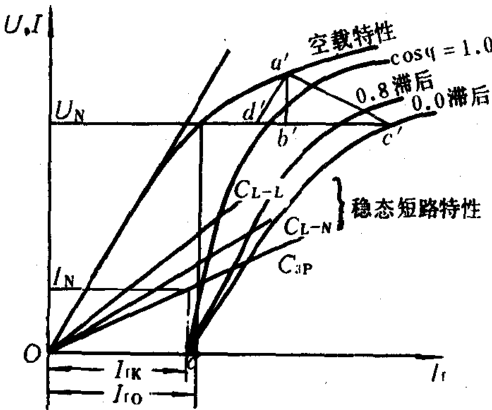


图 8.1.2—69 同步发电机的空载、稳态短路及负载特性

C_{3p}—稳态三相短路特性；C_{L-L}—稳态线—线间短路特性；C_{L-N}—稳态线—中点间短路特性

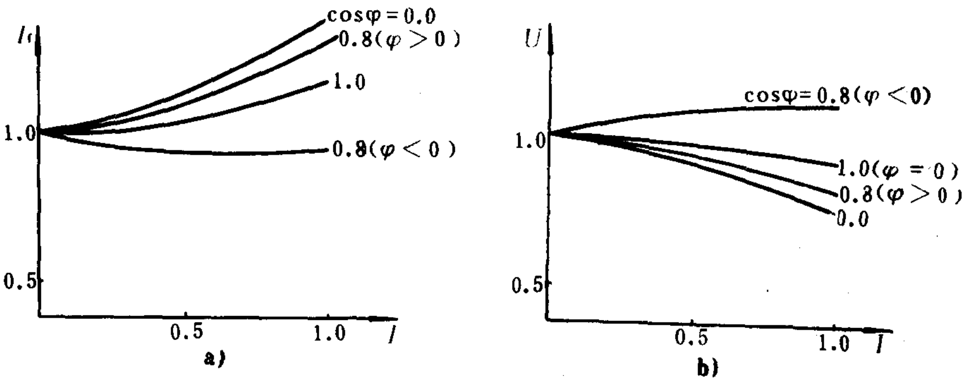


图 8.1.2—70 同步发电机的调整特性与外特性

a)调整特性； b)外特性

4.2.5 电压变化率 ΔV%

在励磁电流和转速一定时，在某一功率因数下，从额定功率减少到空载时的电压变化量，用额定电压的百分率表示：

$$\Delta U\% = \frac{E_0 - U_N}{U_N} \times 100\%$$

电压变化率数值主要与磁路饱和程度及电枢反应的作用有关。

4.3 同步发电机的主要参数

为了分析同步电机在各种不同运行情况下的性能，需要各种电抗和时间常数值。如进行稳

态分析时需要 X_σ、X_{ad}、X_{aq}、X_d、X_q 等；进行瞬变状态分析时需要 X_d'、X_d''、X_q''、T_{do}'、T_d'、T_d''、T_a 等。

4.3.1 各种电抗的含义

1)电枢漏抗 X_σ 对应于电枢漏磁通的电抗，包括槽漏磁、气隙漏抗、绕组端部漏抗。

2)同步电抗 X_d 电枢反应电抗 X_{ad}和漏电抗 $X_{a\sigma}$之和。

3)直轴瞬变电抗 X_d' 无阻尼绕组的同步电抗。在电枢端点突然三相短路瞬间，对应于瞬变电流的等效电抗，由电枢绕组与励磁绕组的磁路耦合状态决定。

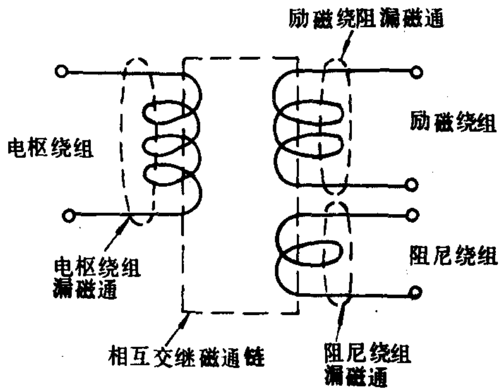


图 8.1.2－71 瞬变过程中各绕组间的磁耦合说明图

4)直轴超瞬变电抗 X_d'' 有阻尼绕组的同步电机对应初期瞬变电流的等效电抗，由电枢绕组、励磁绕组和阻尼绕组三者的磁路耦合状态决定。

5)交轴超瞬变电抗 X_q'' 突然短路发生在电网某处时，由于线路阻抗影响，使电枢电流中不仅有直轴分量，还会有交轴分量。交轴的瞬变电抗和超瞬变电抗以 X_q'和 X_q''表示，但 $X_q = X_q'$；在无阻尼绕组时，$X_q''=X_q'$。

4.3.2 各种电抗的典型数据 （见表8.1.2－48）

表 8.1.2－48 **各种电抗的典型数据**(标么值)

电机类型	X_d	X_q	X_d'	X_d''	X_q''
汽轮发电机	1.8 / 1.5～2.5	1.8 / 1.5～2.5	0.23 / 0.15～0.31	0.15 / 0.10～0.20	(1～1.1)X_d''
有阻尼绕组凸极电机	0.95 / 0.7～1.3	0.71 / 0.54～0.88	0.33 / 0.24～0.45	0.21 / 0.16～0.35	(1～1.1)X_d''
无阻尼绕组凸极电机	0.95 / 0.7～1.3	0.71 / 0.54～0.88	0.3 / 0.2～0.4	0.25 / 0.15～0.35	(2～2.3)X_d''
同步调相机	1.7 / 1.4～2.5	0.88 / 0.7～1.3	0.31 / 0.22～0.42	0.16 / 0.14～ 0.22	0.17 / 0.15～ 0.24

注：①横线下方为数值范围，上方为平均值；②数值为不饱和值

4.3.3 各种时间常数含义，(见表 8.1.2－49)

表 8.1.2－49 **各种时间常数含义**

名　　称	含　　义
开路时间常数 T'_{do}	电枢绕组开路时，励磁绕组回路的时间常数
超瞬变开路时间常数 T''_{do}	电枢绕组开路，励磁绕组短路时，直轴阻尼回路的时间常数
瞬变短路时间常数 T'_d	电枢绕组短路时，励磁回路的时间常数，是决定突然短路电流交流分量衰减的时间常数
超瞬变短路时间常数 T''_d	电枢绕组短路时，阻尼回路的时间常数，是决定突然短路电流交流分量初期衰减的时间常数
电枢时间常数 T_a	对应电枢回路电流直流分量的时间常数是决定突然短路电流非周期分量衰减的时间常数

4.3.4 各种时间常数的典型数据(见表 8.1.2—50)

表 8.1.2—50 **各种时间常数的典型数据**

参 数	汽轮发电机	有阻尼绕组凸极机	无阻尼绕组凸极机	同步调相机
T_{do}' (s)	$\frac{6}{5\sim12}$	$\frac{6.1}{1.77\sim10.3}$	$\frac{6.1}{1.77\sim10.3}$	$\frac{7.8}{5.6\sim10}$
T_d' (s)	$\frac{0.85}{0.8\sim1.3}$	$\frac{1.8}{0.56\sim3.1}$	$\frac{1.8}{0.56\sim3.1}$	$\frac{1.3}{0.77\sim1.75}$
T_a (s)	$\frac{0.2}{0.05\sim0.22}$	$\frac{0.2}{0.08\sim0.22}$	$\frac{0.35}{0.15\sim0.55}$	$\frac{0.15}{0.08\sim0.22}$

4.4 同步发电机的并联运行

4.4.1 并联运行的条件

4.4.1.1 准同步并入电网的条件

1)机端电压的有效值和电网电压的有效值相等;

2)相序和电网的一致,与电网对应相的电压相位一致;

3)频率和电网的相等。

其中 1)、3)条允许存在一定偏差。水电部制定的"发电机运行规程"第 62 条规定,当发电机频率与系统频率之差在 1Hz 以内时,始可将同步检定器接入。据此算得并网投入时刻的频率差约为 0.1～0.4Hz。

4.4.1.2 自同步并网时的条件

核算机组的冲击电流,如小于$\frac{0.74}{Xd''^*}$IN 时,可采用自同步方法并网。其中 Xd''^* 为直轴超瞬变电抗的标么值。

4.4.1.3 柴油发电机并联运行

除满足上述条件外,还应满足下列要求:

1)各台柴油机的调速特性相同,即负载增加某一百分数时,各机组下降的百分数一样。

2)柴油机的调速器不振荡,且能迅速使机组达到稳定速度。

3)发电机装有阻尼绕组。

4)自动电压调节器中装有环流补偿单元,以使各发电机运行于相同功率因数。

5)机组具有适当的飞轮转矩 ,使每一台发电机的电磁固有振荡频率与参与并联运行的任一台柴油机的任一谐 波转矩的频率至少相差 20%,以避免发电机共振。当发电机由低速柴油机拖动时,应按表 8.1.2—51 核算机组的 GD^2。

表 8.1.2—51 **柴油发电机与 50Hz 网路并联时所需要的最小 GD^2**

四冲程柴油机				二冲程柴油机			
r/min	m^2/kVA	r/min	m^2/kVA	r/min	N·m^2/kVA	r/min	N·m^2/kVA
150	3500	375	9	150	875	375	22.5
167	2280	428	53	167	570	428	13.2
188	1440	500	29	188	360	500	7.2
214	845	600	14	214	212	600	3.5
250	455	750	5.7	250	114	750	1.4
300	219	1000	1.8	300	55		

4.4.2 静态功角特性

同步发电机接在电网上稳态对称运行时，发电机的电磁功率与功率角之间关系。功角θ是$\dot{E}_0$与$\dot{U}$之间相角差。通过功角特性，可以确定稳态运行是发电机所能发出的最大电磁功率P_{max}和静态过载系数K_M。计算公式见表 8.1.2—52 。

表 8.1.2—52 **电磁功率和电磁转矩**

	隐极电机	凸极电机
电磁功率	$P_{em}=m\dfrac{E_0U}{X_t}\sin\theta$	$P_{em}=m\dfrac{E_0U}{X_d}\sin\theta+\dfrac{mU^2}{2X_dX_q}(X_d-X_q)\sin2\theta$
电磁转矩	$T_{em}=\dfrac{m}{\Omega}\dfrac{E_0U}{X_t}\sin\theta$	$T_{em}=\dfrac{m}{\Omega_1}\cdot\dfrac{E_0U}{X_d}\sin\theta+\dfrac{m}{\Omega_1}\dfrac{U^2}{2X_dX_q}(X_d-X_q)\sin2\theta$

注：不计定子电阻R_a

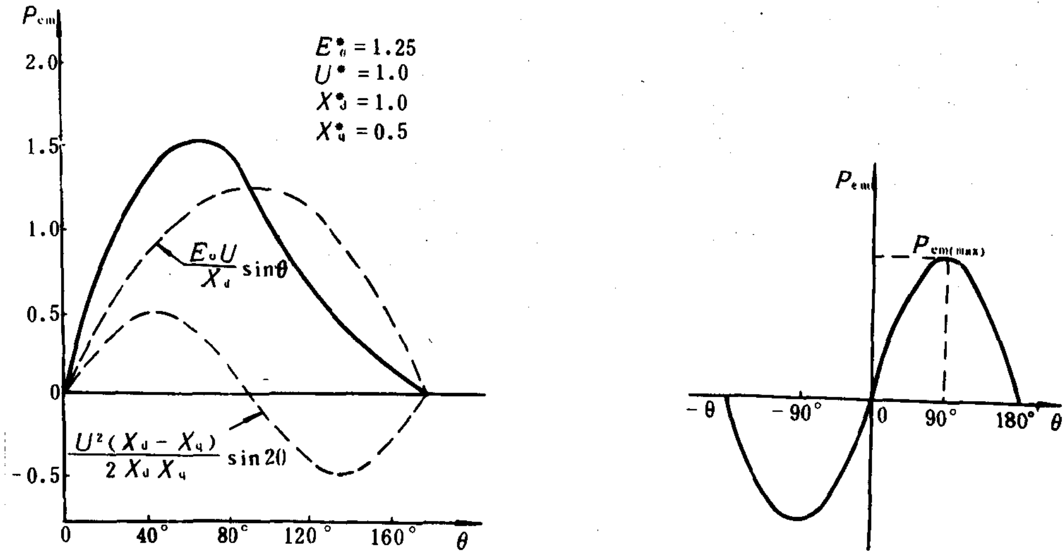


图 8.1.2—72 功角特性

a)凸极电机；b)隐极电机

4.4.3 并联运行时有功功率的调节和静态稳定条件

要增加发电机的输出功率，就必须增大发电机的功角，即增加原动机的功率，当$\theta=90°$时，P_{em}达到最大值，若再增加原动机功率，发电机组就不能稳定运行。

静态稳定运行的条件：$\dfrac{dP_{em}}{d\theta}>\dfrac{dP}{d\theta}$ 其中P为原动机功率。

4.4 无功功率的调节和V形曲线

发电机在并联运行时，调节励磁就可以调节输出的无功功率。在电网电压、频率和有功功率不变的情况下，励磁电流I_f和电枢电流I的关系曲线称为V形曲线。见图 6.1.2—73。

表 8.1.2—53 **V 形 曲 线 特 点**

励磁电流 I_f	I_{fo}(正常励磁)	$>I_{fo}$	$<I_{fo}$
电枢电流 I	最小	增大	增大
功率因数	1.0	<1.0 (感性)	<1.0 (容性)

4.5 同步电动机

4.5.1 同步电动机的结构和工作原理

同步电动机的结构基本上与同步发电机相同。定子上安置三相绕组，通以三相交流电后产生一空间旋转磁场。转子上安置励磁绕组，通以直流电产生恒定磁场，定、转子磁场相互吸引使转子在同步转速下旋转。

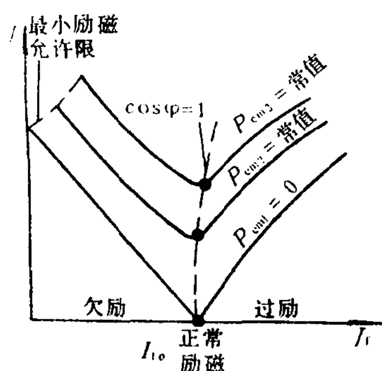


图 8.1.2—73 同步发电机的 V 形曲线

常用的卧式同步电动机结构，除了额定转速为 3000(r/min)的两极同步电动机做成隐极式之外，一般都为凸极式，并在磁极极面上装有起动绕组(阻尼绕组)。

4.5.2 同步电动机的运行特性

1)工作特性 在电网电压 μ=常数，励磁电流 I_f=常数时，T_{em}、I_D、$\cos\varphi_D$、η 与 P_2 之间关系曲线，见图 8.1.2—74 所示。

2)V 形曲线 在 V=常数，P_{em}(或 T_{em})=常数时，调节励磁电流，使电枢电流发生变化情况，与发电机并在电网上时的情况类似，见图 8.1.2—75。

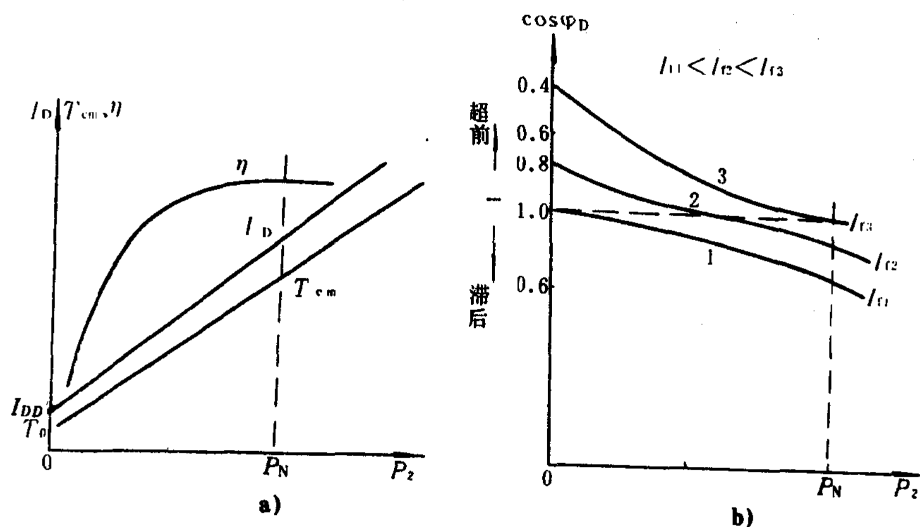


图 8.1.2—74 同步电动机的工作特性曲线

a)T_{em}、I_D、$\eta=f(P_2)$；b)$\cos\varphi_D=f(P_2)$

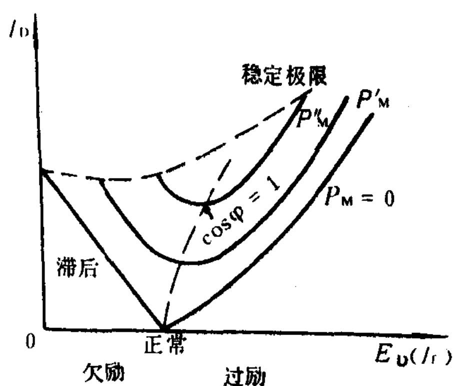


图 8.1.2—75 同步电动机的 V 形曲线

4.5.3 同步电动机的特点

1)通过调节同步电动机的励磁电流，可以使其在超前功率因数下运行，有利于改善电网的功率因数。

2)同步电动机的过载能力比相应的异步电动机要大。由于它的励磁系统一般都能自动调节，当电网电压下降时能自动强行励磁，因此运行稳定性高。

3)转速不随负载大小而变化，只有当负载转矩大到使电动机的功角超过极限值时，电动机失步。

4)运行效率高，尤其是低速同步电动机的这一优点更为突出。

4.5.4 同步电动机的起动

同步电动机本身无起动转矩，必须借助于其它力量。常用的起动方法见表 8.1.2－54 所示。

表 8.1.2－54　　**同步电动机的起动方法**

起动方法	原理图	起动电流%	起动转矩%	特　点　及　适　用　范　围
		（以全压起动为 100%）		
全压异步起动	U_N　T	100	100	起动转矩大，附属设备少，操作简单，维护方便，是广泛使用的起动方法，但要求电网容量大
电抗器降压异步起动	U_N　电抗器　T	75%端电压		起动加速平滑，转矩的大小能够适当调节（但一般比较低）；最适用于空载起动 电抗器结构简单
		75	56.3	
自耦变压器降压异步起动	U_N　自耦变压器　T	75%端电压		起动转矩的大小能够调节，线路起动电流比电动机的起动电流小。所用设备较复杂，切换到全电压时，应注意避免电流冲击 适用于电网容量不够大，而又要求起动转矩较高的地方
		供电网路 56.3 同步电动机 75	56.3	
调频同步起动	U_N　E_2　T　E_1　TYD　TF （采用同步异步电动机 TYD 及同步发电机 TE 机组）	（1～1.5）I_{1N} 由负载特性的速度上升率决定	由 TF 及 T 的励磁电流值以及 TYD、TF 的阻抗决定	起动技术较复杂，需要一套电源机组或可控硅静止变频器和独立的励磁装置，但该机组或变频器也可用来依次起动数台相同规格的大型同步电动机 适用于大容量高速同步电动机，尤其在负载转矩及 GD^2 均很大时

4.5.5 同步电动机的用途及典型产品的主要技术数据

同步电动机主要用于传动恒速运转的大型机械，如鼓风机、水泵、压缩机等。其功率大多在 250kW 以上，转速为 100～1500r/min，额定电压为 380V、6kV 或 10kV，额定功率因数为 0.9（超前）。

表 8.1.2－55 列出 TD 系列中型三相同步电动机的主要技术数据，该系列一般为卧式结构，防护式自冷却通风，一端轴伸。适用于传动通风机、水泵、发电机及其它通用机械。

表 8.1.2－55　　**TD 系列中型三相同步电动机的主要技术数据**

型号	额定值				功率因数（超前）	效率（%）	堵转电流/额定电流	堵转转矩/额定转矩	牵入转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩	惯量矩（kg·m²）	额定工况下		重量（t）
	功率（kW）	电压（V）	电流（A）	转速（r/min）								励磁电压（μ）	励磁电流（A）	
TD250－6	250	380	452	1000	0.9	92	7	0.7	0.5	1.6	120	27.8	146	3.06
TD400－6	400	6000	459	1000	0.9	93	7	0.7	0.5	1.6	210	25.8	202	4.0
TD400－6	400	380	726	1000	0.9	93	7	0.7	0.5	1.6	140	31	155	3.3
TD560－6	560	6000	63.7	1000	0.9	93	7	0.7	0.5	1.6	286	43	179	4.5
TD400－8	400	6000	45.7	750	0.9	93	6	0.7	0.5	1.6	300	51.5	111	4.5
TD125－10	125	380	240	600	0.9	89.5	6	0.7	0.5	1.6	140	32	113	2.4
TD225－10	225	380	410	600	0.9	91.5	6	0.7	0.5	1.6	160	51	85	3.05

续上表

型号	额定值				功率因数(超前)	效率(%)	堵转电流/额定电流	堵转转矩/额定转矩	牵入转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩	惯量矩(kg·m²)	额定工况下		重量(t)
	功率(kW)	电压(V)	电流(A)	转速(r/min)								励磁电压(μ)	励磁电流(A)	
TD280－10	280	380	508	600	0.9	92	7	0.7	0.5	1.6	200	43.4	119	3.4
TD400－10	400	3000	91.4	600	0.9	92.5	7	0.7	0.5	1.6	300	33	174	4.27
TD400－10	400	6000	46.7	600	0.9	92.5	7	0.7	0.5	1.6	300	46.2	130	4.6
TD400－10	400	6000	46.7	600	0.9	92.5	7	0.7	0.5	1.6	300	46.2	130	4.62

4.6 同步电机的使用、维护和拆装

4.6.1 电机运转前的准备工作

1)仔细观察电机内部情况,不得有外物存在。

2)用大约2个大气压的干燥压缩空气或手风箱清除电机各部分之灰尘,为避免损坏线圈绝缘,不能用金属吹管。

3)如为滑动轴承时,用煤油清洗轴承。

4)用油环式润滑的轴承,将润滑油注入轴承中到所规定的油面高度。润滑油注入前,应检查油的牌号是否合乎要求,油是否变质或不清洁。

5)检查电机和其它机器连接的联轴器、减速齿轮箱等装置是否良好,检查机组的中心线是否在一条直线上。

6)转动转子是否灵活,以便检查安装质量和轴承润滑情况是否良好。

7)用沾有少量汽油的棉纱,将换向器及集电环的表面擦净,如集电环上有锈时,必须用N_000砂皮纸擦去,如换向片间槽中有垃圾时,应用硬纸板清除。

8)检查集电环和换向器的电刷装置是否正确,刷架固定是否牢固。电刷在刷握内应上下移动自如,而不应偏转,其配合为D_5/dC_6。电刷握与集电环或换向器间的距离应保持在2～3mm之间,并不能有凝结水。

9)电刷与集电环之接触应良好,如接触不良时,应用细砂纸沿电机的旋转方向,磨光电刷。

10)检查电刷的压力,换向器上电刷的压力为22kPa,集电环上电刷压力为15～20kPa,电刷彼此间的压力相差不应大于±10%,电刷上的编织导线,不能与机壳或不同极性的电刷相碰。

11)测量电机的绝缘电阻。6000V及3000V级定子线圈的绝缘电阻不应小于:

$$\frac{\text{电机额定电压(V)}}{1000+\frac{\text{电机额定容量(kVA)}}{100}}\ \text{M}\Omega$$

励磁机各线圈、同步电机400V级定子线圈及转子线圈绝缘电阻不应小于0.5MΩ。

12)电机各磁极顶部与定子间气隙,用塞尺测量,其最大与最小值之差与平均气隙之比,一般不得超过±5%,在低速电机中不应超过±10%。

13)检查电机的出线与励磁系统的连接线是否正确,接头是否牢固。

14)检查所有保护设备、信号设备和操作设备是否全部接好,动作是否灵敏及校准好。

15)检查电机电压是否与线路电压相符合。

16)正式运转前,应先试车。让电机空转,达到额定转速后,再停下来检查。看旋转方向是

否与指示相符，机械部分是否良好，应无碰击和振动。然后再空转 2～3h，检查滑动轴承的温升不应超过 40℃，如为滚动轴承，温升不应超过 60℃（环境温度以 40℃计算）。如有不正常现象，应立即停机检查。

4.6.2 同步发电机的起动与停车

4.6.2.1 单独运行的发电机的起动：

1)检查一切连接发电机与线路的开关是否全处于开路状态，励磁系统的调节器在正确位置；

2)若发电机为管道通风装有风泵时，应先起动风泵，并检查风路的循环是否正常；

3)开动原动机至额定转速；

4)起动后，逐渐增加励磁电压和励磁电流，使发电机的电压达到额定值；

5)合上与线路连接的开关；

6)逐渐增加负载，若此时端电压发生变化，应调整励磁系统，使负载达到额定值时，端电压仍保持额定值。

4.6.2.2 单独运行的发电机停车

1)调节励磁电流，使发电机的端电压减少到最小值；

2)拉开与线路连接的开关；

3)停止原动机；

4)拉开全部开关；

5)停止风泵等辅助机构；

6)清洁电机，并作下次开车的准备工作。

4.6.3 电机的拆装说明

4.6.3.1 拆装的步骤：

1)拆开电机引出线与外面电缆的连接；

2)分开电机与其它机器连接的联轴器；

3)如电机为管道通风型，须将电机与进风管道拆开；

4)将励磁机与发电机分开；

5)拆下集电环上电刷架的连接电缆；

6)旋出端盖及机座上螺钉与销钉，并取下端盖；

7)如有油环式润滑的轴承，取下上半端盖后，将油环扳向两边，使其离开轴承套筒，取出轴承套筒上半部，再取出下半端盖；

8)在电机气隙中垫以纸板，使转子取出时不致损伤定子铁芯和绕组；

9)从定子内抽出转子。

4.6.3.2 电机的装配可按相反的次序进行。

4.6.3.3 电机在拆装中的注意事项

1)拆装前，各部分应作好记号，使装配时各部件仍回到原来的位置上；

2)在拆装端盖时，应特别注意，不要碰伤凸出在机座外面的定子线圈部分；

3)从定子中抽出或放进转子的方法很多，主要根据用户的具体条件决定，但不论用何种方法都应遵守下列规定：

(1)钢丝绳不得碰到转子的轴颈、风扇、集电环及转子引线上；

(2)钢丝绳栓缚的地方必须垫以木板或橡皮垫；

(3)在抽出或放入转子时，为了避免转子和定子铁芯相擦，可以用气隙透光法来监视；

(4)转子不得碰到定子线圈上。

4)在转子取出后，转子集电环和轴颈处应涂以防锈剂，并用厚纸板包好，用绳子绑好(湿热带型电机用石腊纸或沥青纸)。

4.6.3.4 电机全部装好后，应按电机运转前的准备工作进行检查。

4.6.3.5 当检修时如果必须调换滚动轴承时，可用拉脚方法拉下轴承。轴承盖如为钢时，可拉外轴承盖，如轴承盖为铸铁时，外轴承盖易拉碎，应采用拉脚拉内轴承盖办法。

4.7 运行中的故障分析

4.7.1 同步发电机故障

1)发电机发不出电压：

(1)由于励磁机故障；

(2) 转子磁极线圈断路，一般是在极间联接线或引线处焊锡不牢，联接线折断；

(3)大修后转子线圈极性接错；

(4)转子线路在正负两端，恰巧都短路或接地时，电流不再经过线圈；

(5)定子线圈断线。

2)发电机电压太低：

(1)由于励磁机发出的电压低；

(2)转速太低；

(3)转子磁极线圈接错；

(4)转子磁极线圈有部分匝间短路；

(5)定子线圈接错，例如将 Y 接法接成 Δ 形。

3)发电机的单独运行时，可能发生的故障

(1)负载时励磁电流需要太大，当发电机在低功率因数情况下运行，或在强行励磁情况下，励磁电流大大增加；

(2)功率和负载电流的波动，波动的原因有：

①负载本身波动；

②原动机方面如调速器失灵等；飞轮配合不适当；

③发电机的故障，一般是转子不圆，磁场变阻器接触不良，电刷与集电环接触不良，或磁极线圈有短路等。

4)相复励励磁发电机电压不正常：

(1)电抗器、电流在感器线圈断(短)路不发电；

(2)整定电阻太小(电压低)；

(3)电抗器气隙太大(电压高)或太小(电压低)；

5)谐 波励磁发电机电压不正常：

(1)谐波励磁绕组断(短)路不发电；

(2)分流晶闸管(可控硅)短路(不发电)；

(3)触发装置工作不正常或损坏。

6)晶闸管(可控硅)励磁发电机电压不正常：

(1)晶闸管控制极击穿或开路(不发电)；

(2)触发装置损坏。

4.7.2 发电机在并联运行中可能发生故障

1)电机的负载分配不均。改变原动机的功率，可以改变负载分配。所以要求各原动机的调速器特性必须相同。

2)发生振荡现象：

(1)由于原动机的机械性能造成。原动机的转矩成周期性的脉动变化，使转子速度成周期性变化，当脉动频率与电机的固有频率相接近时，振动会更加强烈，发电机在振动过程中会与并联的发电机步调紊乱，从而造成不稳定现象。修理后的汽缸特性不一，或调速器失灵也会发生振荡现象；

(2)在电路中，因故障而产生一种周期性的功率脉冲，或负载中有很大功率的往复式机械，则这种脉冲功率传到电机内，当其频率接近发电机固有频率时，会使电机发生振荡；

(3)电机在运转中，如励磁突然中断或减少时，也会产生振荡现象。

3)不稳定现象引起的原因：

(1)由于系统的短路，使系统的电压降低，引起失步；

(2)超前电流或滞后电流太大而引起失步；

(3)由于调速器失灵而产生。

4.7.3 电机的其它故障

1)线圈和铁芯等过热　一般原因有负载过大，线电压太高，匝间或相间短路，周围环境温度偏高，电机不清洁或在气压低于0.6大气压力下运行。

2)换向器过热　一般原因是换向片间短路，电刷压力太大，换向器上火花太大或负载太大等。

3)轴承过热　由于油量不够，油脏，油环阻塞，轴承和轴颈表面不光，轴与瓦的间隙不对，轴承压力过大，电机倾斜和轴电流等造成。滚珠或滚柱轴承的过热，可能由于润滑油不足或过多，转轴弯斜，转轴摩擦过大，润滑油内有杂质及外来物品以及钢珠损坏等引起。

4)绝缘击穿　由于工作电压过高，遇到酸碱等腐蚀气体的侵入，线圈不清洁，过热或过于潮湿，环境温度太低等。

5)绝缘电阻太低　由于太潮湿，不清洁，温度变化太大，绝缘损坏或老化。

6)集电环上跳火和烧毛　由于集电环与电刷不清洁，表面粗糙引起振动，电刷压力太小，电刷在刷握内挤得太紧，不能滑动，电刷材料不适宜，空气中水分太多，气压太低或空气中含有酸碱气体。

7)轴承漏油　轴承内油量过多，轴承所用油质不良或密度不对，油垫封闭不严，轴承附近有真空现象。

8)电机振动大　可能是安装不良，机组的中心线不在一直线上，轴承有倾斜，联轴器装置不正确，转子铁芯和联轴器的平衡不良，基础不坚固或有下沉现象，电机的转轴弯曲，轴瓦间隙太大及磁极线圈的匝间发生短路等。

4.8 国内船用同步发电机型号规格及铭牌数据

见文献[6]。

5 控制电机

5.1 控制电机的分类与基本要求

按照控制电机在系统中的用途可分为信号元件和功率元件两大类。

作为信号元件用的控制电机常见的有自整角机、测速发电机等。而作为功率元件的控制电机则有：电机扩大机、伺服电动机、步进电机、力矩电动机和滚切电动机等。

信号元件与功率元件的区别在于：前者是用来转换信号的，例如将角位移转换为电信号的自整角变压器和将速度转换为电压信号的测速发电机，后者是将电能转换为机械能，如伺服电动机等。

对控制电机的基本要求是：高可靠性、高精度和快速响应。

用于船舶的控制电机，是在极为恶劣的环境中工作的，而且在比较复杂的自动控制系统中，往往使用许多控制电机，因此它应有很高的可靠性，例如单个元件的可靠性是99.5%，则40个元件组成的系统可靠性将下降为81.8%，因此高可靠性是对控制电机的第一个基本要求。高精度是系统对控制电机提出的第二个基本要求。控制电机的精度对信号元件来说，包括静态偏差、动态偏差、环境温度变化电源频率电压变化引起的漂移等；而对功率元件来说，包括特性的线性度和不灵敏区。这些都直接影响着系统的精度。对控制电机的第三基本要求是快速响应，由于自动控制系统的主令信号变化快，特别是功率元件应能作出快速响应。表征快速响应的主要指示是机电时间常数和灵敏度，这些都直接影响着系统的动态偏差和振荡时间。

5.2 自整角机

5.2.1 工作原理

自整角机是一种感应式的机电元件。在系统中通常是两个或两个以上组合使用。

按照自整角机在系统中的运行方式可分为力矩式自整角机和控制式自整角机两种。

5.2.1.1 力矩式自整角机的工作原理

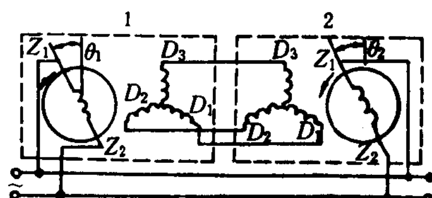


图 8.1.2－76 自整角发送机－接收机工作原理

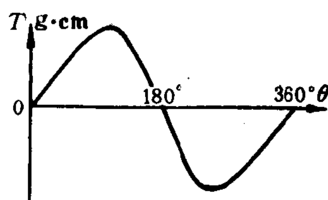


图 8.1.2－77 整步转矩与失调角的关系

自整角机按图 8.1.2－76 所示接线。左边为发送机，Z_1Z_2 是转子绕组，D_1、D_2、D_3 为定子三相星形连接绕组，定子各相绕组的轴线在空间互距120°。当转子绕组接通单相交流电源后，产生脉动磁场，定子绕组所感应的电势在时间相位上是相同的，由于定子各相绕组的空间位置不同，因此线间电势的极性和大小也不同。其数学表达式如下：

$$E_{31}=E_m\sin\theta_1 \quad V$$

$$E_{23}=E_m\sin(\theta_1+120°) \quad V$$

$$E_{12}=E_m\sin(\theta_1-120°) \quad V$$

式中：E_{31}、E_{23}、E_{12}——分别为 D_3D_1、D_2D_3、D_1D_2 端的线间感应电势；

E_m——线间最大感应电势；

θ_1——转子偏移基准电气零位的角度。

由上式可见，定子绕组的线间感应电势与 θ_1 角成正弦函数关系。

在图 8.1.2－76 的右边为接收机，当发送机与接收机的三相绕组对应连接后，若两者的线间最大感应电势 E_m 相同，当发送机和接收机两者转子自基准电气零位偏转的角度 θ_1 与 θ_2 不相等，即有角差 $\theta=\theta_1-\theta_2$（θ 通常称为失调角）时，则两者对应线间电势不相等，两定子绕组间便有电流流过，此电流与两转子所建立的磁场相互作用便产生转矩（称为整步转矩）。整步转矩力图使 θ 角趋于零。由于发送机转子与主令轴相连，因此整步转矩只能使接收机转子跟随发送机转子转过 θ 角。当两转子的转角一致即 $\theta=0$ 时，整步转矩为零，系统进入新的协调位置。

整步转矩 T 与失调角 θ 的关系如图 8.1.2－77 所示，图中 T 为负值时，表示其旋转方向与正值时相反，T 的最大值出现在 θ 角为 90°和 270°。

力矩式自整角机是利用整步转矩进行工作的，但其整步转矩比较小，只能带动指针、刻度盘等轻负载。力矩式自整 角机精度一般为 0.2～1 度，它仅能组成开环的自整角系统，系统精度不高、主要用于远距离指示装置。

5.2.1.2　控制式自整角机的工作原理

为了提高自整角机系统的精度和负载能力，在力矩式自整角机的基础上发展了控制式自整角机。如果将力矩式接收机的转子绕组从电源断开，由于发送机的定子绕组电势，使接收机定子绕组有电流流过而产生磁通，此磁通与接收机转子绕组相交链而感应电势。此时接收机是在变压器状态下运行，因此控制式自整角机系统中的接收机称为自整角变压器。

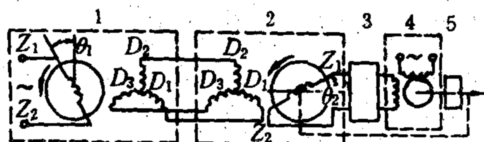


图 8.1.2－78　控制式发送机－自整角变压器工作原理

1－发送机；2－接收机；3－放大器；4－伺服电机；5－执行机构

自整角变压器的基准电气零 位是转子绕组轴线与定子 D_2 相绕组轴线垂直的位置，这一位置通常称之为协调位置，如果发送机和自整角变压器的转子偏移各自基准电气零位的角度不同，即有失调角 θ，则自整角变压器的转子绕组输出电压 $U_2=U_{2max}\sin\theta(V)$。$U_{2max}$ 为转子绕组最大输出电压。控制式自整角机广泛应用于伺服系统中。如图 8.1.2－78 所示。

5.2.2　自整机的分类与构造特征

按电源分类可分为单相和三相，单相自整角机常用电源为：110V、50Hz；26V、36V、115V、400Hz。

此外用于较大功率的系统如电轴系统的自整角机则为由三相交流电源供电的三相自整角机（功率自整角机）。按结构分类可分为接触式和无接触式。接触式单相自整角机结构比较简单、性能较好使用比较广泛，现将分类列于表 8.1.2－56 中。

表 8.1.2－56　**接触式单相自整角机的分类**

分类		代号	结构特征		作用
			定子	转子	
控制式	发送机	ZKF	隐极式、嵌有三相星形连接绕组，各绕组空间相距 120°	凸极式或隐极式嵌有单相绕组	将输入的转子转角变成电信号输出
控制式	自整角变压器	ZKB	隐极式、嵌有三相星形连接绕组，各绕组空间相距 120°	隐极式嵌有单相绕组（分布绕组）	接收发送机输出的电信号，变成与失调角 θ 相应的电信号输出

续上表

分类		代号	结构特征		作用
			定子	转子	
力矩式	发送机	ZLF	隐极式、嵌有三相星形连接绕组，各绕组空间相距120°	凸极式嵌有单相绕组（集中绕组）	与控制式发送机相同
	接收机	ZLJ	隐极式、嵌有三相星形连接绕组，各绕组空间相距120°	同发送机但加嵌阻尼绕组或带有机械阻尼器	接收力矩式发送机的电信号，变成转子转角输出

5.2.3 控制式自整角机的技术指标

1）电气误差 $\Delta\theta_d$

控制式自整角机的转子转角与感应电势在理论上应符合 $U_2=U_{2max}\sin\theta$，但由于设计、工艺等因素的影响，实际转角与理论值是有差异的，此差值即为电气误差，以角度“分”表示，其数值范围为 3′～10′。电气误差使系统精度下降。

2）零位电压 U_0

控制式自整角机处于电气零位时的输出电压，其数值范围通常为 30～180mV。零位电压将使伺服系统的放大器具有一定的饱和度，从而对放大器的线性度有影响。此数值愈小愈好。

3）比电压 U_0

自整角变压器在协调位置附近，单位失调角的输出电压，以 V/deg 表示，数值范围为 0.3～1V/deg，比电压增大可提高系统的灵敏度。

4）输出相位移 φ

控制式自整角机输出电压的基波分量对励磁电压的基波分量的时间相位差，以角度表示。其数值范围为 2°～20°。

5.2.4 力矩式自整角机的技术指标

1）零位误差 $\Delta\theta_0$

力矩式自整角发送机当转子励磁后，从基准电气零位开始，转子每转过 60°，在理论上定子绕组中有一线间电势为零。此位置称为理论电气零位。由于设计及工艺因素影响，实际电气零位与理论电气零位是有差异的。此差值为零位误差以角度“分”表示，其数值范围为 3′～10′，它影响系统的精度。

2）静态误差 $\Delta\theta_j$

当处于静态协调位置时，接收机与发送机转子转角之差，以角度表示，其数值范围为 0.2°～1°，它也影响系统的精度。

3）比整步转矩 T_θ

接收机与发送机在协调位置附近单位失调角所产生的整步转矩 以 N·m/deg 为单位。

4）阻尼时间 t_n

接收机自失调位置到稳定的协调位置所需的时间。

5.2.5 自整角机选用注意事项

1）自整角机的励磁电压与频率必须与电源相同。

2）在电源容量允许的情况下，应选用输出阻抗较低的发送机，以便 获得较大的负载能力。

3）选用自整角变压器应选择输入阻抗较高的产品，以减轻发送机的负载。

4)力矩式自整角机的静态精度是指当负载为很轻的指针时的精度，若负载较大时，应根据所要求的精度选用比整步转矩较大的自整角机。

5.2.6 自整角机的常见故障及故障原因（见表8.1.2－57）

表8.1.2－57 **接触式自整角机的常见故障及可能发生的原因**

故　障	可　能　发　生　的　原　因
误差增大	励磁绕组断线或短路，输出绕组断线或短路，由刷滑环接触不良，负载过大或并联台数过多
温升过高	励磁绕组或输出绕组短路，接收机负载过大
噪音大	励磁绕组或输出绕组短路，接收机负载过大
发送机与接收机转向相反	接绕错误
比整步转矩下降	励磁绕组或输出绕组断线电刷滑环接触不良
比电压下降	励磁绕组或输出绕组断线或短路，电刷滑环接触不良

5.3 伺服电动机

5.3.1 直流伺服电动机

直流伺服电动机通常应用于功率较大的系统中，其输出功率一般为1～600W，电压有6、9、12、24、27、48、110、220V等。

5.3.1.1 直流伺服电动机的工作原理

直流伺服电动机的基本工作原理与一般直流电动机的相同。直流电动机的转速 $n=\frac{E}{k_1\Phi}=\frac{U_a-I_aR_a}{k_1\Phi}$式中 k_1 为电动势常数，从式中可知，电动机的转速 n 可通过改变电枢电压 U_a 或改变磁通 Φ 来控制，前者称为电枢控制，后者称为磁场控制。电枢控制的优点是：机械特性和调节特性的线性度好，而且特性曲线是一组平行线，当只有励磁绕组通电时。输入损耗小，控制回路电感小，响应迅速等。所以系统多采用电枢控制。磁场控制只用于小功率电机中。

5.3.1.2 直流伺服电动机的结构和分类

在直流伺服系统中常用的是电磁式和永磁式直流伺服电动机，其结构与普通的电磁式或永磁式直流电动机没有根本区别，只是电枢铁芯长度对直径的比值大些，气隙较小。从而具有快速响应的特点。近年来为了适应不同控制系统的要求，发展了无槽电枢、空心杯电枢、印刷绕组电枢和无刷直流伺服电动机。这些新型电机的结构和性能特点及其适用范围分别介绍如下：

1)无槽电枢直流伺服电动机

这种电机的电枢铁芯为光滑圆柱体，其电枢绕组是用耐热环氧树脂固定在电枢铁芯表面，磁路气隙较大，其励磁方式为电磁或永磁。转子的转动惯量很小，机电时间常数小，换向良好。故常用于要求快速动作、功率较大的伺服系统。

2)空心杯电枢直流伺服电动机

电枢绕组用环氧树脂浇注成杯形，空心杯电枢内外两侧均有铁芯构成磁路，励磁方式通常均为永磁式，其机电时间常数小，低速运行性能好，用于需要快速动作的伺服系统。

3)印刷绕组直流伺服电动机

在圆形绝缘薄板上，印制裸露的绕组构成电枢，磁极轴向安装，具有扇面形极靴。由于其机电时间常数小，低速运转性能很好，故多在起动、反转频繁的低速系统中使用。

4)无刷直流伺服电动机

永磁励磁方式，定子多为多相绕组，转子用永久磁钢制成，无电刷与换向器，它是以电子换向装置代替了普通直流电动机的机械换向装置，因此它保持了直流电动机的优点，而克服了其缺点，具有噪音低、寿命长、无射频干扰等特点。在控制系统中，可作为伺服电动机、稳速电动机、力矩电动机等使用。其缺点是结构比较复杂，包括电子换向器在内的体积较大，低速时转速不均匀等。

5.3.2 交流伺服电动机

交流伺服电动机的输出功率一般是0.1～100W，最常用的是30W以下的。其电源频率为50Hz时，电压为36，110，220，380V；电源频率为400Hz时，电压为20，26，36，115V。

5.3.2.1 两相交流伺服电动机的结构和分类

交流伺服电动机的定子结构与一般异步电动机相似；但它的定子绕组多制成两相的。两相绕组有空间相距90°电角度。转子结构主要有鼠笼形和非磁性杯形。

鼠笼形转子的结构与一般鼠笼形异步电动机的转子结构相似；但转子细而长；鼠笼可用铝、紫铜、黄铜制成。这种伺服电动机的特点是励磁电流较小；体积小；机械强度较高；但低速运转时有抖动现象。它广泛用于小功率自动控制系统。

非磁性杯形转子是用非磁性金属铝、紫铜等制成杯形，杯的内外由内定子和外定子构成磁路。非磁性杯形转子惯量小；运转平滑；无抖动现象，但励磁电流和体积较大，它多用于要求运行平滑的系统，如积分电路等。

鼠笼形转子伺服电动机的优点较多，应用最广泛。除了这两种交流伺服电动机外，还有用微型三相异步电动机和普用整流子电动机作为伺服电动机用于要求不高的系统中。

5.3.2.2 交流伺服电动机的基本工作原理

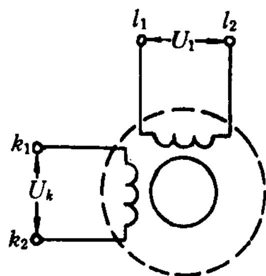


图8.1.2—79 两相交流伺服电动机原理图

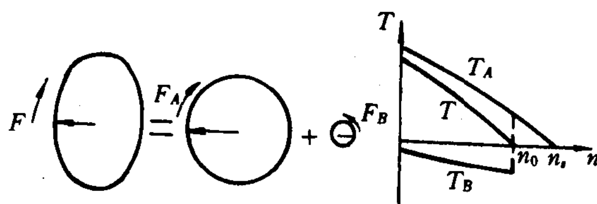


图8.1.2—80 椭圆形旋转磁场的等效关系

图8.1.2—79是两相交流伺服电动机的原理图。图中L_1L_2是由固定电压励磁的励磁绕组，k_1k_2是由伺服放大器供电的控制绕组。两相绕组的轴线在空间相差90°电角度。两绕组分别加以相位相差90°的电压，如果两相绕组产生的磁势幅值相等，这时称为对称状态，两相绕组在定子转子之间的气隙中产生的合成磁势是一个圆形旋转磁场，其转速n_s称为同步转速。

旋转磁场切割转子导体产生转子感应电势E_z和电流I_z。I_z和旋转磁场相互作用产生起动转矩T_z，$T_z=C_T\Phi I_z$，于是转子随旋转磁场异步旋转。转子的实际转速为n，转差率为$S=\frac{n_s-n}{n_s}$。由于两相交流伺服电动机本身有摩擦转矩和附加转矩，这对小功率电动机影响较大，故在对称状态下的空载转速n_0比一般异步电动机要低得多，大约只有同步转速的5/6左右。不对称状态下的转速将更低。

两相交流伺服电动机控制绕组所接受的电压（幅值或相位）是根据偏差信号由伺服放大器

提供，因此是变化的。控制电压的幅值和相位常处于非额定状态。所以两相通常是不对称的。这时两相绕组产生的磁势或为幅值不同或为相角差不是 90°。因此气隙中的合成磁场不是圆形而是椭圆形旋转磁场。这种旋转磁场可用正序或负序圆形旋转磁场 F_A 和 F_B 来等效。它们的合成转矩 $T=|T_A|-|T_B|$。如图 8.1.2－80 所示。两相不对称程度愈大，正序旋转磁场就愈小，负序旋转磁场就愈大，堵转转矩和空载转速就会更低。

不同程度的不对称状态下的机械特性构成一组曲线族。图 8.1.2－81 是在两相电压保持 90°相位差，而控制电压幅值是变化的特性曲线族。这种控制方法称为幅值控制。图中 a_e 为有效信号系数，它等于实际控制电压与额定控制电压之比，在负载不变的情况下，a_e 愈大，转速愈高。如保持两相电压幅值不变，而改变两相电压的相位差，也可以得到类似的曲线族。这种控制方法称为相位控制。如果同时改变控制电压的幅值和相位来控制伺服电动机的转速则称为幅相控制。

两相交流伺服电动机常运行在转差率为 0.4～1 之间，所以它的效率低，冷却困难，不宜制成大功率的。为了消除单相供电自转；其转子电阻比一般鼠笼形电动机的转子电阻大得多。这样在运转过程中一旦控制信号消失能自行制动。转子电阻愈大，机械性能愈趋近于直线，堵转转矩和最大输出功率愈小，效率也愈低。

5.3.2.3 选用两相交流伺服电动机的注意事项

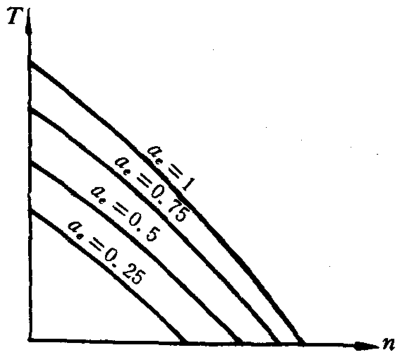


图 8.1.2－81 两相交流伺服电动机的特性曲线族

1）一般 50Hz 两相交流伺服电动机多制成 2，4 极；400Hz 多制成 4，6，8 极，极数多是不经济的。

2）两相交流伺服电动机的输入阻抗 Z 随运行转速的上升而变大，功率因数 cosΦ 则变小。功率愈大，额定电压愈低的伺服电动机，输入阻抗愈小。

3）频率升高时，定、转子漏抗增加，励磁电抗增加，堵转矩下降，机械特性的线性度变坏。频率增高过多时，还可能出现内阻尼显著变小和产生单相供电自转现象。电压下降时，堵转转矩和输出功率明显下降，加速时间增长。

4）放大器的内阻抗大，将使两相交流伺服电动机的机械特性线性度变坏，甚至引起单相供电自转，所以伺服放大器应采用负反馈以降低其内阻抗。

5）同一种两相交流伺服电动机车不同控制方式时，性能也有差别如表 8.1.2－58 所示。

表 8.1.2－58 **控制方式不同伺服电动机性能差别**

控制方式	输出功率	效率	控制功率	a_e 选择	温升	线路
幅值	中	高	小	受限	低	一般
相位	小	低	大	受限	高	复杂
电容移相	大	中	小	灵活	中	简单

5.3.2.4 两相交流伺服电动机的主要特性指标（见表 8.1.2－59）

表 8.1.2－59 **交流伺服电动机的主要性能指标**

特性指标	含　　义	数值范围
空载始动电压 U_{so}	额定励磁电压下，转子在任意位置开始空载连续运转的最小控制电压。以额定控制电压的百分比表示。U_{so}愈小，系统的不灵敏区愈小	一般 U_{so}＜额定电压的 3～4%
机械特性的非线性度 k_m	额定励磁电压下，任意控制电压时的实际机械特性与线性机械特性在 $T=\frac{T_d}{2}$ 时的转速差 Δn 与空载转速 n_0 之比的百分数（T_d 为堵转转矩）。k_m 愈小伺服电动机的性能愈接近线性，系统的动态误差就愈小	$k_m \leqslant$ 10%～20%
调节特性非线性度 k_N	调节特性是励磁电压一定时，空载转速 n_0 与控制电压 U_k 的函数关系。当 $a_e=0.7$ 时，实际调节特性与线性调节特性的转速偏差与空载转速的百分比	$k_V \leqslant$ 20%～25%
堵转特性非线性度 k_d	堵转特性是励磁电压一定时，在堵转状态下，堵转转矩 T_d 与控制电压 U_k 的函数关系。当 a_e 分别为 0.2，0.4，0.6，0.8，1.1 时，实际堵转特性曲线的 T_d 与线性堵转特性曲线的 T_d 的差值与 $a_e=1$ 时的堵转转矩 T_{do}的百分比	$k_d \leqslant \pm 5\%$
机电时间常数 τ	在空载和额定励磁电压下，加以阶跃的额定控制电压，电动机由静止上升到空载转速的 63.2%时所需的时间。$\tau=0.1047\frac{Jn_0}{T_d}$式中 J 为转子的转动惯量；$n_0$ 为空载转速；T_d 为对称状态下的堵转转矩	$\tau<0.03s$

5.3.2.5 两相交流伺服电动机获得 90°相位差的移相方法

1）利用三相电源的一相电压同另外两相间的线电压相差 90°的关系，使一相电压通过放大器加到电动机的控制绕组上，线电压加在励磁绕组上。

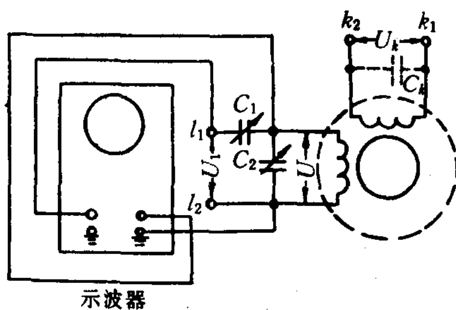


图 8.1.2－82 选择移相电容器的试验电路

2）对于无中性点的三相电源，可以利用中点抽头的电抗线圈来造成人为中点以得到相位差 90° 的两相电压。

3）在励磁绕组回路中串联或串并联电容器 C_1、C_2。C_1、C_2 可用计算方法选择，也可以通过试验方法求得。按图 8.1.2－82 接线，伺服电动机在一定运转状态（通常在堵转状态）下，调节 C_1、C_2，当示波器上的图形是圆形时，C_1、C_2 即为所求电容值。

为了改善控制绕组这一相的功率因数，可在控制绕组回路并联电容器 C_k，但 C_k 不能过大，否则会造成电动机在单相供电时自转。

5.4 测速发电机

5.4.1 直流测速发电机

直流测速发电机在自动控制系统中用作检测元件。它的基本任务是将机械转速转换为电信号。其输出电压与转速成正比，它可以作为测速元件、阻尼元件和解算元件。

5.4.1.1 直流测速发电机的工作原理

直流测速发电机的工作原理与一般直流发电机相同 。在恒定磁场下，旋转的电枢导体切割磁通，在电刷间产生感应电势：

$$E=\frac{Pn}{60_a}\Phi n \qquad (V)$$

在空载情况下，直流测速发电机的输出电压与其转速成正比。在有负载时，由于负载电阻 R_l、电枢电阻 r_a 和电刷接触电阻 r_b 引起电压降、温度变化、磁极和电枢的涡流及磁滞影响，其输出电压 U 与转速关系为：

$$U=\frac{k_e n}{1+\frac{r_a+r_b}{R_L}} \qquad (V)$$

式中： $k_e=C_e\Phi$

因此，要求线性精度高的直流测速发电机，除采取其它措施外，负载电阻应尽可能大一些。

5.4.1.2 直流测速发电机的结构与分类

直流测速发电机在结构上与普通小型直流发电机相同。按励磁方式可分为他励式和永磁式。按电枢结构不同可分为：普通有槽电枢、无槽电枢、空心电枢和圆盘式印刷绕组电枢等。目前他励式和永磁式有槽电枢的直流测速发电机应用比较普遍。

5.4.1.3 直流测速发电机的主要特性

1)输出特性

测速发电机在一定励磁和负载条件下，输出电压与转速的关系，即 U=f(n)。

2)线性误差 δ_x

直流测速发电机在工作转速范围内，输出电压与线性输出电压之差，对最大线性工作转速时输出电压实测值 之比，以百分数表示：

$$\delta_x=\frac{\Delta U}{U_n}\times 100\%$$

一般 δ_x 为 1%～2%，较精密的系统要求 δ_x0.25%～0.1%。

3)输出斜率 U_n

在一定励磁条件下，单位转速(kr/min)产生的输出电压。

4)负载电阻 R_L

保证输出特性在误 差范围内的最小电阻值。在使用中，接到电枢两端的电阻应不小于此值。

5)不灵敏区 n_b

直流测速发电机由于换向器和电刷的接触压降 ΔU_b 而导致输出斜率显著下降的转速范围。

6)输出电压的不对称度 k_b

直流测速发电机正反转时，在相同转速下，输出电压绝对值之差 ΔU_2 与两者平均值 U_{av} 之

比以百分数表示：

$$k_b=\frac{\Delta U_2}{U_{av}}\times 100\%$$

一般不对称度为 0.35%～2%

5.4.1.4 直流测速发电机的使用注意事项

1)选择测速发电机时，应根据它在系统中的作用而提出不同的技术指标，例如用作计算元件时，应着重考虑线性误差要小；用于转速检测时应着重考虑其输出斜率要高。在选用电磁式还是永磁式时可参考表 8.1.2－60 。

表 8.1.2－60 **测速发电机的选用比较**

电 磁 式	永 磁 式
1. 有励磁损耗，效率低	1. 无励磁损耗，效率高
2. 易于温度补偿	2. 不易进行温度补偿
3. 磁场不受振动影响	3. 磁场受机械振动影响

2)在使用中，为保证其线性误差不超过规定值，转速不应超过最大线性工作转速；负载电阻不应小于规定的负载最小电阻。

3)为了减小温度变化所引起的输出电压误差，可在电磁式直流测速发电机的励磁回路中，串接一个比励磁电阻大几倍的温度系数小的补偿电阻。

5.4.2 交流测速发电机

交流测速发电机也是一种测量转速的信号元件，它的输出电压与转速成正比。交流异步测速发电机用直流励磁时，输出电压与转子的加速度成正比，故可用作加速度计。

5.4.2.1 交流测速发电机的分类

交流测速发电机可分为同步测速发电机和异步测速发电机。同步测速发电机有永磁式、感应式和脉冲式。虽然其输出电压与转速成正比，但其频率也随转速变化，所以前两种仅作指示用。脉冲式测速发电机是以脉冲频率作为输出信号，多用于鉴频锁相稳速系统。

异步测速发电机按其结构可分为鼠笼转子和杯形转子两种。前者与前面介绍的两相交流伺 服电动机结构类似，其输出斜率大，但线性度差；相位误差大。剩余电压较高，一般用在对精度要求不高的系统中。后者精度很高。是目前应用最广泛的交流测速发电机。

5.4.2.2 杯形转子异步测速发电机的结构

杯形转子异步测速发电机的结构与前面介绍的杯形转子交流伺服电动机基本相同。也是由内定子、外定子和杯形转子所组成。

转子是一个薄壁非磁性杯，通常由高电阻率的硅锰青铜或锡锌青铜 制成 。杯的内外由内定子和外定子构成磁路，杯壁也是气隙的一部分。因此杯壁应尽量薄一些，一般杯壁 厚为 0.2～0.3mm。定子上嵌有在空间相差 90°电角度的两相绕组(励磁绕组和输出绕组)。在 28 号机座以下的电机中，一般把两相绕组都嵌放在内定子上。36 号机座以上的电机，常把励磁绕组嵌放在外定子上，把输出绕组嵌放在内定子上，为了便于调节内外定子的相对位置，使剩余电压最小，在内定子上还装有专门的内定子转动调节装置。

为了减小由于磁路不对称和转子电流不平衡对性能的不良影响，杯形转子异步测速发电机通常做成四极的。

5.4.2.3 杯形转子异步测速发电机的工作原理

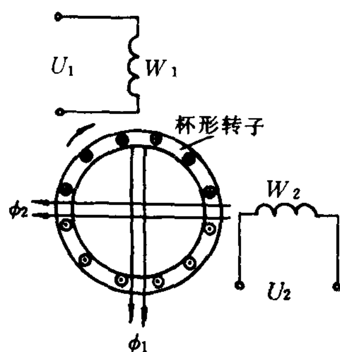


图 8.1.2—83 异步测速发电机原理图

图 8.1.2—83 是杯形转子异步测速发电机的原理图。当频率为 f 的励磁电压 U_1 加在励磁绕组 W_1 上，在测速发电机内、外定子之间的气隙中就会产生一个与 W_1 轴线一致，频率为 f 的脉动磁能 Φ_1。当转子静止时，因为磁能 Φ_1 与输出绕组 W_2 的轴线相互垂直，所以输出绕组 W_2 不会产生感应电势。当转子以转速 n 旋转时，杯形转子就要切割磁通 Φ_1，从而产生电势和电流。转子电流及其产生的磁通 Φ_2 的频率与励磁电压的频率相同。磁通 Φ_2 在空间的位置是固定的，且与 W_2 输出绕组的轴线一致。这个频率为 f 的脉动磁通在输出绕组中就会感应出频率为 f 的输出电压 U_2。输出电压 U_2的大小与转子转速成正比，频率与励磁电压频率相同而与转子转速无关。转子转向相反时，输出电压的相位也相反。

5.4.2.4 杯形转子异步测速发电机的特性

1)输出特性

在一定的励磁和负载条件下，输出电压与转速的函数关系即：$U_2=f(\upsilon)$，υ 为相对转速，$\upsilon=\frac{n}{n_s}$。n 为实际转速，n_s 为同步转速。

2)输出斜率

在一定励磁条件下，单位转速(kr/min)产生的输出电压(V/kr/min)转子电阻折算值 R'_r 大，u_n 小；R'_r 小，u_n 大。

3)输出相位移 φ

输出电压基波分量与励磁电压基波分量的相位差(deg)

5.4.2.5 交流测速发电机的主要误差和剩余电压

1)总误差 $\Delta\overline{U}$

实际输出电压与线性输出电压之差，包括幅值相对误差和相位误差。

2)线性误差(幅值相对误差)δ_x%

在工作转速(一般是同步转速的 25%～30%)范围内，实际输出电压与线性输出电压之差对最大输出电压之比。

3)相对误差 $\Delta\varphi$(deg)

在工作转速范围内输出电压相位移的变化值 。

以上误差产生的原因是：随着速度的变化，励磁 绕组的输入阻抗不同，使励磁绕组产生的磁通 Φ_1 的相位和幅值改变而引起输出电压的误差，显然这些误差将影响系统的精度。

4)剩余电压

在额定励磁电压条件下，转速为零时的输出电压称为剩余电压。产生的原因是杯形转子材料不均匀，杯壁厚薄不一致，磁路不对称，两相绕组不正交，绕组匝间短路，铁芯片间有短路等所造成。剩余电压将会使系统产生误动作；使放大器饱和，还会造成伺服电动机温升增高。

5.4.2.6 使用交流测速发电机的注意事项

1)测速发电机和伺服发电机之间相互耦合的齿轮间隙应尽量小。

2)由于交流测速发电机的输出阻抗较大 ，所以负载阻抗一般应在 100kΩ 以上

3)由于杯形转子交流异步测速发电机定、转子间气隙大，一般说来输入阻抗较小，所以励磁电源的内阻抗就比较小，电源与测速发电机之间的连接线阻抗也应尽量小。

4)电源电压和频率的波动都会引起异步测速发电机输出电压和相位移的变化，对于400Hz 的异步测速发电机来说，在任何转速下，频率每变化 1Hz，输出 电压约变化 0.03%。在精密系统中必须保持电源电压和频率的稳定。

5)考虑到温度对异步测速发电机输出电压和相位移的影响，应在测速发电机热稳定后调整系统。对于精密系统，应采用温度补偿网络或温度控制措施。

5.5 步进电动机

步进电动机是一种机电脉冲信号变换成直线位移或角位移的执行元件。步进电动机的转子做成多极的，定子上嵌有多相星形连接的控制绕组，由专用电源供给电脉冲。每输入一个脉冲，步进电动机前进一步。步进电动机的位移或角位移量与脉冲数成正比。随着数字控制系统的发展，步进电动机的应用愈来愈广泛。如数控机床，绘图机，轧钢机的自动控制，自动记录仪和数模转换等。步进电动机主要用于开环系统，也可用于闭环系统。

5.5.1 步进电动机的分类

步进电动机常用的有反应式步进电动机，永磁式步进电动机和永磁反应式步进电动机三种。反应式步进电动机又分为单 段式和多段式。多段式又有轴向磁路和径向磁路两种。其中单段式是目前使用最多的一种。这是由于它制造简单、精度容易保证；其性能特点是：步距角 θ_b 可以做到 1～15°甚至更小，起动和运行频率较高；断电无定位转矩，消耗功率较大。

5.5.2 步进电动机的基本结构与工作原理

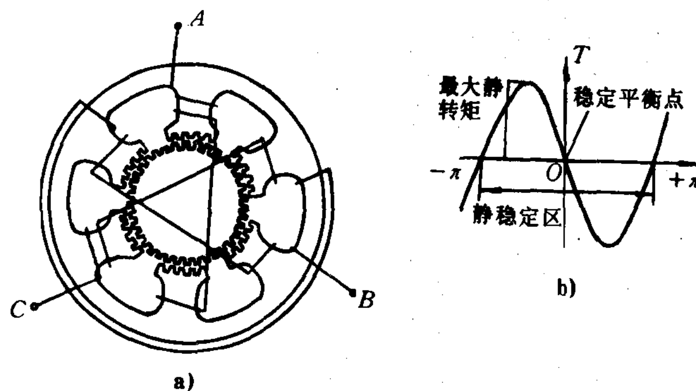


图 8.1.2－84　步进电动机的结构及其矩角特性

图 8.1.2－84 是一种三相反应式步进电动机的结构示意图。它的定子磁极上有小齿，转子做成多极的。定子、转子的齿距相同。它们的齿数要适当配合使得：在一对磁极下(通常绕有同一相绕组)定子、转子的齿一一对正时，下一相绕组下的定子、转子齿错开齿距(t)的 m(相数)分之一；再下一相绕组下定子、转子齿错开 2t/m，并依此类推。在定子磁场作用下，由于转子力图取最大磁导位置，所以每一拍，转子转过相当 t/m 齿距的角度 θ_b(步距角)：

$$\theta_b=\frac{360°}{NZ_R}\qquad(\text{deg})$$

式中：Z_R——转子齿数；

N——转子转过一个齿距的运行拍数。

步进电动机的转速：

$$n=\frac{60f}{Z_RN}\qquad(\text{r/min})$$

式中： f——脉冲频率，Hz。

步进电动机有三相、四相、六相或更多相数。相数和转子齿数愈多，步距角 θ_b 愈小；在同样脉冲频率下，转速愈低，其他性能也有所改善；但相数多电源趋于复杂。目前步进电动机多是六相的。个别有做成八相或更多相的。

5.5.3 反应式步进电动机的特性（见表 8.1.2－61）

表 8.1.2－61 **反应式步进电动机的特性**

特 性	含 义	数值范围
矩角特性	在单脉冲电流不变情况下，步进电动机静转矩与转子失调角的关系 $T=f(\theta)$。如图 8.1.2－84所示	
初始稳定平衡位置	空载情况下，绕组通以直流电时，转子最后稳定的位置。如图 8.1.2－84 中的 O 点	
失调角	转子偏离初始稳定平衡位置的电角度	
静稳定区	先调角在 $\pm\pi$（相当于±1/2 齿距）的范围内，在负载去掉后，转子仍能回到初始稳定平衡位置 O	$-\pi<\theta<+\pi$ 的区域内
动稳定区	从一种通电状态换接到另一种通电状态时，不会引起失步的区域	$-\pi+\theta_{be}\sim+\pi+\theta_{be}$
起动转矩 T_q	在规定电源条件下，从静止状态突然起动并能不失步运行所能带动的最大负载转矩	
自然频率	在无阻尼情况下，当通电状态换接后，转子围绕初始平衡位置作自然振动的频率	
低频共振	在脉冲频率等于自然振动频率 f_0 或 f_0/k（k 为正反整数）时，转子就会发生共振，f_0 为主共振 f_0/k 为次共振，使用时应避免在主共振频率下运行	
高频振荡	当脉冲频率大约在起动频率的 2、3 倍或更高倍数附近时，由于定子绕组中感应有频率为 $f=\frac{Z_R n}{60}$ 的电流而产生阻尼转矩，这个转矩使转子产生振荡称为高频振荡	
失步	失步包括丢步和越步。前者是转子前进步数少于脉冲数，后者是转子前进步数多于脉冲数。失步多出现在起动过程中	

5.5.4 反应式步进电动机的运行性能

1）最大静转矩 T_{jmax}

矩角特性中的最大转矩值。绕组电流愈大，最大静转矩也愈大。

2）起动频率 f_q

步进电动机能不失步起动的最高脉冲频率。

3）运行频率 f_y

步进电动机起动后，当控制脉冲频率连续上升时，能不失步运行的最高频率。

4）静态步距角误差 $\Delta\theta_b$

当空载时，以单脉冲输入，实际步距角与理论步距角之差，以角分或理论步距角的百分比表示。

5.5.5 步进电动机的使用注意事项

1）对于大转动惯量的负载来说，起动和停止频率不宜选择过高。应考虑在低频下起动再升频到工作频率；停止前应从工作频率下降到适当频率再停止。

2）应尽量使工作过程中负载匀称，避免由于负载突变而引起动态误差。

3）对于有强迫冷却的步进电动机，还要注意在工作过程中冷却装置的正常运行。

4）发现步进电动机有失步现象时，应首先检查负载是否过大，电源电压是否正常，指令安排是否合理。然后再检查驱动电源输出是否正常，波形是否正常。最后再根据确定的原因处理。

在处理中，不宜任意更换元件和改变其规格。

5.6 电机扩大机

电机扩大机是用于自动控制系统中的一种旋转式的放大元件。它主要用于功率放大。

电机扩大机的种类较多，一般可分为交轴磁场电机扩大机、直轴磁场电机扩大机、自差式电机扩大机。交轴磁场电机扩大机是目前国内外生产较多的一种电机扩大机，如我国生产的ZKK等系列，其功率为0.2～50kW，电压有115，230，460V三种。

5.6.1 交轴磁场电机扩大机的结构

扩大机的定子铁芯由硅钢片迭压而成，钢片冲有大槽3、中槽1和小槽2，如图8.1.2—85所示。

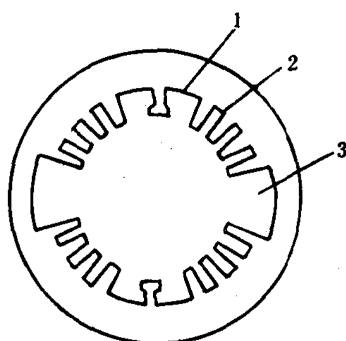


图8.1.2—85 电机扩大机的定子铁芯

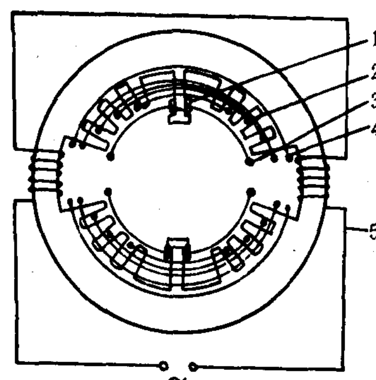


图8.1.2—86 电机扩大机定子绕组安排方式

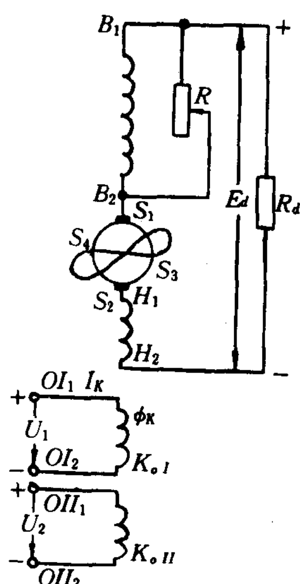


图8.1.2—87 电机扩大机的工作原理

两个大槽内嵌放控制绕组4和部分补偿绕组2，小槽内嵌放分布式的补偿绕组2，中槽内嵌放换向极绕组1。如果具有横向绕组3，则横向绕组的一边嵌放在中槽内，另一边嵌放在大槽内，如图8.1.2—86所示。因此定子磁路系统由两个大槽所隔成的两个主极以及在中槽之间形成的换向板组成，而电枢与一般直流电机相同，槽内嵌放单迭绕组。换向器上有两套相距90°的电刷，称为直轴电刷和交轴电刷，它们装在同一刷杆座上，因此改变电刷位置时，两套电刷可同时改变位置。图8.1.2—86中5为去磁绕组。

扩大机与驱动电动机可以是同轴结构（如ZKK—12）。也可以通过联轴器与驱动电动机连接（如ZKK—25至100型）。

5.6.2 扩大机的工作原理

图8.1.2—87为扩大机的原理电路。

扩大机定子上有两组到四组控制绕组K_{OI}，K_{OI}，……等。当信号电流I_k通入控制绕组后，在电机直轴方向建立磁通Φ_k，当电机被拖动旋转后，电枢绕组切割Φ_k，在电刷S_3S_4间产生不大的交轴电动势E_2，由于电刷S_3S_4是短接的，其回路电阻很小，因此产生很大的交轴短路电流I_2，电枢电流I_2所产生的交轴磁通Φ_q，就是扩大机的工作磁通（主磁通）。电枢切割主磁通Φ_q后，在电刷S_1、S_2间就产生了很大的直轴电势E_d，它在负载上有较大的功率输出。改变输入信号功率的大小，就有相应的输出功率的改变。从而达到功率放大的作用。

实际上电机扩大机的放大作用等于两级电机的放大作用。

扩大机还装有其他四个绕组：

1)补偿绕组 B_1、B_2

为了补偿电枢反应的去磁作用，在直轴方向嵌放与直轴电枢绕组串接的补偿绕组，为了调整补偿程序，在补偿绕组两端并联一可调电阻。

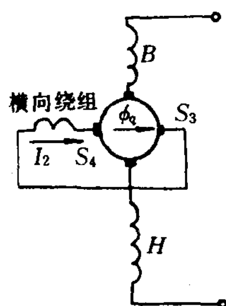


图 8.1.2—88 电机扩大机横向绕组电路

2)换向绕组 H_1H_2

改善直轴电刷的换向性能，它与补偿绕组串联，其磁势与控制绕组磁势方向相同，大小也与直轴负载成比例变化。

3)横向绕组

横向绕组串联在 S_3、S_4 电刷间，如图 8.1.2—88 所示。它所产生的磁势与交轴电枢短路电流 I_2 所产生的磁势同方向，由于横向绕组的助磁作用，因此可降低短路电流 I_2，减轻了交轴的负载电流，并改善了 S_3S_4 电刷的换向。

4)去磁绕组 QQ

接外加交流电源，去除铁芯剩磁。

5.6.3 扩大机的工作特性

1)空载特性与剩磁电压

对扩大机的空载特性的要求是线性度要高，剩磁电压要小，有去磁绕组时不大于额定电压的 5%，不采用任何去磁措施时，不大于额定电压的 15%。

2)外特性

对外特性的基本要求是：在电压变化率为 30%时，控制电流自零到额定值的范围内，所有的外特性曲线是下降的，这是为了使扩大机工作稳定，防止负载自激，通常是改变补偿调节电阻使外特性调整在不大的见补偿状态。

3)功率放大系数 K_p

$$K_p=\frac{P_{sc}}{P_{sr}}$$

式中：P_{sc}——输出功率；

P_{sr}——输入功率(控制功率)。

功率放大系数通常在 500～100000 范围内，它与补偿程度、直轴电流有关。补偿程度愈强，放大系数愈大。

4)时间常数

控制绕组的时间常数 $\tau_k=\frac{L_k}{R_k}$，L_k、R_k 分别为控制绕组的电感(H)和电阻 (Ω)，τ_k 一般为 0.03～0.06s。

交轴回路的时间常数 $\tau_q=\frac{L_q}{R_q}$，L_q、R_q 分别为交轴回路的电感(H)和包括交轴换向去磁及电枢铁芯损耗去磁的等效电阻(Ω)。τ_q 一般为 0.05～0.1s，加上前级的电阻后，控制绕组的时间常数可能很小。因此交轴磁场电机扩大机的快速响应主要取决于 τ_q。

5)过载能力

扩大机的瞬时过功率可达 2 倍，瞬时过电压可达 1.5 倍，瞬时过电流可达 3.5 倍。控制绕组的过载能力一般为 5～9 倍。

5.6.4 扩大机的调整、使用和维护注意事项

1)正确地确定电刷位置,顺旋转方向移刷有去磁效应,将会使放大系数降低、时间常数小、外特性变软、剩磁电压减小、线性度提高、工作稳定性提高,逆旋转方向移刷,效果与顺向移刷相反。调整刷位时不要偏离过多,应参照厂家所作的标记。

2)恰当地调节外特性硬度。厂家保证电压变化率为30%时,全部外特性不上翘,并对补偿调节电阻触头作了标记。

3)交流去磁绕组电压过高或过低时对削弱剩磁都不理想,而且过高可能引起电压摆动。一船交流去磁电压为2～5V。

4)在调整和运行过程中应避免短路、自激、过分强励及长期单一方向使用,以免造成剩磁电压过高,以致难以矫正过来。

5)应注意电刷接触面和换向器工作表面运行情况以及补偿调节电阻的接触情况。更换电刷时,其牌号应与出厂牌号一致;取出电刷再放进刷握时要注意方位;注意换向器与轴承的同心度。

5.7 其它控制电机

5.7.1 滚切电动机

滚切电动机是一种低惯量、低转速的交流电动机,无需齿轮减速就能得到低转速。它的结构型式很多,但其原理都是利用行星减速机构和电机电磁力的有机结合。图8.1.2－89a)是一种滚切电动机的结构示意图。定子两相绕组在气隙中产生一个单边的旋转磁场,吸住转子使其沿定子内圆作滚切运动。图8.1.2－89b)为工作原理图R表示定子内圆半径,r表示转子外圆半径,F表示滚切磁场对转子的磁拉力,F_r和F_c为F的径向和切向分量。F的作用方向是随磁场一起移动的。因此,能使转子沿定子内圆作滚切运动。当磁场转过一圈时。转子沿定子内圆滚切一周。由于转子内圆周长$2\pi r$小于定子内圆周长$2\pi R$,因此转子除了相对于定子轴线作逆时针方向公转外。还绕自己的轴线作顺时针方向自转运动。磁场旋转一周,转子自转角度为$2\pi(R-r)/r$,所以转子轴输出的转速为:

$$n=\frac{R-r}{r}n_s \qquad (r/min)$$

式中:n_s——定子旋转磁场的转速(r/min);

$\frac{R-r}{r}$——减速比。

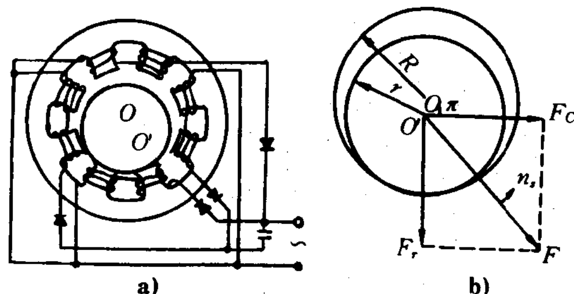


图8.1.2－89 滚切电动机的结构和工作原理

由上式可见,定子内圆和转子外圆的半径相差愈小,转速就愈低。

滚切电动机由于转速低(每分钟10转左右)、惯性小,因此起动、停止、正反转都很快(20ms以内)。从空载到堵转的输入电流变化不大,可以长期在堵转状态下运行。电动机可以在交流电源下工作,也可以用适当的脉冲电源供电作步进运行。

5.7.2 直流力矩电动机

直流力矩电动机是一种能长期处于堵转状态下工作的低转速、大转矩的直流电动机。它可

以不经齿轮减速而直接带动负载，并具有反应速度快，转矩和转速波动小，能在很低转速下稳定运行，机械特性和调节特性线性度好等优点。特别适用于位置伺服系统和速度伺服系统中作为执行元件。目前转矩能做到几千 N·m，空载转速为 10r/min 左右。

5.7.2.1 直流力矩电动机的结构特点

为了使力矩电动机具有较大的转矩及较低的转速，其电枢做成扁平状，电枢长度与直径之比一般为 0.2 左右。定子一般做成永磁多极式。为了减小转矩和转速的脉动，应选取较多的槽数、换向片数和串联导体数。总体结构型式有分装式和内装式两种。分装式结构包括定子、转子和刷架三部分，机壳与转轴由用户根据安装方式自行选配；内装式则和一般电机相同，机壳和轴由制造厂在出厂时已装配好。图 8.1.2—90 为直流力矩电动机的结构示意图。图中定子 1 由永久磁钢嵌镶于定子磁极上而构成，转子铁芯 4 由导磁冲片叠压而成，槽中放有电枢绕组 3，槽楔 2 由铜板做成，兼作换向片，槽楔伸出槽外两端，一端作为电枢绕组接线用，另一端为换向片，电刷 5 装在刷架 6 上，并可根据需要调节电刷的位置。

5.7.2.2 使用力矩电动机注意事项

1)连续堵转转矩是电机在长时间堵转，而稳定温升不超过允许值时所能输出的最大堵转转矩。这时电枢电流为连续堵转电流。

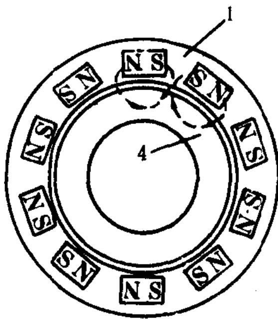


图 8.1.2—90 直流力矩电动机的结构

2)峰值转矩是指电机受磁钢去磁条件限制的最大堵转转矩。与此相应的电枢电流称为峰值电流。电机在短时间内电流允许超过连续堵转电流，但不得超过峰值电流，否则磁钢会去磁，使电机转矩下降。一旦磁钢去磁，电机需要充磁才能正常使用。

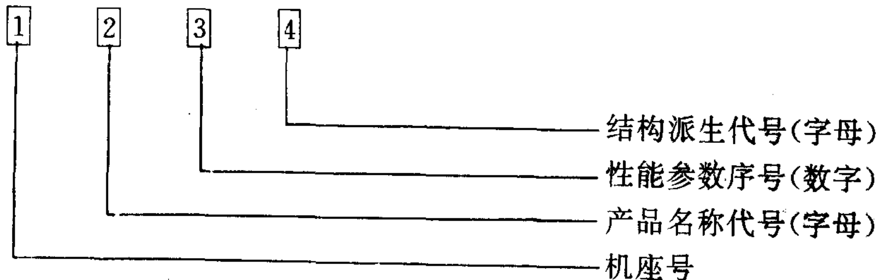
3)转子从定子中抽出后，定子要用磁短路环保磁，否则会引起磁钢退磁。

4)直流力矩电动机也可作测速发电机使用，但要选用适当的电刷，以减少由于电刷和换向器接触电阻的变化而引起输出电压的变化。

5.8 控制电机型号命名及主要产品名称代号

5.8.1 控制电机型号命名

控制电机的型号由四部分组成，如下所示。



例如：45ZLF02 表示 45 号机座力矩式自整角发送机，第 2 个性能参数序号的产品。又如：12SL01 表示 12 号机座鼠笼转子两相伺服电动机第 1 个性能参数序号的产品。

5.8.2 控制电机主要产品名称代号(见表 8.1.2—62)

表 8.1.2－62　　控制电机主要产品名称代号

类　别	产　品　名　称	代　号
自整角机	控制式自整角发送机	ZKF
	控制式自整角变压器	ZKB
	力矩式自整角发送机	ZLF
	力矩式自整角接收机	ZLJ
测速发电机	电磁式直流测速发电机	CD
	永磁式直流测速发电机	CY
	鼠笼转子异步测速发电机	CL
	空心杯转子异步测速发电机	CK
伺服电动机	电磁式直流伺服电动机	SZ
	永磁式直流伺服电动机	SY
	空心杯电枢永磁式直流伺服电动机	SYK
	无槽电枢直流伺服电动机	SWC
	印刷绕组直流伺服电动机	SN
	无刷直流伺服电动机	SW
	鼠笼转子两相伺服电动机	SL
	空心杯转子两相伺服电动机	SK
步进电动机	电磁式步进电动机	BD
	永磁式步进电动机	BY
	反应式步进电动机	BF
	滚切步进电动机	BG
力矩电动机	电磁式直流力矩电动机	LD
	永磁式直流力矩电动机	LY
	鼠笼转子交流力矩电动机	LL
	空心杯转子交流力矩电动机	LK

参考文献

[1]　许实章主编：电机学，机械工业出版社，1981 年

[2]　顾绳谷主编：电机及拖动基础，机械工业出版社，1984 年

[3]　电机工程手册　第 3、4 卷，机械工业出版社，1983 年

[4]　日本电气学会：电工技术手册　第 2 卷，机械工业出版社，1984 年

[5]　电机工程手册　第 21 篇、第 23 篇，机械工业出版社 1979.12

[6]　上海航道局，船舶电工手册，上海人民出版社，1975.4

[7]　电工手册编写组，电工手册，上海科技出版社，1978.4

第3章 船用电器

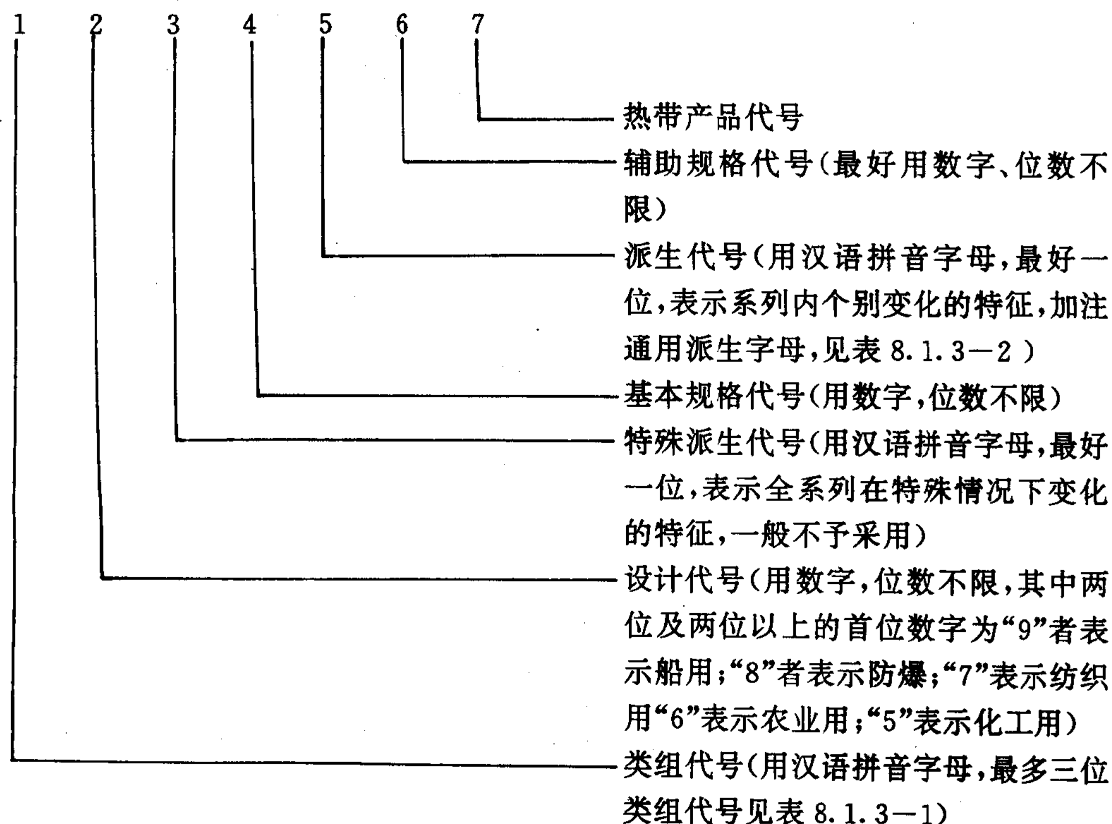
1 概 述

低压电器广泛应用于发电厂、变电所、工矿企业、交通运输、农业及国防工业等的电力输配系统与电力拖动和自动控制设备中。它对电能的产生、输送、分配与应用起着开关、控制、保护与调节等作用。

低压电器通常是指工作在交流电压为1200V以下电路中的电器设备。

1.1 低压电器产品型号编制法

1.1.1 低压电器全型号组成形式



1.1.2 低压电器产品型号类组代号表(见表8.1.3—1)

表 8.1.3－1 低压电器产品型号类组代号表

代号	名称	A	B	C	D	G	H	J	K	L	M	P	Q	R	S	T	U	W	X	Y	Z
H	刀开关和转换开关				刀开关		封闭式负荷开关		开启式负荷开关					熔断器式刀开关	刀型转换开关					其它	组合开关
R	熔断器			插入式			汇流排式			螺旋式	密闭管式				快速	有填料管式			限流	其它	
D	自动开关									照明	灭磁				快速			万能式	限流	其它	装置式
K	控制器					鼓形						平面				凸轮				其它	
C	接触器					高压		交流				中频			时间					其它	直流
Q	起动器	按钮式		磁力				减压							手动		油浸		星三角	其它	综合
J	控制继电器									电流				热	时间	通用		温度		其它	中间
L	主令电器	按钮							主令控制器						主令开关	足踏开关	旋钮	万能转换开关	行程开关	其它	
Z	电阻器		板形元件	冲片元件		管形元件									烧结元件	铸铁元件			电阻器	其它	
B	变阻器			旋臂式						励磁		频敏	起动			起动调速	油浸起动	液体起动	滑线式	其它	
T	调整器				电压																
M	电磁铁												牵引					起重			制动
A	其它		保护器	插销	灯		接线盒			铃											

1.1.3 通用派生代号表(见表 8.1.3－2)

表 8.1.3－2 通用派生代号表

字　母	代　表　意　义
A、B、C、D……	结构设计稍有改进或变化
J	交流、防溅式
Z	直流、自动复位、防振、重任务
W	无灭弧装置
N	可逆
S	有销住机构、手动复位、防水式、三相、三个电源、双线圈
P	开启式、防滴式、单相、两个电源、电压的
K	开启式
H	保护式、带缓冲装置
M	密封式、灭磁
Q	防尘式、手车式
L	电流的
F	返回、带分励脱扣
TH	湿热带
TA	干热带 }特殊环境条件派生代号
T	按湿热带临时性措施制造 }特殊环境条件派生代号

1.2 低压电器产品的分类及其用途

低压电器根据它在电气线路中所处的地位和作用,可归纳为低压配电电器和低压控制电器两大类。按照它的动作方式可分为自动控制电器和非自动控制电器两类。自动控制电器在完成接通、分断或起动、反向以及停止等动作时,依靠本身参数的变化或外来信号而自动进行工作;非自动控制电器主要依靠外力(如手控)直接操作来进行各种控制。低压电器产品的分类及其用途,见表 8.1.2－3 。

表 8.1.3－3　**低压电器产品分类及用途**

产品名称		主要类别	用途	主要技术指标
配电电器	自动空气开关（自动空气断路器）	万能式空气开关 装置式空气开关 限流式空气开关 直流快速开关 漏电保护自动开关	用作线路过载、短路或欠压保护，也可用作不频繁接通和分断电路	①额定电流交流至 4000A，自流至 6000A； ②极限分断能力达380V80kA
	熔断器	有填料熔断器 无填料熔断器 快速熔断器 自复熔断器	用作线路和设备的短路和过载保护	① 额定电流至 1000A ②极限分断能力达 380V100kA
	刀开关	大电流刀开关 熔断器式刀开关 开关板式刀开关	主要用作电路隔离，也能接通分断额定电流	
	转换开关	组合开关 换向开关	主要作为两种及以上电源或负载的转换和通断之用	
控制电器	接触器	交流接触器 直流接触器 真空接触器	主要用作远距离频繁地起动或控制交、直流电动机，以及接通分断正常工作的主电路和控制电路	①机械寿命为 600 万次，小容量接触器达 1000 万次，电寿命为机械寿命的 1/5； ②操作频率最高为 1200 次/时
	控制继电器	电流继电器 电压继电器 时间继电器 中间继电器 热继电器	主要用于控制系统中，控制其它电器或作主电路的保护之用	① 电磁或控制继电器机械寿命达 1000 万次 ② 操作频率为 1200 次/时
	起动器	磁力起动器减压起动器	主要用作电动机的起动和正反向控制	磁力起动器机械寿命最高为 600 万次，电寿命为机械寿命的 1/5
	控制器	凸轮控制器 平面控制器 鼓形控制器	主要用于电气控制设备中转换主回路或励磁回路，以达到控制电动机起动、换向和调速	
	主令电器	按钮 行程开关 微动开关 万能转换开关 主令控制器	主要用作接通分断控制电路，以发出命令或用作程序控制以操纵电动机进行各种工作状态的变换	
	电阻器	铁基合金电阻	用作改变电路参数或变电能为热能	
	变阻器	励磁变阻器 起动变阻器 频敏变阻器	主要用作发电机调压以及电动机的平滑起动和调速	
	电磁铁	起重电磁铁 牵引电磁铁 制动电磁铁	用于起重，操纵或牵引机械装置	

1.3 船用低压电器基本技术要求

1.3.1 使用环境条件(见表8.1.3—4)

表8.1.3—4 使用环境条件

环境因素		单位	规定数据
空气温度	最高	℃	+45
	最低		−25
	年平均		+20
	日平均最高		+30
空气最大相对湿度(25℃时)		%	≤95
太阳辐射最大强度		$J/m^2 \cdot s$	977①
最大降雨强度		mm/min	3
凝露			有
盐雾			有
油气			有
霉菌			有
倾斜		度	≤45
振动			有
冲击			有

① 等于 $1.4Cal/cm^2 \cdot min$

1.3.2 额定电压及频率

1.3.2.1 船用电器应采用下列标准电压

直流:24,110,220,95～170,175～320V;

交流:24,110,220,380V。

1.3.2.2 我国船用交流电器的额定频率为50Hz。如有特殊要求,应作特殊处理。

1.3.3 一般要求和电气性能

1)船用电器应有足够的电气间隙和漏电距离,以保证电器的可靠工作;

2)船用电器的金属零件,除其材料本身有较好的耐蚀性能者外,均应有可靠的护层;

3)船用电器的所有导电部件均应用铜或黄铜制造。并需有可靠的防护层;

4)具有电磁操作的电器以及其动作性能与温度有关的电器,在额定工作情况下,当周围空气温度升高至60℃时(应急状态),应保证在两小时内可靠关合和不发生断路,此时各部分的温升及动作参数不作规定;

5)接触器 继电器和其它电磁式电器的吸引线圈,当介质温度为±45℃及有额定电压下加热至稳定温度,交流线路电压(额定频率)和直流线路电压在85%～105% 额定值 变化时,都应能可靠工作;

6)电磁式电压继电器、电流继电器和自动空气开关的电磁式瞬时过电流脱扣器在静止状态时其动作值与整定值的误差应不超过±10%,在倾斜状态时应不超过±15%,在振动状态和冲击后,其动作值与静止状态时的动作值的误差应不超过±15%。

1.3.4 船用电器的允许温升(见表 8.1.3—5、表 8.1.3—6)

表 8.1.3—5　　**各种不同材料和零件的最高允许温度和允许温升**

零部件名称及材料		最高允许温度(℃)	在环境温度为 45℃时的允许温升(℃)
主触头	紫铜及其合金制成的刷形和插销式触头	70	25
	紫铜及其合金制成的刀开关触头	90	45
	紫铜及其合金制成的滑动式平压触头	110	65
	用熔接或焊接银或银基合金触头做成的滑动式平压触头	120	75
	熔断器触头	120	75
辅助触头	接触部分为银质的钢或铜的桥式触头	85	40
	接触部分为银的铜质楔形触头	100	55
母线及连接片	以螺钉连接的紫铜母线或夹片,在连接处无防蚀层保护	90	45
	同上,但接触处有锡的防护层	100	55
	同上,但接触处有银的防护层(点)	120	75
	用熔接或焊接方法完成的紫铜母线接	120	75
软连接	紫铜带或紫铜辫	90	45
	接触面有锡防蚀层的紫铜带或紫铜辫	100	55
操作手柄或手轮	金属部分	60	15
	绝缘材料部分	70	25
电阻器外壳	单独安装时	185	140
	安装在成套设备内时	80	35

表 8.1.3—6　　**各级绝缘的电压线圈的允许温升**

工作制	环境温度 (℃)	允许温度 (℃)		
		A 级	E 级	B 级
短时、反复短时、间断长期	45	75	90	95
长期	45	55	70	75

1.3.5 船用电器的绝缘电阻(见表 8.1.3—7)

表 8.1.3—7　　**船用电器的绝缘电阻**

测试条件			绝缘电阻 (MΩ)
热态(多回路电器除外)			≮20
热态(多回路电器如控制器等)			≮5
湿热试验后(多回路电器除外)	产品额定电压(V)	≤100	≮0.25
		100～500	≮0.5
		>500	每伏 1000Ω
湿热试验后(多回路电器如控制器等)			≮3

2 开　关

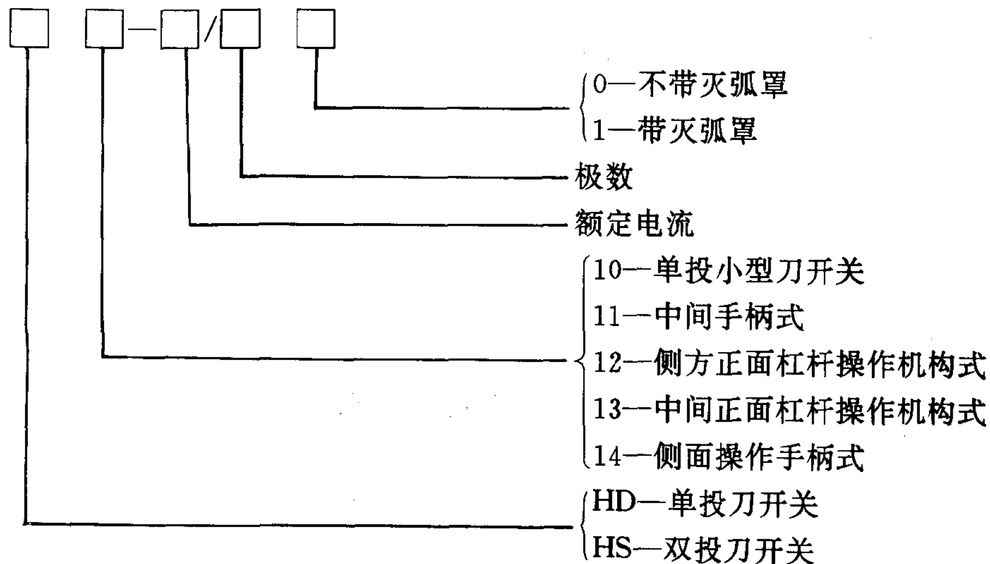
2.1 刀开关

2.1.1 刀开关简介(见表 8.1.3－8)

表 8.1.3－8　**刀开关简介**

系列名称	主要规格	用途及说明
HD	单投开关　电压:交流 380V　直流 440V 电流:100～1500A	作不频繁地手动接通和切断或隔离电源之用
HS	双投开关　电压:交流 380V　直流 440V 电流:100～1000A	作不频繁的手动换接和切断电源或负载之用

2.1.2 HD、HS 系列刀开关型号含义



2.2 转换开关

转换开关简介,见表 8.1.3－9。

表 8.1.3－9　**转换开关简介**

系列名称	主要规格	用途及说明
JK—1	电压 28V 电流 35A	接通和断开 30V 以下直流电流
JK2－1	电压 28V 双极 电流 20A	接通和断开 30V 以下直流电流
ZK－1	电压 28V 电流 35A	转换开关
ZK2－1	电压 28V 双极 电流 20A	双极转换开关

续上表

系列名称	主要规格	用途及说明
ZZK－1	电压 28V 电流 20A	转换开关(具有中间位置)
ZZK2－1	电压 28V 双极 电流 20A	双极转换开关(具有中间位置)
ZZK3－2	电压 28V 三极 电流 20A	三极转换开关(具有中间位置)

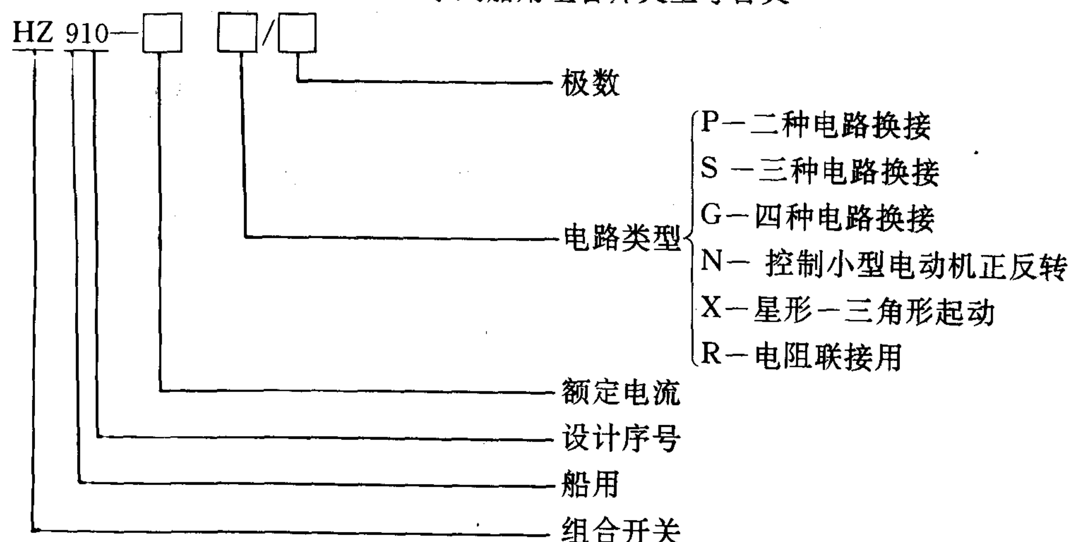
2.3 钮子开关

钮子开关具有一常开一常闭触头。NK1－1 型钮子开关规格为额定电压 220V、额定电流 1A 。适用于较小电流的场合。

2.4 组合开关

组合开关的刀刃改用以旋转的方法来改变它与夹座的接通或断开，故其结构较刀开关紧凑得多。它用以接能或分断电路，换接电源或负载、测量三相电压、控制小功率电动机正反转等。

HZ910 系列船用组合开关型号含义



3 熔断器

3.1 用途及分类

熔断器在低压配电网络中主要作为过载或短路保护之用。熔断器在通过的电流大于规定值时，它以本身产生的热量使熔体熔化而自动分断电路。

熔断器具有分断能力高、安装面积小，使用维护方便和可靠性高等优点，在线路中广泛得到应用。

溶断器按结构可分为开启式、半封闭式和封闭式。封闭式熔断器又可分为有填料管式、无

填料管式和有填料螺旋式等。如按用途分则有一般工业用熔断器、保护硅元件用快速熔断器、具有二段保护特性的快慢动作熔断器以及自复式熔断器。

3.2 主要特性

1)分断能力　是指熔断器在额定电压下能分断的预期短路电流值。有填料熔断器具有较高的分断能力,在大容量供电回路中用作短路保护。

2)熔化系数和临界电流　熔化系数反映熔断器的保护特性。为了使熔断器能够保护小过载电流,熔化系数应该小些;为了避免电动机起动时使熔断器熔化,熔化系数应该大些。熔化系数 k 为熔断器临界电流 I_l 和额定电流 I_e 之比,即:

$$k=I_l/I_e \tag{8.1.3-1}$$

熔断器的临界电流,即为当熔断器通过此电流时,经长时间以后使熔体熔化的电流。一般工业用熔断器临界电流取表 8.1.3—10 中 I_1 与 I_2 的中间值。

表 8.1.3—10　**熔断器试验电流**

熔体额定电流　I_e(A)	最大不熔化电流　I_1	最小熔化电流　I_2	试验时间　(h)
≤10	$1.5I_e$	$2.1I_e$	1
$10<I_e\leq30$	$1.4I_e$	$1.75I_e$	1
$30<I_e\leq400$	$1.3I_e$	$1.6I_e$	1
$400<I_e\leq1000$	$1.3I_e$	$1.6I_e$	2

3)熔化特性与熔断特性　熔化特性为试验电流与熔化(弧前)时间的关系曲线。熔断特性为试验电流与熔断时间(弧前时间和燃弧时间之和)的关系曲线。上、下级熔断器通过上述两种特性合理匹配或与其它电器动作特性合理匹配,使整个配电系统达到选择性保护的要求。

4)过电压　有限流作用的熔断器在分断过程中产生很高的过电压,可能引起其它电气设备的电击穿。对于快速熔断器,过电压应限制在电源电压峰值的两倍以下。

3.3 熔断器一般性能简介

熔断器一般性能简介(见表 8.1.3—11)。

表 8.1.3—11　**熔断器一般性能简介**

序号	系列名称	主要规格	用途及说明
1	RL93 船用	电压:交流 380V　直流 220V 电流 6～600A	用于电路中作过载或短路保护元件
2	RM10	电压:交流 500V　直流 220V 电流:15～600A	用于电路中作过载或短路保护元件(与 RM1 的规格、数据、特性基本一致)
3	RL1	电压:500V 电流 2—200A	用于过载或短路保护
4	RSO	电压 250～900V 电流 30～480A	用于交流 900V 上及以下的半导体整流器或由该类元件组成的成套装置的短路保护和某些适当的过载保护
5	RS3	电压 250,500,700V 电流 10～300A	用于可控硅整流器或由该元件组成的成套装置的内部短路保护和某些不允许过电流的过载保护

续上表

序号	系列名称	主要规格	用途及说明
6	RLS	电压 500V 电流 10、15A	用于硅整流元件，可控硅整流元件或由该元件组成的成套装置的内部短路保护和某些不允许过电流的过载保护
7	BS	电压:250V 电流:0.15～2A	用于保护电气无线电装置使不受过载电流或短路电流的损坏
8	BX	电压:250V 电流 1～5A	同上
9	TB	电压:30V 电流:1－40A	用以保护电气装置和电路，以防止产生短路和长期的少量过载
10	JB	电压 30V 电流 2－50A	当电路中个别部分短路和过载时起保护作用

3.4 熔断器的选用

3.4.1 一般工业用熔断器的选用

1)根据线路电压选用相应电压等级的熔断器；

2)根据配电系统中可能出现的最大故障电流，选择具有相应分断能力的熔断器；

3)在电动机回路中用作短路保护时，为了避免熔体在电动机起动过程中熔断，通常在不经常起动或起动时间不长(在 5～10s 间)的场合，熔丝的额定电流取：

$$I_e \geqslant \frac{I_q}{2.5\sim3} \quad (8.1.3-2)$$

在经常起动或起动时间较长(大于 40s)的场合下，熔丝额定电流取：

$$I_e \geqslant \frac{I_q}{1.6\sim2.0} \quad (8.1.3-3)$$

式中：I_q——电动机起动电流，系数 1.6 只有在最严重情况下才采用。

在负载平稳没有冲击电流时(如照明电路)，熔丝额定电流可取等于或稍大于负载的额定电流。

3.4.2 快速熔断器的选用

快速熔断器在交流装置中主要作为装置内部短路保护，当硅元件损坏时，快速熔断器应能迅速将损坏元件从线路切除，避免故障扩大。

1)用于小容量装置时：

$$I_{eR}=1.57I_{SCR} \quad (8.1.3-4)$$

式中：I_{eR}——快速熔断器额定电流，A；

I_{SCR}——晶闸管元件额定电流(平均值)，A。

如晶闸管元件额定电流≤200A，同时系统短路电流在 4kA 以下，根据上式能达到可靠保护；

2)在大容量装置中，桥臂的并联支路数根据系统短路电流的大小来确定。每一支路由硅元件与快速熔断器组成。当一臂中有元件损坏产生短路时，与该元件串联的熔断器应迅速熔断以切除故障，如要保护其它臂硅元件不损坏，应满足下式：

$$m\geqslant\frac{1}{k_i}\sqrt{\frac{A_{RD}}{A_K}} \quad (8.1.3-5)$$

式中： m ——并联支路数；

k_i ——动态均流系数，一般取 0.5～0.6；

A_{RD} ——与熔断器最大熔断电流有关的数（$\int i_{RD}^2 dt$ [A^2S]）；

A_K ——与硅元件浪涌电流有关的数（$\int i_K^2 dt$ [A^2S]）；

i_{RD} ——熔断器最大电流；

i_K ——硅元件浪涌电流。

为避免多次故障电流冲击引起熔断器老化，应适当增加并联支路数。

4 接 触 器

4.1 用途及分类

接触器是一种适用于远距离频繁接通和分断交直流主电路及大容量控制电路的电器。

接触器用途广泛，品种繁多，按其结构分类可有：

1）按主触头所控制电路的种类分：直流、交流；

2）按主触头极数分：单极、双极、三极、多极；

3）按吸引线圈种类分：交流励磁、直流励磁；

4）按主触头的正常位置分：常开式、常闭式、一部分常开、一部分常闭；

5）按灭弧介质分：空气式、真空式；

6）按有无灭弧室分：有灭弧室、无灭弧室

4.2 结构和动作原理

接触器主要由触头系统、电磁系统和灭弧装置等部分构成。

1）触头系统 包括主触头、辅助触头和连接线。触头用硬铜制成，也有用镶银的触头，以防表面氧化。触头最大容许温升，在环境温度为 35℃时是 75℃。

2）电磁系统（机构）包括静铁芯和动铁芯（衔铁）及吸引线圈。直流接触器铁芯用软铁制成；为减少涡流损耗，交流接触器用硅钢片叠成。吸引线圈多数做成电压线圈，它用匝数较多的细漆包线绕成，加在吸引线圈两端的电压为额定电压的 85%～105%时，保证可靠工作；当线圈电压降到一定值时，衔铁释放。

3）灭弧装置 通过接触器主触头的电流较大，故在断开时会产生很大的电流。为了迅速熄灭电弧，防止极间短路，必须采用灭弧装置。直流接触器大都采用磁吹式；交流接触器主要采用磁吹式和灭弧栅式。

4）动作原理 接触器是利用电磁吸力的作用使衔铁动作，从而使触头闭合或断开。其线圈产生磁场，铁芯构成磁路。当吸引线圈通电时，静铁芯产生磁力将衔铁吸住而使常开触头闭合；当吸引线圈断电时，电磁力消失，衔铁受弹簧或本身重量作用而释放，使触头回复到原来断开位置。

4.3 直流接触器

直流接触器简介，见表 8.1.3—12。

表 8.1.3－12　**直流接触器简介**

序号	系列名称	主要规格	用途及说明
1	CT91 船用	触头电压:≤320 V 电流 25、50、100、150、350A 线圈电压:24～320V	主要供远距离及频繁控制电动机及通断线路之用,双线圈结构
2	CZO	触头电压:440V 电流:40、100、150、250、400、600A 线圈电压:110、220V	主要供远距离及频繁控制电动机及通断线路之用。部分为双线圈结构,船用派生结构,可防冲击振动
3	CS91 船用	触头电压≤320V 电流 25、50、150、200A 线圈电压:24～320V 延时时间:2～6s	主要作时间加速接触器用兼有时间继电器及接触器双重作用。无灭弧装置,体积较小
4	CZ911 船用	触头电压:≤320V 电流:200A	应用于以电流为函数进行起动的直流电动机的起动设备中,主触头用来并联起动电阻,而作为船舶辅机电力拖动线路中的加速元件
5	CZ913 船用	触头电压:≤320V 电流:40、80、200A 线圈电压:24、46、95～170、110、220、175～320、440V	适用于频繁开闭的动力回路中,可装于各类磁力站、照明箱中作线路切断,接通的自动化元件
6	CZ914 船用	触头电压:110、220V 电流 9、18A 线圈电压 110V	适用于频繁开闭的动力回路中,可装于各类磁力站、照明箱中作线路切断,接通的自动化元件
7	CZ915 船用	触头电压:≤320V 电流:40A 线圈电压:110(或 95～170) 220(或 175～320)V	同 CZ911

4.4　交流接触器

交流接触器简介,见表 8.1.3－13。

表 8.1.3－13　**交流接触器简介**

序号	系列名称	主要规格	用途及说明
1	CT91 船用	触头电压:≤380V 电流 25、50、100、500A 线圈电压 127、220、380V	主要供远距离及频繁控制电动机及通断线路之用
2	CJ913 船用	触头电压:≤380V 电流:400、600A 线圈电压:24、110、220、380V	主要供远距离及频繁控制电动机及通断线路之用
3	CJ10	触头电压≤500V 电流:5、10、20、40A、60、110、150 线路电压 36、110、127、220、380 V	主要供远距离及频繁控制电动机及通断线路之用,作为 QC10 型磁力起动器的接触器
4	CJ8	触头电压:≤380V 电流 10～150A 线圈电压:36、127、220、380V	主要供远距离及频繁控制电动机及通断线路之用,作为 QC98 型磁力起动器的接触器

4.5 接触器的维护与检修

4.5.1 接触器的维护

接触器使用寿命的长短，与维护保养工作的好坏有很大关系。定期进行检查，可及时防止故障发生，保证安全运行。定期检查和维护内容包括：

1)触头的接触面是否有烧毛及氧化层；

2)动、静触头的位置应正确，不得有扭歪现象；

3)触头的初压力和终压力是否符合技术要求；

4)检查触头磨损程度；

5)静铁芯和衔铁接触面之间接触是否良好；

6)所有连接部分接触是否紧密，螺母是否拧紧；

7)各运动部分是否灵活、有无磨损；

8)各部分是否清洁，有灰尘污物者应及时清除；

9)吸引线圈有否过热损坏等。

4.5.2 故障现象、原因及排除方法

1)触头系统见表 8.1.3－14。

表 8.1.3－14 **触头系统**

故障现象	可能原因	排除方法
1 触头过热	①触头压力不够 由于触头弹簧变形或烧坏 ② 触头表面氧化或有杂质 ③触头容量不够 ④ 触头磨损太多使终压力减少	换新弹簧 用小锉刀或砂纸除去清洁 换大容量触头 换新触头
2 触头烧毛	①灭弧装置故障 ②初压力太小，致闭合时触头跳动 ③触头容量过小	检查灭弧装置锉光触头 检查触头终压力大小并锉光触头 改用大容量接触器
3 触头熔焊	上述两现象严重时将使动静触头熔焊在一起	换新触头
4 触头磨损很快	①触头弹簧损坏，初压力不足，在闭合时跳动严重 ②初压力太大 ③电源电压过低 ④电源电压过高	调整触头压力 调整触头弹簧压力 调整到额定值 调整到额定值

2)电磁系统，见表 8.1.3—15。

表 8.1.3—15 **电磁系统**

故障现象	可能原因	排除方法
1 衔铁噪音大	①铁芯端面接触不良(端面有杂质、油垢、灰尘或磨损) ②短路环有裂缝或脱落 ③电压过低或过高	清洁、修理铁芯端面 换新或装好 调整至额定值
2 线圈过热或烧损	①操作过于频繁 ②衔铁与铁芯间有灰尘、油垢和杂质，使气隙增大 ③外加电压过低，使衔铁不能吸合 ④衔铁发生卡阻不能闭合 ⑤电源电压过高 ⑥线圈匝间短路	按技术要求进行操作 清洁铁芯端面 查明原因修理，如烧损线圈，应换新 检查修理 调整到额定值 修复或换新
3 衔铁吸不上	①线圈断线、短路 ②接线处接触不良、脱落 ③电源电压过低 ④运动部分卡死	修复或换新 将螺母拧紧 调整到额定值 检查修理

3)灭弧系统，见表 8.1.3—16。

表 8.1.3—16 **灭弧系统**

故障现象	可能原因	排除方法
电弧不能熄灭，灭弧罩烧焦，触头严重烧坏	①灭弧罩受潮 ②磁吹线圈匝间短路 ③灭弧罩炭化 ④灭弧罩破损或脱落； ⑤弧角脱落 ⑥灭弧栅脱落	烘干 修理 用细锉刀或小刀将烧焦部分锉刮掉 修复或装上 重新配制 重新配齐

5 控制继电器

继电器是一种根据电气量(如电流、电压)或非电量(如时间、温度、压力、转速等)的变化，而接通或断开控制电路，从而自动控制和保护电力装置的电器。

5.1 控制继电器简介

控制继电器广泛应用于电动机或线路的保护，以及生产过程自动化的控制系统中。它的种类繁多，按其反应参数分类，可分为：电压继电器、电流继电器、中间继电器、时间继电器和热继电器等。其简介见表 8.1.3—17。

表 8.1.3—17　　**控制继电器简介**

序号	系列名称	主 要 规 格	用 途 及 说 明
1	JT912	线圈电压：110、95～170 220、175～220V 延时范围：0.25～1s	直流延时继电器，用于船舶电力拖动控制线路中，作延时控制元件
2	JT913	电压继电器：24～320V 时间继电器：24～320V 0.3～3s	直流通用继电器，电压继电器用作失压保护，时间继电器用作延时控制
3	JT914	线圈电压：40、110、220V	直流电压继电器，用于电力控制电路中作失压保护
4	JT915	电压继电器：40、110、220V 电流继电器：1.3、1.8、2.5、3.5、5A	用于防护式成套控制线路中，又可分为电压、电流、负载继电器，作失压、失磁、负载等保护
5	JT916	额定电压：24、110、220、380V	交流电压继电器，用于继电器、接触器系统中作失压保护或作中间继电器
6	JT3	电压继电器：12～440V 时间继电器：12～440V0.3～5s 欠流继电器：1.5～600A	直流通用继电器，电压继电器作失压保护，时间继电器作延时控制，欠电流继电器作欠流保护(如失磁保护等)
7	JT4	电压继电器：110～220V 电流继电器：5～600A	交流通用继电器；电压继电器可用作失压或过压保护；电流继电器用作过电流保护，最小电流整定值为1.1倍额定电流，有自动手动复位
8	JT10	电压继电器：12、24、48、110、220、500V 电流继电器：1.5、2.5、5、10、20、40、80、150、300、600、1500A	直流高返回系数继电器，用于直流电路中作为过电流，欠电压和欠电流继电器，常用作保护及控制直流电机励磁回路
9	JL911 船用	电流：5～600A	直流过电流继电器，有自动、手动复位两种，最小动作电流整定值为1.3倍额定电流，用作过电流保护
10	JL3	电流：交流 1.5～600A 直流 1.5～1200A	交直流过电流继电器，用作过电流保护，最小动作电流整定值为0.7倍额定电流
11	JZ8	电压：交流 110～380V 直流 12～220V	交直流电压继电器，用作失压及中间继电器，带保持线圈的可增加继电器处于释放状态时的工作可靠性，防止一般冲击振动时的误动作；带电磁复位线圈的可增加继电器处于接通状态时的工作可靠性(锁扣装置作用)或用作“记忆”元件
12	JS2	电压：交流 110～380V 直流 110～220V 延时：7～17s	交直流时间继电器，钟摆式结构，有延时及瞬时触头，触头电压可至直流 440V
13	JS7—A	电压：36～380V 延时：0.4～180	交流时间继电器，气囊式有延时及瞬时触头，整定值易变化
14	JS10	电压：交流50Hz 127、220、380、500V 延时：0.5～210s	交流同步电动机式的时间继电器，有延时及瞬时触头延时长，整定偏差较小

5.2 电磁式控制继电器

5.2.1 主要参数及技术数据

1)额定参数 继电器的工作电压(电流)、吸合电压(电流)和释放电压(电流),视不同的控制继电器而不一样;

2)吸合时间和释放时间 按继电器的动作快慢,一般有瞬时动作及延时动作两种;

3)整定参数 大部分电磁式控制继电器的整定参数是可以调整的,见表8.1.3—18。

表8.1.3—18 **电磁式控制继电器的整定参数**

类型	电流种类	可调参数	可调参数调整范围	触头数量(不小于)	复位方式
电压继电器	直流	动作电压	吸合电压 30～50%U_e 释放电压 7～20%U_e	1	自动
过电压继电器	交流	动作电压	105～120% U_e		自动
电流继电器	直流	动作电流	吸合电流 30～65% I_e 释放电流 10～20%I_e		自动
过电流继电器	交流	动作电流	110～350%I_e		自动或手动
	直流		70～300%I_e		
时间继电器	直流	断电延时时间	0.3～0.9 s、0.8～3s、2.5～5s、 1.5～10s、9～15s	2	自动

4)灵敏度 是指一只按要求调整好的继电器能被吸动时所必须具有的最小功率和安匝数。比较继电器的灵敏度应以消耗功率大小为依据;

5)返回系数 为返回(释放)电压(电流)与动作电压(电流)之比。实际使用中对各类控制继电器的返回系数有一定的要求;

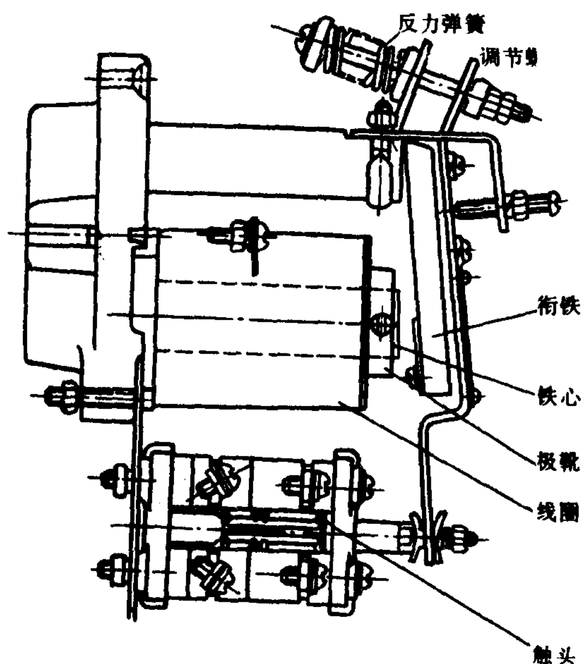


图8.1.3—1 电磁式通用继电器结构图

6)额定工作制 有间断长期工作制(8h)、长期工作制、反复短时工作制和短时工作制;

7)触头的接通分断能力 它是随着继电器控制对象的容量及用途不同而有很大的差异;

8)机械寿命及电寿命 电压、中间及时间继电器的机械寿命可达1000万次以上,电寿命一般为机械寿命的十分之一。过电流继电器一般为3万次左右;

9)接触的可靠性 要求触头接触可靠,不得有虚接,特别用在低压电压小电流情况时尤其重要。

5.2.2 继电器的典型结构

图8.1.3—1为电磁式通用继电器结

构图。由电磁系统，包括线圈、铁芯和衔铁；触头系统，包括桥式动触头和静触头；和反力系统三部分组成。其磁系统为U型拍合式，铁芯和铁轭为一整 体，可减少非工作气隙。极靴为一圆环，套在铁芯端部。衔铁制成板状，绕棱角转动。不通电时，衔铁靠反力弹簧作用打开，在衔铁面上有一非磁性垫片，可减少铁芯释放时剩磁的影响。在其磁系统中装上不同的线圈或阻尼圈后，可分别获得电压、电流、中间及时间继电器等各种用途。

U型拍合式主要用于对灵敏度、返回系数及动作时间无特殊要求的控制继电器；E型主要用于要求返回系数较高的继电器；螺管直动式主要用于对返回系数有较高要求及动作行程较大的以及触头容量较大、触头对数较多和要求安装面积较小的控制继电器。

触头有桥式双断点及簧片式单断点两种，多为圆形或半球形。桥式双断点有两个断口，断开容量大，在交直流控制继电器中用得最广。

控制继电器的触头大多用纯银制成。触头压力：对5A的一般为30～50g；10A的一般为670～100g。

反力系统包括反力弹簧、触头弹簧及衔铁。

5.2.3 通用继电器

改变某些元件即可分别成为电压、电流、中间和电磁式时间继电器的电器叫通用继电器。以JT4系列交流电磁继电器为例：

1）规格数据，见表8.1.3－19和8.1.3－20。

表8.1.3－19 **JT4－L型过电流继电器规格数据**

型号	触头数目		吸引线圈 额定电流(A)	吸引线圈 额定电压(V)	动作电流(I_e%)	返回系数	动作时间(s)
	常开	常闭					
JT4－01L	—	1	5、10、15、20、40、80、150、300、600	500	110～350	0.1～0.2	0.4
JT4－10L	1	—					
JT4－02L	—	2					
JT4－20L	2	—					
JT4－11L	1	1					

表8.1.3－20 **JT4－P及JT4－A型零电压和过电流继电器规格数据**

型号	触头数目		吸引线圈额定电压(V)	吸引电压(U_e%)	释放电压(U_e%)	返回系数	动作时间(s)	
	常开	常闭					吸上	断开
JT4－01P	—	1	110、127、220、380	60～85	10～35	0.2～0.4	—	0.07
JT4－10P	1	—						
JT4－02P	—	2						
JT4－20P	2	—						
JT4－11P	1	1						
JT4－22A	2	2		105～120	—	0.1～0.3	0.06	—

2）外形图，见图8.1.3－2。

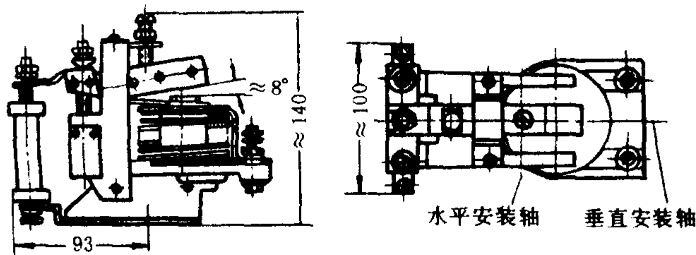


图 8.1.3-2 JT4-L 外型继电器外形图

5.2.4 JZ7 系列中间继电器

将一个信号变成多个输出信号的叫中间继电器。它的用途为：①作为中间传递信号；②可同时控制多条电路。它的结构与电磁式电压继电器相似，只是其触头数量较多。

JZL 系列中间继电器规格数据，见表 8.1.3－21。

表 8.1.3－21 **JZ7 系列规格数据**

型号	触头额定电压(V)	触头额定电流(A)	线圈吸引电压(V)	触头数目		操作频率（次/h)	通电率
				常开	常闭		
JZ7－44	500	5	12、36、110	4	4	1200	连续
JZ7－62	500	5	(127)、220	6	2	1200	连续
JZ7－80	500	5	380、440	8	0	1200	连续

5.3 时间继电器

它是一种获得信号后经过一定延时，使触头闭合或断开的自动控制电器，用作延时或程序控制。它分为电磁式、空气阻尼式、电动式、钟摆式及半导体式等多种类型。

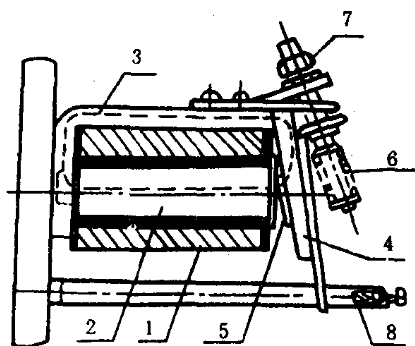


图 8.1.3－3 JS1 型时间继电器简图

5.3.1 电磁式时间继电器

1）结构　如图 8.1.3－3 所示。它的结构和电压继电器是相似的，只是在铁芯上多套着一个阻尼铜(或铝)套。它由线圈 1、铁芯 2、框架 3、衔铁 4、复位弹簧 6 和触头 8 等组成。在衔铁和铁芯间装有青铜薄片 5 用以防止断电后因衔铁受剩磁影响而附在铁芯上以及调节延时时间。

2）延时时间的调整　可以由改变铁芯和衔铁间铜垫片 5 的厚度及旋动调节螺母 7 改变弹簧 6 的弹力来实现。铜片愈薄，铁芯与衔铁间间隙愈小，自感愈大，则延时也愈长；弹簧弹力愈小，延时时间愈长。

5.3.2 JS2 型钟摆式时间继电器

钟摆式时间继电器是利用机械阻尼增加继电器可动部分的运动时间来达到延时目的，其机械阻尼是利用钟摆装置来达到。

5.3.3 JS7－A 系列气囊(空气阻尼)式时间继电器

气囊式时间继电器主要由电磁系统、工作触头(微动开关)、气室及传动机构等组成。具有通电延时和断电延时两种。它的延时动作是通过与活塞相连的橡皮膜向下运动时。受到空气的阻尼作用，使活塞杆得以缓慢下降而达到的。

通过调节延时螺钉，可调整延时时间。旋进调节延时螺钉，使进气孔的截面积减少，进气量减少，延时时间延长；反之延时时间缩短。该型的特点是：结构简单、延时时间较长、通用性广；缺点是误差较大。

1）规格数据见表 8.1.3－22。

表 8.1.3—22 **JS7—A 系列规格数据**

<table>
<tr><th rowspan="3">序号</th><th rowspan="3">型　号</th><th colspan="12">主　要　技　术　数　据</th></tr>
<tr><th rowspan="2">电压
(V)</th><th rowspan="2">频率
(Hz)</th><th colspan="3">触头容量(A)
380(V)</th><th rowspan="2">延时范围
(s)</th><th colspan="2">线圈接通
时延时</th><th colspan="2">线圈断开
时延时</th><th colspan="2">不延时
的触头</th></tr>
<tr><th>额定</th><th>接通</th><th>断开</th><th>常开</th><th>常闭</th><th>常开</th><th>常闭</th><th>常开</th><th>常闭</th></tr>
<tr><td>1</td><td>JS7—1A</td><td rowspan="4">36、
110、
127、
220、
380</td><td>50、60</td><td>5</td><td>3</td><td>0.3</td><td>0.4～180
0.4～60</td><td>/</td><td>/</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>2</td><td>JS7—2A</td><td>50、60</td><td>5</td><td>3</td><td>0.3</td><td>0.4～180
0.4～60</td><td>/</td><td>/</td><td>—</td><td>—</td><td>/</td><td>/</td></tr>
<tr><td>3</td><td>JS7—3A</td><td>50、60</td><td>5</td><td>3</td><td>0.3</td><td>0.4～180
0.4～60</td><td>—</td><td>—</td><td>/</td><td>/</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>4</td><td>JS7—4A</td><td>50、60</td><td>5</td><td>3</td><td>0.3</td><td>0.4～180
0.4～60</td><td>—</td><td>—</td><td>/</td><td>/</td><td>/</td><td>/</td></tr>
</table>

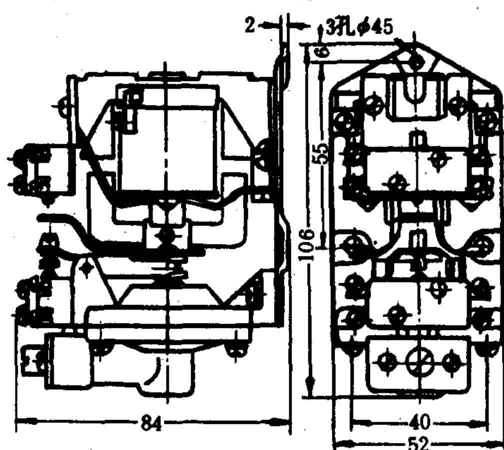


图 8.1.3—4　JS7—A 系列时间继电器外形图

2)外形图见图 8.1.3—4

5.3.4　电动式时间继电器

由同步电动机带动齿轮传动而获得延时动作，其特点为延时精度较高，它决定于电源频率的稳定性。主要用于延时 0.5s 至 24h 的场合。

1)JS10 系列规格数据见表 8.1.3—23。

表 8.1.3—23 **JS10 系列规格数据**

<table>
<tr><th colspan="2">延　时</th><th colspan="7">触　　头</th><th rowspan="4">电源
电压
(V)</th><th rowspan="4">电源
频率
(Hz)</th></tr>
<tr><th rowspan="3">编号</th><th rowspan="3">延时调节范围</th><th rowspan="3">编号</th><th colspan="4">有延时的触头数</th><th rowspan="2" colspan="2">延时的触头</th></tr>
<tr><th colspan="2">电磁铁接通
时延时</th><th colspan="2">电磁铁断开
时延时</th></tr>
<tr><th>常开</th><th>常闭</th><th>常开</th><th>常闭</th><th>常开</th><th>常闭</th></tr>
<tr><td>1</td><td>0.5 ～6s</td><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2">127</td><td rowspan="6">50</td></tr>
<tr><td>2</td><td>2.5 ～30s</td></tr>
<tr><td>3</td><td>10～120s</td><td>2</td><td>2</td><td>1</td><td></td><td></td><td>1</td><td>1</td><td>220</td></tr>
<tr><td>4</td><td>0.5～10s</td><td rowspan="2">3</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2">380</td></tr>
<tr><td>5</td><td>2.5～60min</td></tr>
<tr><td>6</td><td>10～210min</td><td>4</td><td></td><td></td><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>500</td></tr>
</table>

2)原理图见图 8.1.3—5。图中 D 为同步电动机，I 为离合电磁铁线圈 。

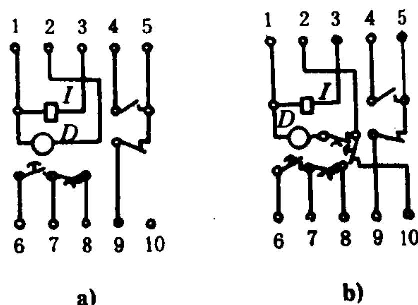


图 8.1.3—5 JS10 系列时间继电器原理图

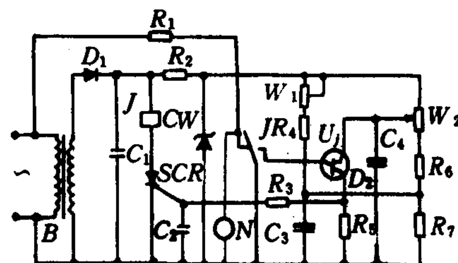


图 8.1.3—6 单结晶体管通电延时原理线路图

3)多回路电动式时间继电器　当通电动作后，它有几对触头依次根据预先调整好的延时时间，分别接通和断开，以达到控制较复杂的自动控制电路。例如用于辅助锅炉自动控制燃烧过程中各环节的延时动作。

5.3.5　电子式时间继电器

与电磁式时间继电器相比，电子式时间继电器具有延时范围广、精确度高、调节方便、返回时间短、损耗功率小及寿命长等特点。它的延时方式有闭合延时、释放延时及重复延时等。电子式时间继电器可分为阻容式和数字式两种。阻容式是利用 RC 电路充放电原理构成延时电路。图 8.1.3—6 为用单结晶体管构成 RC 充放电式晶体管时间继电器的原理线路，它主要适用于中等延时时间(0.05s～60min)的场合。数字式是采用计数器式延时电路，由脉冲频率决定。它不仅延时时间长，而且精度高，但线路复杂，主要用于长延时(可达几小时至十几小时)的场合。

5.4　舌簧继电器

舌簧继电器广泛应用于通信、自动控制、仪器仪表、继电保护和计算技术领域中。由于它的起动功率小，所以易与晶体管线路配合使用。

舌簧继电器中的舌簧管，其主要优点是将触点密封在一个玻璃管里，防止了氧化和污染。它的簧处既导磁、又导电、又起反力弹簧的作用。它将电磁式继电器上的铁芯、衔铁、触头和反作用弹簧四者的功能集中在一个元件上，在动作时完全排除了机械传动，因此动作速度快。由于没有机械传动所引起的磨损及具备密封的触头，所以它的寿命较长。

舌簧继电器分为干式和湿式(又称水银舌簧继电器)两种，干式舌簧继电器按触头形式可分为常开、常闭、转换和过渡转换等四种。它普遍应用于继电器的保护。

5.4.1　动作原理

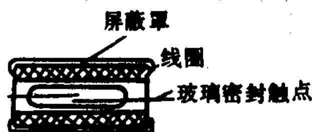


图 8.1.3—7　舌簧继电器结构图

干式舌簧继电器将触头部分和电磁驱动部分合为一体，封闭在一个玻璃管中，再在其周围绕上励磁线圈 ，外面有铁质屏蔽罩，以防止外磁场干扰，如图 8.1.3—7 所示。

舌簧继电器的簧片除作为导电触片外，同时还作为磁路导磁体。当线圈通有适当的电流时，即产生一励磁磁场 ，磁力线沿它的轴向通过玻璃密封触头，左右两部分簧片被磁化，其重叠部分的磁力克服簧片本身的反弹

力而相互吸住，使外电路接通。当外界磁场强度减少到一定值时，触头便靠簧片本身的反弹力回复到原来位置。

5.4.2　性能

1)灵敏度高　因为簧片兼有普通电磁继电器的接触片和衔铁磁路的双重任务，触头位于线圈的中间部分，磁通利用率高，而且可动部分重量轻，行程短；

2)吸动时间和释放时间短，工作频率高；

3)簧片刚性强、位移小，不全产生由于机械摩擦而引起的特性变化；

4)接触电阻小(触头镀有贵重金属)；

5)能在温度和湿度变化较大的条件下正常工作；

6)触头密封，防止了外界有害气体和尘埃的影响(管内充有惰性气体)；

7) 维护容易，不需调整；

8)结构简单，便于大量生产。

由于触头在断开时是依靠簧片的反弹力，属于非冲击性地返回，如触头有粘住现象，就有可能断不开。

5.5　JTX 系列小型通用继电器

JTX 系列小型通用继电器由直流或交流控制，适合于一般的自动装置、继电保护装置、信号装置和通信设备中作为信号指示和启闭电路的元件。继电器的消耗功率，直流线圈仅为 1W，交流线圈为 2.5VA。

6　热继电器

6.1　结构和调节

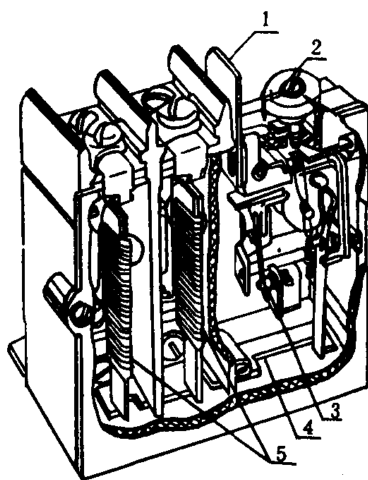


图 8.1.3－8
JR15－10 型热继电器结构图

利用电流的热效应来切断电路的电器叫热继电器。图 8.1.3－8 为 JR15－10 型热继电器结构图。主要由五部分组成：1)感温元件 5 共两块，是由双金属片及绕在双金属片外面的电阻丝构成，使用时将电阻丝串联在电动机电路内；2)常闭触头 3，使用时串联在控制电路内；3)动作机构 4，由杠杆、凸轮等组成；4)复位按钮 1；5)调节电流装置 2。

热继电器的动作电流由电流调节旋钮(偏心轮)2 进行调节，转动偏心轮就改变了推杆推移动触片的距离，因而得到了不同的整定电流。它还具有自动再扣和手动再扣复位性能。再扣方式可通过再扣调节螺钉来进行。当将再扣调节螺钉旋进去时，即可实现自动再扣；反之则为手动再扣。一般出厂时都调在自动再扣位置。热继电器动作后，要经过一定的冷却时间才能再扣。冷却时间规定为：自动再扣时间不超过 5min，手动再扣时间不超过 2min。

6.2 热继电器简介(见表 8.1.3—24)

表 8.1.3—24　**热继电器简介**

序号	系列名称	主要规格	用途及说明
1	JR11	电流 1.75～550A	交直流热继电器用作过载保护,单极结构
2	JR15	电流 10～150A	交流热继电器,用作过载保护,二极或三极结构
3	JRO	电流 0.35～160A	同 JR15

6.3 JR15 系列热继电器

1)规格数据见表 8.1.3—25。

表 8.1.3—25　**JR15 系列规格数据**

极数	型号	额定电流(A)	热元件等级				相配合的熔断器额定电流(A)	触头	复位方式
			编号	额定电流(A)	整定电流范围(A)	12倍整定值动作时间(s)			
二极	JR15—10	10	1	0.35	0.25～0.3～3.5			一常开,一常闭转换,长期电流3安,断开能力570 VA	手动 2min 自动 5min
			2	0.50	0.32～0.4～0.5				
			3	0.72	0.45～0.6～0.72				
			4	1.1	0.68～0.9～1.1				
			5	1.6	1.0～1.3～1.6				
			6	2.4	1.5～2～2.4				
			7	3.5	2.2～2.8～3.5				
			8	5.0	3.2～4～5				
			9	7.2	4.5～6～7.2				
			10	11	6.8～9～11				
三极	JR15—40	40	11	11	6.8～9～11		25～30		
			12	16	10～13～16		40		
			13	24	15～20～24		60		
			21	35	22～28～35		80		
			22	45	32～40～45		100		
	JR15—100	100	14	24	15～20～24	2.5	60		
			15	35	22.4～28～35	2.3	80		
			16	50	32～40～50	1.7	100		
			17	72	45～60～72	3	150～160		
			23	100	60～80～100	2.1	200		
	JR15—150	150	18	72	45～60～72				
			19	110	68～90～110				
			20	150	100～125～150				

2)保护特性见表 8.1.3—26。

表 8.1.3—26　　**JR15 系列保护特性**

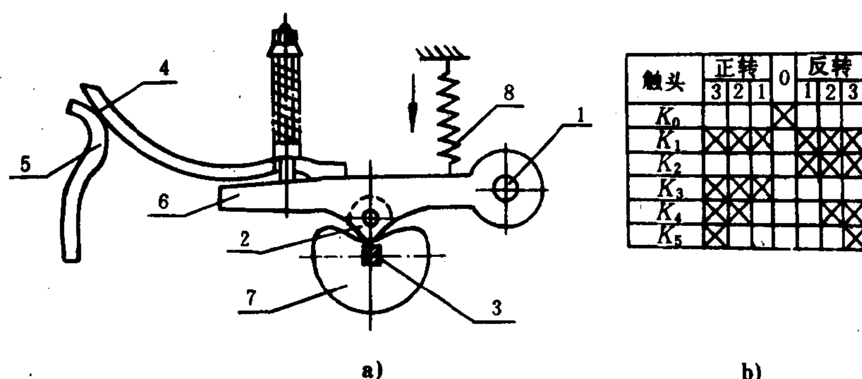
整定电流倍数	动　作　时　间	备　　注
1.0	长期不动作	
1.2	小于 20min	从热态开始
1.5	小于 1.5min(2.5A 及以下等级)	从热态开始
1.5	小于 2 分钟(2.5A 以上等级)	从热态开始
6.0	5s 内不动作	从冷态开始

7　凸轮控制器

凸轮控制器是一种多位置、多线路、按一定程序动作的手动开关电器。应用它可以控制较复杂的动作，如操纵电动机的起动、调速、停止和反转等。可用于操纵动作频繁的起货机、锚机等。

7.1　结构和动作原理

凸轮控制器由固定部分和转动部分组成。其结构如图 8.1.3—9a)所示。图示仅为控制器的一个元件，由可以绕小轴 1 转动带有动触头 4 的转臂 6，以及可以转动的凸轮 7 和静触头 5 组成。当凸轮 7 的凹下部分与滚轮 2 接触时，在弹簧 8 作用下，动触头 4 与静触头 5 闭合，当凸轮 7 的凸起部分与滚轮 2 接触时，凸轮克服了转臂上的弹簧力，将触头断开。



触头	正转 3	正转 2	正转 1	0	反转 1	反转 2	反转 3
K_0				X			
K_1	X	X	X		X	X	X
K_2					X	X	X
K_3	X	X	X				
K_4	X	X				X	X
K_5	X						X

b)

图 8.1.3—9　凸轮控制器元件及接通表

一台凸轮控制器由多个元件组成，各元件的凸轮用一个方形转轴 3 通过手轮转动。由于各凸轮的形状不同，转轴在不同的位置上时，可使各不同触头断开或闭合，以控制多条电路。

凸轮控制器各触头在不同位置上的开闭状况，可用图 8.1.3—9b)所示接通表表示。表中"X"表示触头闭合，空格表示触头断开。正、反转表示转轴的操纵方向，0、1、2、3 等表示手轮的不同位置，K_0、K_1、K_2、……等是各触头编号。例如触头 K_0 在 0 位时闭合，在其它位置时均为断开。

7.2　直流凸轮控制器

7.2.1　直流凸轮控制器简介(见表 8.1.3—27)

表 8.1.3－27　**直流凸轮控制器简介**

序号	系列名称	主要规格	用途及说明
1	KTZ93－1 船用	220V，20A17 条控制电路，工作位置左右各 8 档	无保护电器，用于直流发电机或电动机励磁回路作调压或调速，防水式
2	KTZ93－2 KTZ93－3 KTZ93－4	≤320 V 40～80A 9 条主电路，4 条控制电路，工作位置左右各 5 档	无保护电器，配用 XDQ1 系列磁力站保护箱，用于控制直流电动机起动、调速、反转。防水式，一般用于小型锚机，绞盘机
3	KTZ94	110、220V，20～40A9 条主电路，4 条控制电路，工作位置左右各 5 档	带保护电器，分对称线路和不对称线路两种，用于控制直流电动机的起动、调速、反转。防水式
4	XDQ1 船用	≤320V 20～80A	配合 KTZ93－2、KTZ93－3、KTZ93－4 凸轮控制器使用，作失压，过载保护

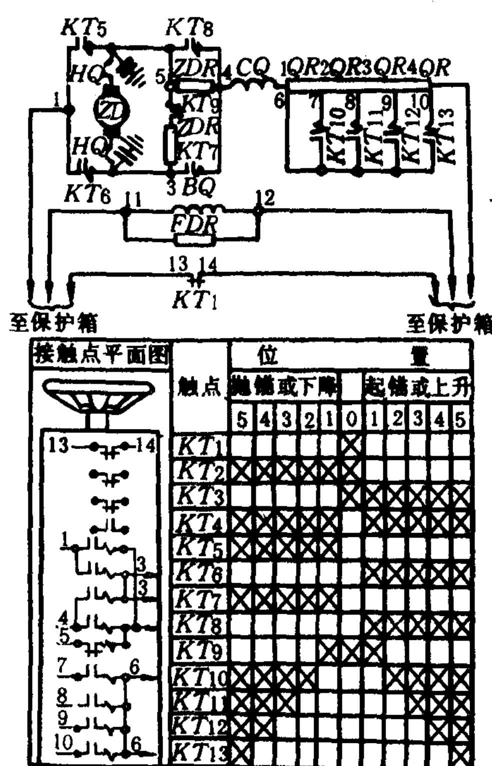


图 8.1.3－10　KTZ93 型控制器电气线路原理图及触头闭合表

7.2.2 电气线路原理图及触头闭合表（见图 8.1.3－10）

7.3 交流凸轮控制器

KTJ1 系列凸轮控制器用于交流 50Hz、电压≤380V 的电路中，作起重机或类似的三相交流电动机的起动、调速和换向用。每小时最多操作 600 次。

8 主令电器

主令电器是一种人工操作的小电流开关电器。在自动控制线路中，用来发出操作命令，控制其他电器（如接触器、继电器等），从而改变拖动装置的工作状态（如起动、停车、反转、调速和制动等）。常用主令电器有下列几种：按钮、主令控制器、万能式转换开关、行程开关和微动开关等。

8.1 按钮

按钮是用来手动接通或断开控制电路的电器。它与其它控制电器相配合，用于远距离控制电动机的起动、停止、正转或反转等。按钮简介见表 8.1.3－28 。

表 8.1.3－28　**按钮简介**

序号	系列名称	主要规格	用途及说明
1	LA91 船用	电压：直流 440V，交流 500V；电流：15A；钮数 1、2、3	用于接通与分断控制电路的按钮盒。结构有防护式、防水式
2	LA10	电压：直流 220V，交流 380V；电流：5A，钮数 1、2、3	同上，结构还有开启式

续上表

序号	系列名称	主要规格	用途及说明
3	LA14	电压：直流 220V，交流 220V； 电流：1A，带 24V 指示灯	按钮元件用于接通与分断控制电路
4	LA18	电压：直流 440V，交流 500V 电流：5A 触头 2—6 对	用于接通与分断控制电路，操作形式较多触头数量也多
5	LA19	电压：直流 440V 交流 500V 电流 5A 带 6～24V 指示灯	用于接通与分断控制电路，圆形面板
6	SDA－1	电压：直流 220V 交流 380V 电流 3A 带 6.3V 指示灯延时 5～60s	用于需延时的控制回路，作用机起动及电流接通或分断用

8.2 主令控制器

主令控制器是多位置多回路的控制开关，用于操作频繁而且要求有多种控制状态的地方，如控制起货机、锚机电动机不断起动、制动、调速等场合。

其工作原理与凸轮控制器相似，但它用于控制辅助电路，常与接触器、继电器配合一起工作。触头为桥式，电流容量较小，一般为 10～20A。主要部件有动、静触头，凸轮、操纵手柄等。方轴上串入凸轮片数一般不超过 12 片。手柄位置，正、反可以有 4～8 档。由于各凸轮的形状不同。则各触头在不同位置时，便有不同的工作状况，其触头的通断状况，可用触头接通表表示。

主令控制器简介见表 8.1.3－29。

表 8.1.3－29 **主令控制器简介**

序号	系列名称	主要规格	用途及说明
1	LK911 船用	电压：直流 220V 交流 380V 电流：20A 电路：5～11 条 工作位置：2－5 档	用于船舶机械电力拖动控制电路中，以切换线路。防水式。锚机，绞盘机，起货机的交直流成套控制设备中均予采用
2	LK913 船用	电压：直流 220V，交流 380V 电流 15A 电路：8－9 条(单联)16～18 条(双联) 工作位置：4 档	用于舵机控制的专用设备，防水式
3	LK5227－4H 船用	电压：直流 220V，交流 380 V 电流：20A 电路：2 条 工作位置：1 档	用于舵机控制的专用设备，防水式

8.3 万能式转换开关

万能式转换开关是一个多触头多位置式可以控制多条回路的主令电器，用作电气测量仪表换相、控制回路换接和小型电动机的起动、换向及调速等。

它由手柄、面板、带标号牌的触头盒、动触头、定位器、自复机构及限位机构等七种基本元件组成。这些元件用螺杆连成一体，触头盒最多可达 8 节。其手柄有各种型式。每一接触系统有两对双断点触头，分别由两片凸轮操作，或控制两条独立的回路。凸轮工作位置可分 45°和 30°两种，根据开关控制回路多的特点，凸轮也有不同的型式。

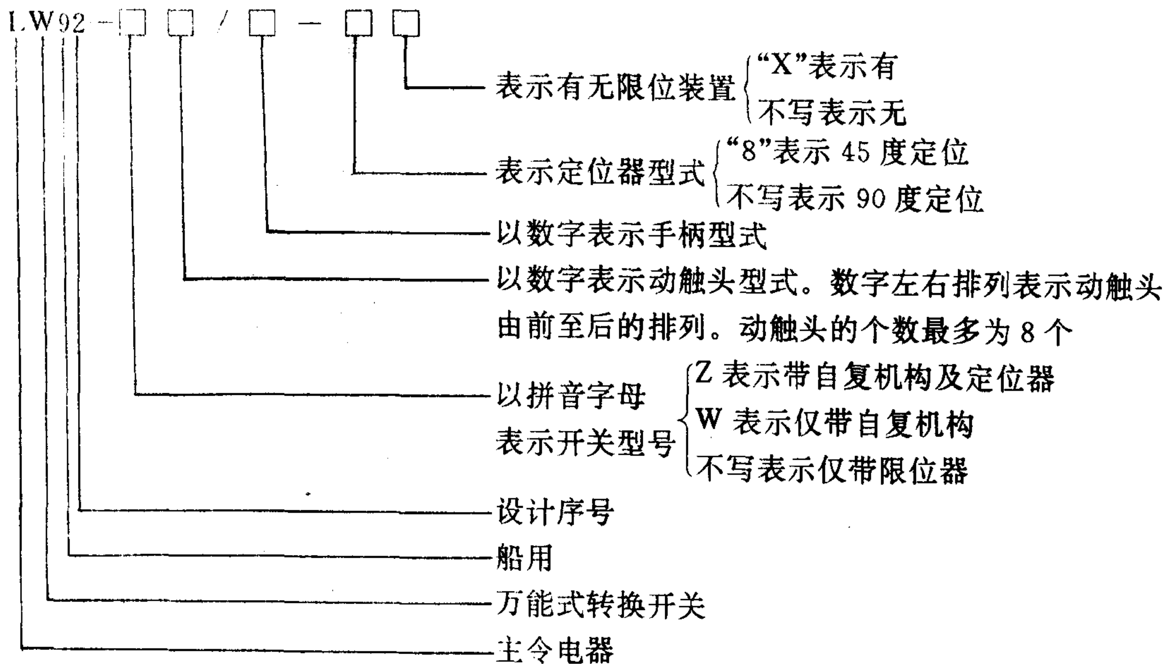
8.3.1 万能式转换开关简介(见表 8.1.3－30)

表 8.1.3－30　**万能式转换开关简介**

系列名称	主　要　规　格	用　途　及　说　明
LW92 船用	交直流 220V、10A 1～8 触头盒	作测量仪表,控制回路和小型电动机的转换和开关用
LW95 船用	交直流 500V、15A1～16 触头盒	作测量仪表,控制回路和小型电动机的转换和开关用

8.3.2　LW92 系列万能式转换开关

1)型号含义



2)规格数据

(1)额定电压:交流 50Hz220V,直流 220V;

(2)闭合状态的触头允许通过电流为 10A;

(3)当电流不超过 0.1A 时,允许使用在交流 50Hz380V 的线路中。

3)触头分断能力

(1)1、2、4、5、6、6a 型动触头分断能力,见表 8.1.3－31。

表 8.1.3－31　**1、2、4、5、6、6a 型触头分断能力**

负载性质	交流　(A)		直流　(A)	
	220V	127V	220V	110V
电阻性	40	45	4	10
电感性	cosφ＝0.4 时		T＝0.01s 时	
	15	23	2	7

(2)7、8 型动触头用于电流互感器电路,不开断电流;

(3)1a、10、20、30、40、50 型动触头仅适用于信号回路,其极限允许断开电流应不超过表 8.1.3－31 中的 10%;

4)手柄、面板和开关型式见表 8.1.3－32。

表 8.1.3—32　　**LW92 系列手柄、面板和开关型式**

手柄型式	面板外形	开关型式	正视及侧视图
5	方型	LW92－W 带自复机构的开关	32, 42, 64, 32
6			32, 42, 64, 9, 29
7	方型	LW92 带定位及取出的手柄的开关	32, 42, 64, 30
8	方型	LW92－Z 带自复机构及定位的开关	74, 64, 30

5)动触头型式见表 8.1.3—33。

表 8.1.3—33　　**LW92 系列动触头型式和用途**

用　途	符号	动触头型式	（原始地位）	符号	用　途
操作触头 LW92－Z用 LW92－W用		1型	7型		电流表转换用触头或信号触头（LW 92用）
操作触头 LW92－Z用		1a型	8型		电流表转换用触头（LW 92用）
操作触头 LW92－W用		2型	10型 45°		带45°角自由行程的信号触头(LW92－Z用)
操作触头 LW92－Z用		4型	20型		带90°角自由行程的信号触头(LW92－Z用)
电压表转换开关触头 LW92用		5型	30型 45°		带135°角自由行程的信号触头(LW92－Z用)
信号触头 LW92－Z 及其他开关用		6型 45° 45° 45° 45°	40型 45° 45°		带45°角自由行程的信号触头
		6a型 45° 45°	50型 45° 45° 45°		(LW92－Z用) (LW92－W用)

6)外形图见图 8.1.3—11。

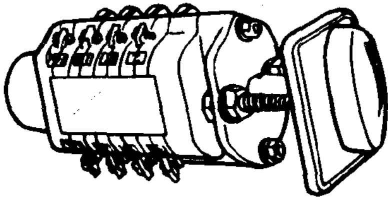


图 8.1.3—11 LW92 型万能式转换开关外形图

8.4 行程开关

控制机械行程的开关叫行程开关。当机械移动到一定距离后，行程开关受外力作用而动作，切断控制电路，使机械停止运动，变换方向或改变速度。专使机械运动达到一定行程而停止的行程开关称为终点开关或限位开关，如用于舵机和起货机的限位，其型式可分为按钮式、曲臂式和凸轮式等。

行程开关简介 见表 8.1.3—34

表 8.1.3—34 行程开关简介

序号	系列名称	主要规格	用途及说明
1	LX91 船用	行程:9mm 电压:直流 220V 交流 380V 电流 6A	用于控制电路内作控制运动机构的运动速度、方向或行程的碰撞式限位开关，防护式
2	LX97 船用	传动比:1:50 电压:直流 440V 交流 500V 电流 20A	用于控制电路内，作升降机构或周期性工作机构的旋转式限位开关。分防水式和防护式
3	LX914 船用	行程:15mm，电流 6A 电压:直流 24、220V 交流 380V	同 LX91，防滴式
4	LX915	电压:直流 440V，交流 500V 电流 20A	同 LX91 防水式
5	LX916	电压:直流:220V，交流:380V 电流:15A	由机械旋转运动来传动，当达到规定位置时动作常用于变螺，距控制设备中作桨叶的终端开关
6	LX917	电压:直流 220V 电流:电力 5A 信号 15A	用于舵机控制专用设备，作励磁电路及控制电路的旋转式限位开关，防水式
7	LX2	电压:交流 500V 电流:6A	同 LX91，滚轮可变换安装位置，可做成不自动复位
8	LX12—2	行程 :4mm，电流 2A。 电压:交流 380V	用于行程自动控制电路中，重量轻，体积小
9	LX19	电压:直流 220V，交流 380V 电流:5A	同 LX91
10	JLXK1	电压:直流 220V，交流 500V 电流:5A	同 LX91
11	JLXW1—11	电压:交流 380V 电流 3A	作精密控制行程用
12	JW2 JW	电压:直流 220V 交流 380V 电流:3A	作控制微量行程用

8.5 微动开关

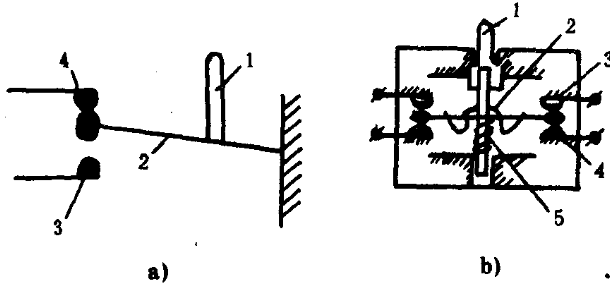


图 8.1.3—12　微动开关原理图
a)单断点;b)双断点;
1—推杆;2—片状弹簧;3—常开触头;
4—常闭触头;5—复位弹簧

行程和动作压力都很小的快速换接小型开关称为微动开关。一般作为小型行程开关或主令开关,也可用作其它继电器快动作触头。表 8.1.3—34 中介绍的 JLXW1—11、JW2 等型号即为微动开关,此外还有 LX5、LXW—11 等系列。

8.5.1　微动开关结构原理

如图 8.1.3—12 所示。它是由撞块压动推杆 1 使片状弹簧 2 变形,从而使触头动作。撞块离开推杆后,片状弹簧恢复原状,于是触头回到原来位置。

8.5.2　微动开关特点

1)外形尺寸小、重量轻。触头工作电压可达 380V 而工作电流为 3A;
2)推杆的动作行程小,LX5 为 0.3～0.7mm,LXW—11 为 1.2mm;
3)推杆的动作压力小,只需 5～7N 就能使其动作。
其缺点是经久耐用性差。

9　磁力起动器

供远距离起动电动机的成套电器。一般由线路接触器、加速接触器、继电器和按钮等组成。

按被控电动机类型分有:交流磁力起动器和直流磁力起动器;按被控电动机的转向分有:可逆式和不可逆式两种。交流磁力起动器一般为直接起动,而直流磁力起动器可分为按电流原则、电压(反电势)原则和时间原则等几种不同方法起动。

9.1　交流磁力起动器

9.1.1　交流磁力起动器简介(见表 8.1.3—35)

表 8.1.3—35　**交流磁力起动器简介**

序号	系列名称	主要规格	用途及说明
1	QC96	电压:127～380V 电流 13.5～135A	直接起动交流电动机,供一般舱室机械电动机自动起动、停止用
2	QC98	同上	可逆式、可用于吊艇机、盘车机、升降机等
3	QC10	电压:220～500V 电流 5～150A	同上,采用三相热继电器的兼有单相运行保护作用。

9.1.2　QC96 系列交流磁力起动器动作原理

QC96 系列原理图如图 8.1.3—13 所示。某动作原理如下:如图 a)所示,当闸刀开关 HK

合闸后，按下起动按钮 QA，线路接触器线圈 XLC 通电，其主触头 XLC 闭合，电动机 D 直接起动；同时其常开辅助触头 XLC 闭合，代替起动按钮 QA，起自锁保护作用。

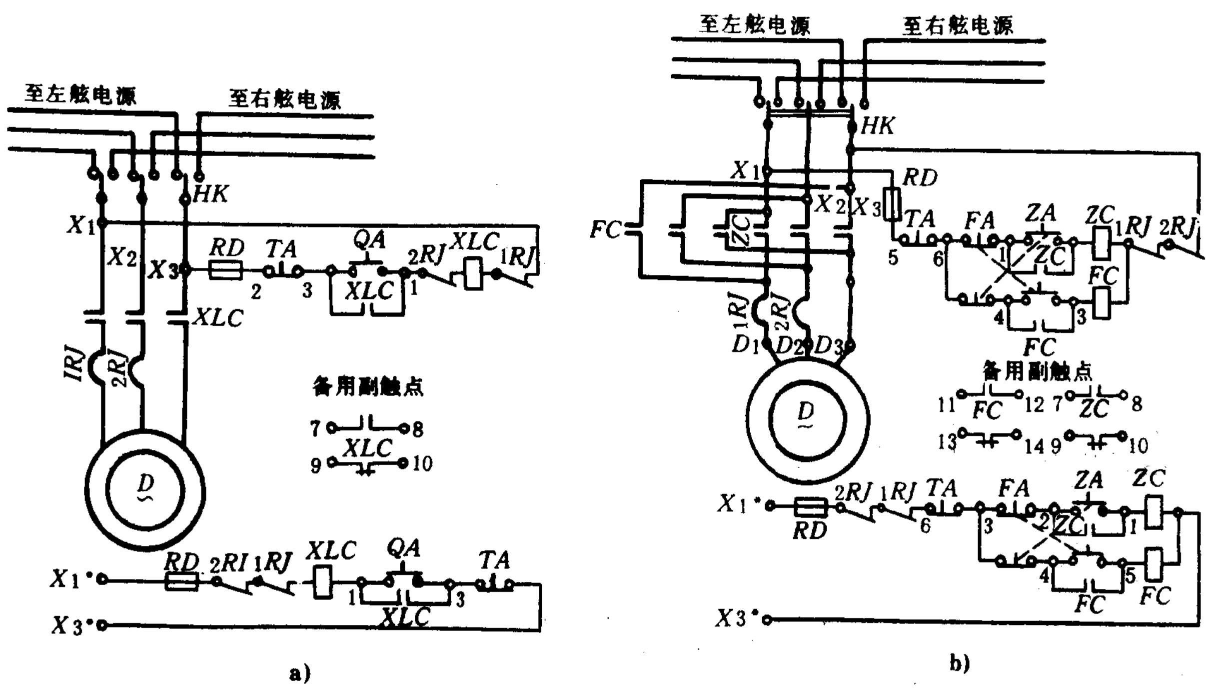


图 8.1.3－13　QC96 系列原理图

a)不可逆控制；b)可逆控制

当按下停止按钮 TA 时，线路接触器线圈 XLC 断电，使其主触头断开，电动机 D 停止运转。自锁触头同时断开，恢复至电动机起动前状态。

热继电器 1RT、2RJ 在电动机过载时，将其控制电路中常闭触头断开而使电动机停止运转，起过载保护。线路接触器线圈还起欠压或零压保护。

9.2　直流磁力起动器

9.2.1　直流磁力起动器简介（见表 8.1.3－36）

表 8.1.3－36　**直流磁力起动器简介**

序号	系列名称	主要规格	用途及说明
1	QZH 船用	电压：110～220V 电流：22.4～300A	直流时间原则起动，供一般舱室机械电动机自动起动、停止用。可逆式可用于吊艇机、盘车机。有手动自动控制转换，较适合重载起动
2	J(Z)QL－1	电压：110～220V 电流 40～300A	直流电流原则起动，供一般舱室机械电动机自动起动，停止用。有手动自动控制转换

9.2.2　QZH 系列船用直流磁力起动器

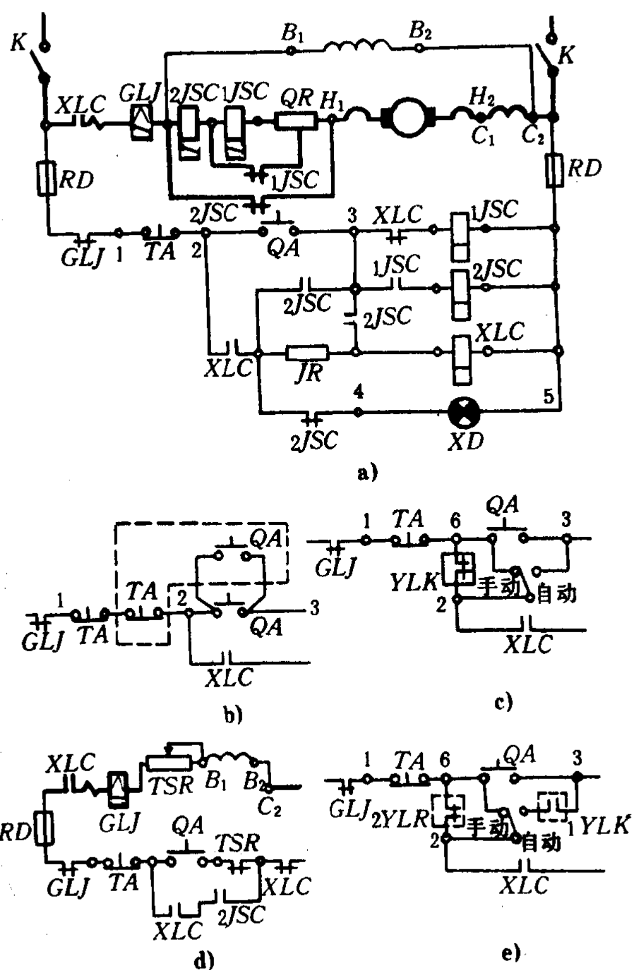


图 8.1.3－15　ZQL1－40/2 型原理图

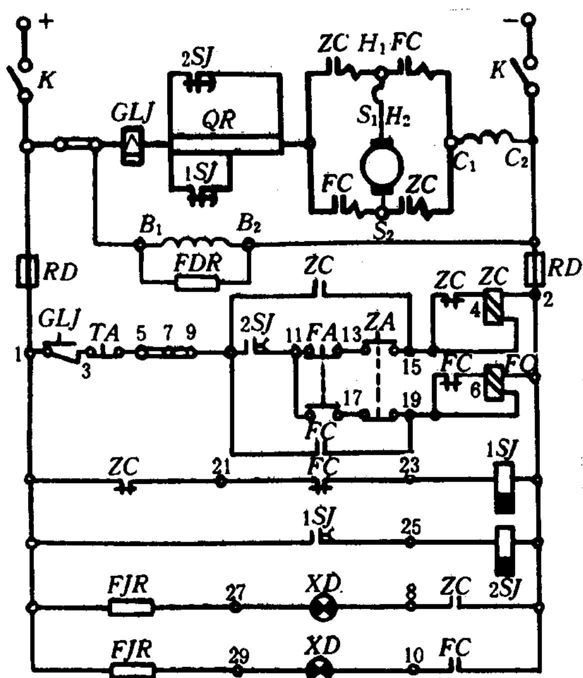


图 8.1.3－14　QZH－1221 型原理图

1)型号含义

QZH－□ □ □ □

- 第四个□：
  - 1－手动有指示灯
  - 2－自动有指示灯
  - 3－手动无指示灯
  - 4－自动无指示灯
  - 5－手动有一指示灯
- 第三个□：1－不可逆；2－可逆
- 第二个□：起动级数分为 1、2、3、4 四级
- 第一个□：容量等级分为 1、2、3、4、5 五级
- H：船用
- Z：直流
- Q：起动器

2)原理图，以 QZH—1221 为例，如图 8.1.3—14 所示。其中 1221 表示容量等级为 1 级，额定电流为 22.5A；起动级数为 2 级；可逆运转，手动有指示灯。

9.2.3 Z(J)QLI 系列直流磁力起动器

ZQLI 系列原理图举例，如图 8.1.3—15 所示。表示额定电流为 40A；二级起动；无励磁变阻器。

10 阻容元件

10.1 变阻器

可以在一定范围内改变阻值的电阻器称为变阻器。将变阻器的手轮或旋钮由某一位置转到另一位置即可实现调节。变阻器根据不同用途，可供调整直流或交流发电机的电压以及直流和交流电动机的起动、调速之用。主要分类有励磁变阻器、起动变阻器、起动调速变阻器和频敏变阻器等。励磁变阻器是利用电阻值的变化来改变电机励磁绕组电流的电器，以调节发电机的电压或电动机的转速；起动调速变阻器是电阻元件和换接装置组成的电器，可在不断开电路的情况下逐级地或均匀地改变电阻值，以达到起动、调速等目的。频敏变阻器是利用绕线式异步电动机转子电路的频率变化而自动改变阻抗的电器，以达到平稳地起动交流电动机。

变阻器简介见表 8.1.3—37。

表 8.1.3—37 **变阻器简介**

序号	系列名称	主要规格	用途及说明
1	BL91 船用	300～4500W 15～25A	调节直流发电机电压或直流电动机转速，作励磁变阻器，采用 ZG3 或 ZB1、ZB2 电阻元件
2	BQ BT 91 船用		供控制 220V 以下并励和复励直流电动机起动用，有低电压和过电流保护装置
3	BC1	25～500W 三联 可达 1500Ω—3000 欧	一般作调整电阻用，也可作小型励磁变阻器。结构为线绕瓷盘电阻
4	BX92 船用	600～3200W 0.8～700Ω	作调节蓄电池充电电流或直流电机励磁电流用。采用 ZB7 电阻元件。结构为手动调节的滑线变阻器

10.2 电阻元件

电阻元件简介 见表 8.1.3—38

表 8.1.3－38

电阻元件简介

序号	型号	规格	用途
1	ZG11	7.5～200W 5～25000Ω	珐琅瓷管形电阻，有可调和不可调两种，常用作附加电阻，放电电阻
2	RXY	7.5～150W 5.1～30000Ω	珐琅被釉绕线式电阻，适于作电信仪器仪表，电力分配设备的交直流负载电阻
3	RXYC RXYC－T	2.5～100W 43～56000Ω	耐潮被釉线绕电阻，适用于电信仪器仪表，电力分配设备的交直流电路中作降压、分压、分流，负载电阻，有可调不可调两种
4	RXQ RXQ－T	2～100W 3～100000Ω	酚醛涂料线绕电阻器，有可调和不可调两种，用途同 RXYC 型
5	ZG_2H	0.83～14.5W 140～0.45Ω	瓷管形电阻，常用作放电电阻及小容量起动电阻
6	ZG3	0.83～14.5W 240～0.73Ω	同 ZG_2H，仅长度较长
7	ZB1,ZB2	18.9～42A 0.95～0.2Ω	平板形电阻，常用作起动电阻，扁铜丝结构
8	ZB2,ZB4	1.17～22.3A 260～0.7Ω	同 ZB1，圆铜丝结构
9	ZB7	41～1.34A 0.39～350Ω	框架形电阻，通常作长期工作制用的 BX2 系列滑线变阻器的电阻元件
10	ZYH	107～24A 0.08～1.56Ω	圆筒形电阻，用铁铬铝合金作电阻丝，容量大阻值小，适于作调速电阻

10.3 电容元件

电容元件简介见表 8.1.3－39。

表 8.1.3－39

电容元件简介

序号	系列名称	主要规格	用途及说明
1	CZB	0.1～1μF 直流 250～1500V 交流 120～500V	一般作船用电机及控制设备内的防干扰、滤波电容、密封纸介质，带熔断器
2	CZM	0.01～10μF 直流 250～1600V 交流 50～500V	作控制用电容密封纸介质
3	CZJ	0.1～25μF 直流 250～1600V	作控制用电容、密封金属化纸介质，具有较小重量和尺寸

11 电热元件

电灶、电热水管、电暖器以及电炉、电烤箱等电热器，都是利用电热材料通电后产生的热量，所以电热材料及元件是各种电热器的主要部分。

11.1 电热材料简介（见表8.1.3－40）

表8.1.3－40　**常用电热材料简介**

序号	类别		发热体工作温度(℃)		特点和用途
			常用	最高	
1	镍铬合金	Cr20 Ni80 Cr15Ni60	1000～1050 900～950	1150 1050	①电阻率较高；②加工性能好；可拉成细丝；③高温强度好，用后不变脆，适用于移动设备；④具有奥氏体组织，基本上无磁性
2	铁铬铝合金	1Cr13Al$_4$ 0Cr13Al$_6$Mo2 0Cr25Al$_5$ 0Cr27Al$_7$Mo$_2$	900～950 1050～1200 1050～1200 1200～1300	1100 1300 1300 1400	①抗氧化性能较好；②电阻率比镍铬高比重较轻用量少；③价格便宜；④高温强度低，用后易脆，适用于各种固定设备；⑤加工性能差；⑥具有铁素体组织，有磁性

11.2 电热元件

由前述不同电热材料制成各种类型电热元件和电热器，分述于下。

1）SRS型管状电热元件　本系列电热元件只适用于敞开式、封闭式的水槽中，以及循环系统内加热水之用，而不得加热气体或固体物，其加热介质最高温度不超过300℃。其额定电压220～380V，功率自0.5～7kW。

2）SRXY、SRJ系列管状电热元件　本系列电热元件用于加热盐溶液和碱溶液，不得加热空气或其他固体物。由于加热介质不同，其外壳材料也不同，其工作温度为500～550℃。额定电压为380V，功率自2～7kW。

3）SRQ系列电热元件　本系列电热元件用于加热空气，它可安装在空气加热系统的吹风管道中，作吹送热空气用，也可作为各种烘箱、电炉的发热元件，其最高温度为300℃。额定电压为220、380V，功率自0.5～3kW。

11.3 SRK$_2$系列电加热器

该系列电加热器安装于通风系统的风道和空调设备内，以加热循环空气和新鲜空气用。它适用于温度－30℃～＋40℃，湿度小于90％的环境中，具有加热均匀、热量稳定、效率高、结构简单和使用安全等优点。

其结构为钢质骨架，外覆薄钢板，石棉隔热层和管状电热元件组成，电热元件排列均为错列布置，一般分为3、4、5排。

11.4 SRB 型电热板

该型主要用于实验室干燥箱、小型烘箱、油漆干燥、烹饪和烘干食物等，但不得加热液体介质，最高温度不超过 300℃。额定电压为 220V，功率 0.2～0.8kW

12 自动化控制元件

12.1 电 磁 元 件

电磁元件是自动调节系统必不可少的元件之一。它可以作为执行元件，将调节器输出的控制信号转换为机械动作，从而达到自动控制或自动调节的目的。电磁元件是用来接通或断开机械的、气力的或液力的回路，如使转轴结合或分离；使阀门开启或关闭等。通常电磁元件包括各种不同结构的电磁机构，在很多情况下，它在装置上与电磁型继电器相似。

12.1.1 电磁制动器

为了提高设备的生产率，准确运行和保证安全，要求能够准确而迅速的停车，因此在生产机械中常装有制动装置。应用最广泛的是电磁制动器。

电磁制动器由制动器和制动电磁铁组成。电磁制动器可分为闸瓦式（电磁抱闸）和圆盘式两种，闸瓦式制动电磁铁依其结构型式，可分为两类：一类是长行程，型号为 MZS_1（三相交流）和 MZZ_2（直流）；一类是短行程，型号为 MZD_1（单相交流）和 MZZ_1（直流）。

12.1.1.1 交流短行程电磁制动器

1）MZD1 型交流短行程制动电磁铁以及和其配套 TJ2 型制动器主要规格数据见表 8.1.3－41 和表 8.1.3－42 。

表 8.1.3－41　**MZD^1 型交流短行程制动电磁铁规格数据**

型　号	额定电压 （V）	电磁力矩　Nm(kgf·cm)		衔铁重量力矩 Nm(kgf·cm)	回转角度 (°)	额定回转角度 F、制动杠杆的位移 (mm)
		FC　40%	FC　100%			
MZD1－100	220,380,500	5.39(55)	2.9(30)	0.49(5)	7.5	3.0
MZD1－200	220,380,500	39.2(400)	19.6(200)	3.528(36)	5.5	3.8
MZD1－300	220,380,500	98(1000)	39.2(400)	9.016(92)	5.5	4.4

注：表内 FC 为重复短时工作制的持续率

表 8.1.3－42　**TJ2 型交流短行程制动器规格和技术数据**

型　号	配用制动电磁铁型号	制动轮直径(mm)	制动瓦宽度(mm)	制动力矩 Nm(kgf·mm)	
				FC　40%	FC　100%
TJ2－100	MZD1－100	100	70	19.6 (2)	9.8 (1)
TJ2－200/100	MZD1－100	200	90	39.2(4)	19.6(2)
TJ2－200	MZD1－200	200	90	156.8(16)	78.4(8)
TJ2－300/200	MZD1－200	300	140	235.2(24)	117.6(12)
TJ2－300	MZD1－300	300	140	490(50)	196(20)

2）交流短行程电磁制动器结构，见图 8.1.3－16。

3）制动器的调整和检修

①调整前注意检查铰链部分是否转动灵活，所有构件是否正常运行，闸瓦是否紧包在制动轮上，闸瓦和制动轮的工作面是否处于良好状态，闸瓦移动距离是否正常等。

②调整衔铁离开电磁铁的距离，可用方杆 15 上的推杆 16 的旋转，将衔铁行程调准到规定值为止，同时应把调整螺母固定。

③制动力矩的调整：可通过主弹簧来进行。保证主弹簧足够的作用力，是根据制动力矩、电流种类和采用的磁铁尺寸而定。故弹簧 8 的规定长度应当精确地保持说明书规定的 L 值。调整方法是：用扳手握住弹簧螺母 10，转动方杆 15 上的推杆 16 来得到，在调准规定的主弹簧长度后，必须上紧螺母 10。

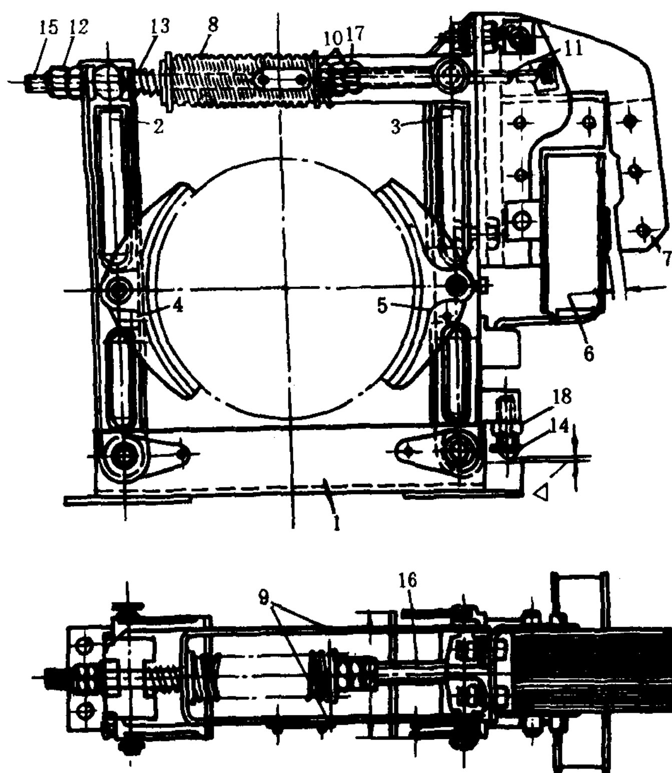


图 8.1.3－16　短行程制动器结构图

1－底座；2、3－制动杠杆；4、5－闸瓦；6－电磁铁；7－衔铁；8－主弹簧；9－U 形弯板；10－弹簧螺母；11－推杆；12－螺母；13－弹簧；14－调整螺钉；15－方杆；16－推杆；17－螺母；18－防松螺母

④闸瓦均匀松紧的调整：首先使螺母 17 压紧到杠杆 3 上和用扳手握住螺母 17，再旋转方杆 15 上的推杆 16，拨开杠杆到达推杆的行程数值。然后用调整螺钉 14 来调准制动轮和闸瓦衬垫间的相同间隙。调好间隙后用防松螺母 18 固定调整螺钉 14，并将螺母 17 再压到弹簧螺母 10 上。当制动器合闸进行制动时，应调整螺钉 14 的端部，根据说明书规定标准间隙的距离离开支座，并用塞尺检查两闸瓦间隙是否相等。

当制动块衬垫磨损超过最初厚度的 50％时，必须更换新衬垫。

12.1.1.2　直流圆盘式电磁制动器

1）结构原理　图 8.1.3－17 所示为 ZYZ 型直流圆盘式电磁制动器结构图。制动器和电动机连成一体，电磁铁由铁心及励磁绕组组成，励磁绕组采用高强度树脂漆包线绕成圆筒形。铁心由 A_3 钢制成，制动件是由摩擦片与制动片用铆钉或胶结成一体。制动片采用铝合金铸成，摩擦片采用石棉纤维压制而成。

电磁制动器与电动机同时动作，当制动器接通电源时立即将衔铁吸上，使电磁铁内弹簧压缩，从而制动件与衔铁和端盖脱开，制动件随带齿轴套与转子一起转动。切断电动机电源，电磁制动器同时断电，电磁铁失磁，弹簧立即推动衔铁压紧制动件产生摩擦力矩，将电动机立即刹住。

制动器经长期使用后，制动件受到磨损，引起气隙增大和弹簧工作长度增加。气隙增大使气隙磁感应强度显著减弱，严重时可能使衔铁吸不上。弹簧工作长度增长，会使制动压力下降。故需经常检查制动器的工作气隙，及时加以调整。

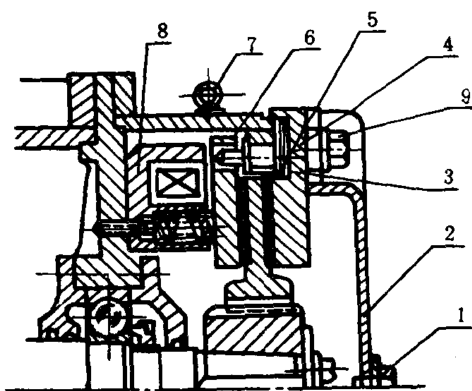


图 8.1.3-17 ZYZ 型直流圆盘式电磁制动器结构图

1—螺钉；2—铝端盖；3—垫片；4—内端盖；5—制动件；6—衔铁；7—吊攀螺钉；8—电磁铁；9—人工释放螺钉

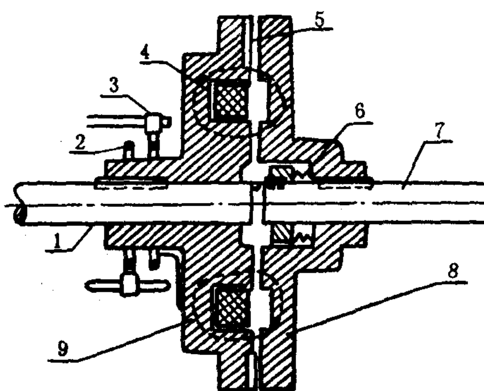


图 8.1.3—18 电磁离合器结构图

2)ZYZ 型电磁制动器气隙的调整　衔铁和电磁铁之间的气隙一般为 0.6～2mm，在调整气隙前，先将吊攀螺钉 7 取下，用厚薄测量片测定其气隙。可按下列步骤进行调整：

①取下铝端盖 2；

②用扳手慢慢松下人工释放螺钉 9；

③取下内端盖 4；

④ 根据气隙增大值取下相应的垫片(每片厚度为 0.5mm)，使调整后的气隙控制在 1mm 左右为宜；

⑤最后将零部件全部装好，重新测定气隙，使气隙保证在上述范围内。

12.1.2 电磁离合器

依靠电磁吸力，造成两受压表面间的摩擦力使转轴连接、传递扭矩的一种装置，称为电磁离合器。

图 8.1.3—18 为其结构图。吸引线圈 4 未通直流电流前，电动机带动轴 7 旋转，工作机械轴 1 停止不动。当吸引线圈 4 经过电刷 3 及滑环 2 通电时，磁通经静铁心和动铁心闭合而产生吸力，由于动铁心 8 用滑键与转轴连接，可以沿轴向移动，所以动铁心被吸向静铁心 9，借用摩擦力使静铁心和工作机械轴 1 随轴 7 旋转。

为了增大动、静铁心间的摩擦力，在静铁心上装有摩擦带 5，它是用摩擦系数较大和不易磨损的材料(如铸铁或亚铁合金等)制成。

当切断吸引线圈的直流电源时，弹簧 6 使动铁心恢复至原位，工作机械轴 1 停止不动。

12.1.3 磁粉离合器

12.1.3.1 特点及应用

1)转矩控制范围宽，控制精度高，用作比例控制元件具有良好的转矩特性；

2)具有平稳的连结特性、良好的滑差特性和稳定的转矩；

3)无响应时间短，响应迅速；

4)断开励磁电流时的剩余转矩非常小，故断开性能好，空转时没有发热现象；

5)磁粉具有良好的耐热性，耐磨性和耐氧化性，因而寿命长，工作可靠；

6)结构简单，易于安装维修。

由于具有上述优良特性，故用途很广：可作离、合之用；可用以起动控制、张力控制、转矩控

制；用作控制位置或控制速度的伺服机构；也可用作制动器。它不但用于造船、纺织、机械和造纸等一般工业，而且用于要求高频率、高精度和快速控制的电子计算机，电动打字机、磁带传动装置、数字控制机床和要求高灵敏度的卫星机构以及各种导弹控制系统等领域。

12.1.3.2　磁粉离合器的类型

磁粉离合器可分为一般工业用、高速工业用和高频率用三种。一般工业用的磁粉离合器分为下列几种：按馈电方式可分为线圈静止式和线圈旋转式；按工作间隙部分的结构型式可分为圆柱型、圆筒型（杯型）和圆板型（圆盘型）三种，如图 8.1.3－19 所示。线圈静止式是指励磁线圈与主动转子分开的一种型式，其结构如图 8.1.3－20 所示。线圈旋转式结构是励磁线圈和主动转子做成一个整体，如图 8.1.3－21 所示，在其输入端的一侧装有滑环便于通电。

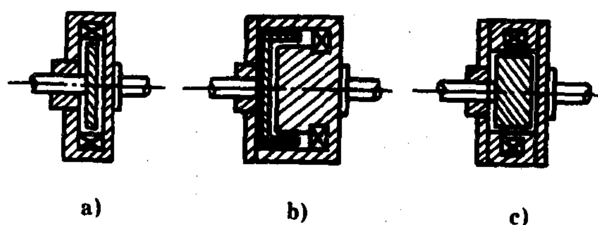


图 8.1.3－19　磁粉离合器典型结构图
a）圆柱型；b）圆筒型；c）圆板型

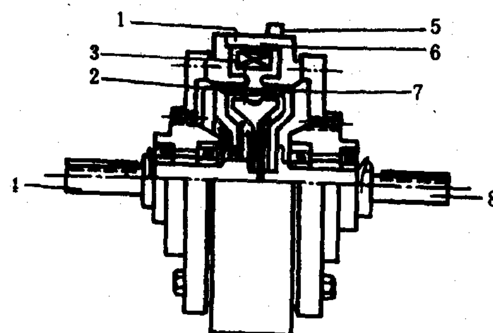


图 8.1.3－20　线圈静止式磁粉离合器结构图
1－定子；2－风扇；3－从动转子；4－从动轴；5－接线柱；6－线圈；7－主动转子；8－主动轴

12.1.3.3　磁粉离合器的工作原理

线圈静止式磁粉离合器主要由内装线圈的定子、与主动轴联结的主动转子和与从动轴联结的从动转子构成，在主动转子和从动转子间的间隙（工作间隙）里装入磁性粉末，如图 8.1.3－22所示。

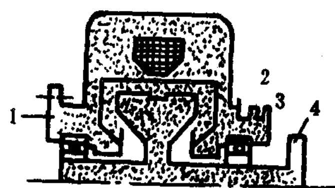


图 8.1.3－21　线圈旋转式磁粉离合器结构图
1－输入端；2－磁粉；3－滑环；4－输出端

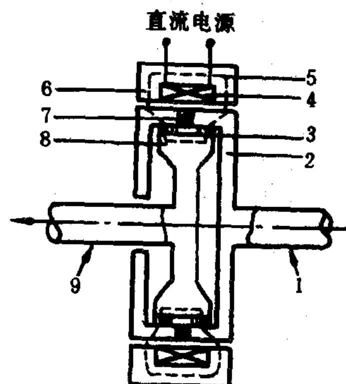


图 8.1.3－22　线圈静止式磁粉离合器工作原理图
1－主动轴；2－主动转子；3－磁粉；4－线圈；5－磁通路径；6－定子；7－隔磁环；8－从动转子；9－从动轴

当离合器的线圈未通电时，无磁通产生，磁粉呈自由状态。在主动转子旋转时，由于离心力的作用，磁粉被压向主动转子内壁，磁粉与从动转子间产生间隙，离合器几乎不产生空转转矩，因而也几乎不产生摩擦热。当线圈通电时，在离合器铁磁壳体内建立磁通，并通过工作间隙构

成回路。磁通通过工作间隙时,使每颗磁粉微粒处于磁化状态,它便和邻近的磁粉粒子互相吸引,于是构成横过工作间隙的磁粉链。在磁粉链中,每颗磁粉粒子与邻近磁粉粒子相互挤压,产生一个法向力,在滑差或相对运动状态时,该法向力产生相应的剪切力,其合成的总剪切力的作用方向,与离合器主动转子转动的方向相同。由于这磁粉间的剪切力及主动转子、从动转子和磁粉的摩擦等,使主动转子能带动从动转子转动而实现转矩的传递。

12.1.4 电磁转差离合器

电磁转差离合器又名电磁滑差离合器,它是电磁调速异步电动机的一个组件。它装在异步电动机与生产机械之间,改变电磁转差离合器的励磁电流,就可改变离合器的从动部分对主动部分的滑差,从而使从动轴获得不同的转速。

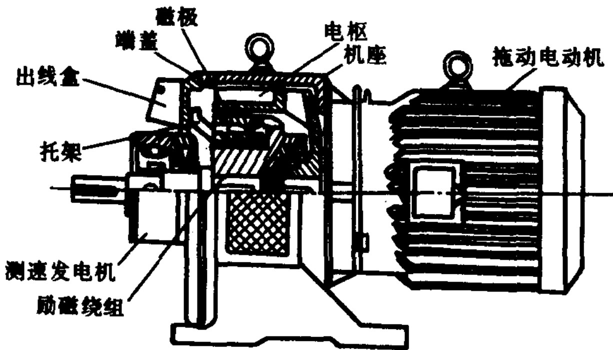


图 8.1.3—23 组合式结构电磁调速异步电动机

电磁转差离合器可以做到无级调速,而且调速范围大,广泛地应用于船舶、纺织、起重和机床等工业上。JZT 系列电磁调速异步电动机,可在 120～1200r/min 范围内连续调速,容量为 0.6kW 至 100kW。

12.1.4.1 电磁转差离合器结构

电磁调速异步电动机的传统结构为组合式,即将拖动电动机的凸缘端盖与电磁转差离合器机座合装成为一整体,如图 8.1.3—23 所示。其主要部件包括电枢、磁极和励磁绕组等,如图 8.1.3—24 所示。

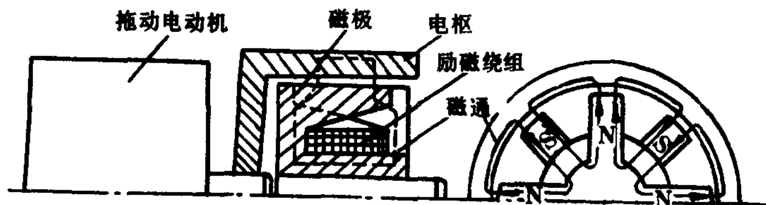


图 8.1.3—24 电磁转差离合器的磁路

1)电枢 电枢由铸钢做成的圆筒形结构,固定在电动机轴上,随着拖动电动机一同旋转。

2)磁极 磁极有爪形结构和凸极结构两种。爪极式磁极一般适用于 100kW 以下的离合器;凸极式磁极性能好,但构造复杂,励磁绕组用铜量大,多用于大功率离合器。磁极转子与被拖动的生产机械直接连接。

3)励磁绕组 当励磁绕组通入直流电流时,周围就产生磁场,因而转差离合器就形成了具有许多 N 极和 S 极的结构。

12.1.4.2 工作原理

当磁极励磁绕组通入直流电后,所产生的磁通经磁极→气隙→电枢→气隙→磁极而闭合。当电动机运转时,离合器电枢随着一起旋转,电枢与磁极间产生相对运动,因而切割磁通产生感应电动势。感应电动势在电枢铁心中产生涡流,涡流又与磁极磁场 相互作用而产生电磁力和电磁转矩,使离合器的磁极转子带动生产机械顺着电枢 转向转起来。

励磁电流越大,磁场越强,电枢感应电动势和电流就越大,电磁转矩也越大,所以转速也越高;反之,励磁电流越小,则转速就越低。故通过控制装置改变励磁绕组中电流的大小,就可改

变从动轴输出转速的高低。

12.1.4.3 特点

1)转速平滑,可进行无级调速;

2)调速范围广,低、高转速比可达 1∶10;

3)结构简单,运行可靠,维护方便,控制功率小;

4)缺点是低速时效率低,这时涡流损耗大,故不宜用于长期处于低速旋转的机械。

12.2 铁磁元件——磁放大器

12.2.1 概述

带有磁性铁心的电抗线圈和变压器,总称为铁磁元件。

在自动控制系统中广泛应用的铁磁元件有:饱和电抗器、磁放大器、无触点磁继电器、铁磁谐振稳压器和差动变压器等。

作为放大元件,磁放大器的特点:

1)无转动或运动部分,不怕振动,不受温度影响,抗干扰能力强,可靠性高;

2)过载能力强和使用寿命长;

3)有较大的放大系数和较小的失灵度(单元件功率放大倍数达 10^4～10^6);

4)构造简单,使用维修方便。

磁放大器的主要缺点:

1)在放大器系数较高的情况下,电磁时间常数较长,即快速性较差;

2) 尺寸较大。

磁放大器的应用范围很广泛。可用于自动调节系统,如对发电机的电压、频率调节,对电动机的转速调节,对热工装置的温度调节;也被用于自动测量与检查系统,如测量并放大光电流,热电动势等弱信号,此外。同步随动系统、继电保护系统以及通信系统都有采用。它在船舶上的应用包括:起货机和锚机的控制系统、自动操舵系统、船舶发电站自动调压系统及主机遥控放大系统等。此外,磁放大器还可以组成各种无触点元件,实现系统的逻辑控制。

按线路原理分类,磁放大器可分为:

1)简单磁放大器——最基本的交直流磁化磁路;

2)外反馈磁放大器——带有附加的反馈绕组;

3)自饱和(即内反馈)磁放大器——交流绕组电路内接有半波整流器,其特点是铁心只受单方向半波励磁,利用工作绕组自己饱和的原理;

4)快速磁放大器——它动作反应快,一般在 1～2 个半波内。

按输出特性,磁放大器可分为:

1)单拍式磁放大器——具有不可逆的输出特性,不管输入信号的极性如何,输出特性的极性不变;

2)双拍式磁放大器——具有可逆的输出特性,即输入信号的极性改变时,输出信号的极性也随之改变。

12.2.2 工作原理

1)单铁心磁放大器(饱和电抗器)如图 8.1.3—25 所示。其铁心上绕有:①交流绕组,它与负载电阻串联后接到交流电源上,又称工作绕组;②直流绕组,通直流电,用来改变铁心中磁的饱和程度,起控制作用,又称控制绕组。交流绕组中产生的电流,由公式:

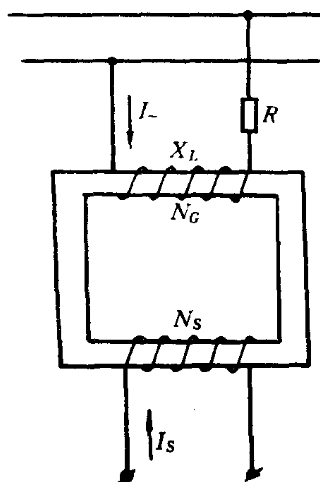


图 8.1.3—25 单铁心磁放大器

$$I_{\sim}=\frac{U_{\sim}}{\sqrt{R^2+(\omega L)^2}} \tag{8.1.3-6}$$

决定，而绕组中电感：

$$L=\mu\frac{N^2S}{l} \tag{8.1.3-7}$$

式中：S——铁心截面积，cm^2

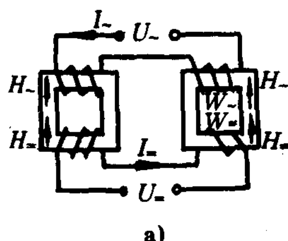
l——铁心磁通的平均长度，cm；

N——绕组匝数；

μ——铁心导磁率，等于$\frac{dB}{dH}$。

由于μ值随磁场强度H的增大而减少，故当增加控制绕组中直流电时，μ值也随之减小，电感L值也减小。由式可知交流电流相应随之增加。因此在直流绕组中，较小的控制信号的变化，即能控制交流绕组中负载电流作较大的变化，这就是简单磁放大器的放大原理。

2)双铁心(单相)磁放大器单铁心磁放大器实际上不能工作，因铁心中的交变磁通也使控制绕组感应出交变电动势，它在控制回路产生交变电流，使感抗和控制电流的关系发生畸变，从而破坏磁放大器的工作。实用上做成双铁心式，如图 8.1.3—26a)所示由图可知，两控制绕组反向串联，它们各自由交变磁通所感应的电动势大小相等、方向相反，基本上能互相抵消，从而克服上述缺点。但这时对每个控制绕组来说，还存在着较高的感应电动势。为此改用如b)图所示结构，即以一个公共的控制绕组装在两个铁心上来代替。这时绕组的端接点上就不存在感应电动势。一般用三柱铁心来代替两个二柱铁心，而将控制绕组安放在中柱，可得到同样结果。



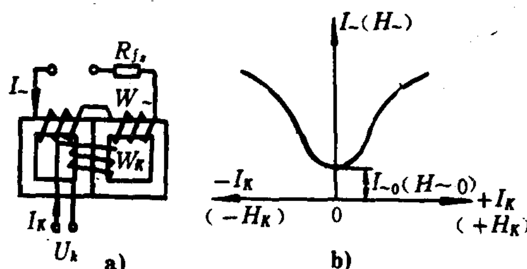


图 8.1.3—26 双铁心磁放大器　　图 8.1.3—27 单拍磁放大器

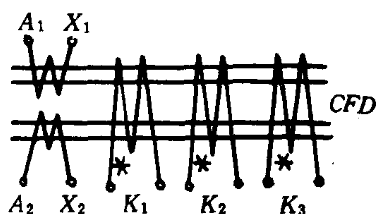


图 8.1.3—28 磁放大器图形符号

图 8.1.3—27a)为单拍磁放大器，图 b)所示曲线表示$U_{\sim}$为常数，负载中通过的电流$I_{\sim}$与控制电流I_k的关系。它具有对称性，当$I_k=0$时，负载中通过空载电流$I_{\sim 0}$。

为使磁放大器能反映多个控制信号，直流绕组可以做成多个同时套在铁心上。为了便于绘图，这时在控制线路中可采用如图 8.1.3—28 所示的图形符号。

3)带反馈的磁放大器　磁放大器控制绕组具有电感，故当有控制信号输入时，要过一定时间后才产生输出信号。虽然延时时间只有十分之几秒，但在许多自动装置中是不能允许的。

在磁放大器中引入正反馈，就可缩短延时时间。正反馈就是将输出电流的变化以相同的相位送回到输入端。这样，控制信号的作用被放大，工作电流不仅因控制电流的变化而变，同时随着本身的变化而变动。因此工作电流的变化比只有一个控制电流作用时要快、要强烈得多。它的延时仅是不带正反馈的磁放大器的百分之一。

产生磁放大器的正反馈有外反馈和内反馈两种方法。外反馈是由一个专门的反馈绕组产生;内反馈是利用每个交流绕组本身通过半导体整流器而产生。具有外反馈和内反馈的磁放大器线路分别如图 8.1.3—29 和图 8.1.3—30 所示。

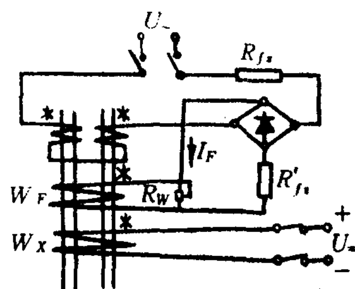


图 8.1.3—29 外反馈磁放大器线路图

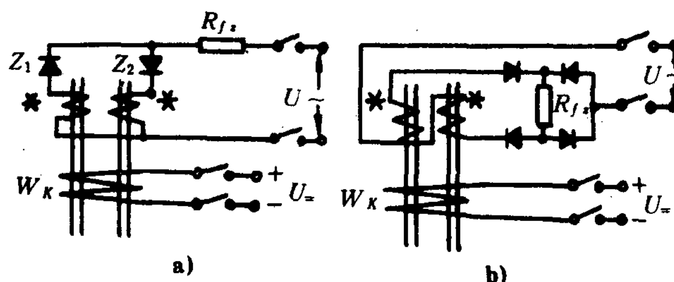


图 8.1.3—30 内反馈磁放大器线路图

a)用于交流输出;b)用于直流输出

4)双拍(推挽)磁放大器　单拍磁放大器存在两个问题:①当没有控制信号时,在负载上始终产生空载电流 $I_{\sim 0}$,增加空载损耗;②改变控制信号极性时,负载电流 I_{fz}的方向不会改变,即输出不能反映控制信号的极性。双拍磁放大器能解决上述缺点。图 8.1.3—31 所示为交流输出没有反馈的双拍磁放大器线路。图中 W_P 为偏移绕组,通过半导体整流器接到交流电源上。由图可知,两个单拍磁放大器的交流绕组电流 I_1、I_2 通过负载电阻 R_{fz}时极性是相反的,在任一瞬间,其电流都是大小相等、方向相反,即 $i_{fz}=i_1-i_2=0$。因而不能应用,为达到有一个控制信号输入,就有一个相应极性的输出,就必须加上偏移绕组(位移绕组)。两偏移绕组 W_P 的极性相反,从而使磁放大器的控制特性向不同方向偏移,如图 8.1.3—32 所示。结果负载电流 I_{fz}与控制电流 I_K 的关系是一条通过坐标原点的对称曲线,因而能消除空载电流,以及在控制电流 I_K 的极性变化时,负载电流的相位也转变 180°,即能反映极性的变化。

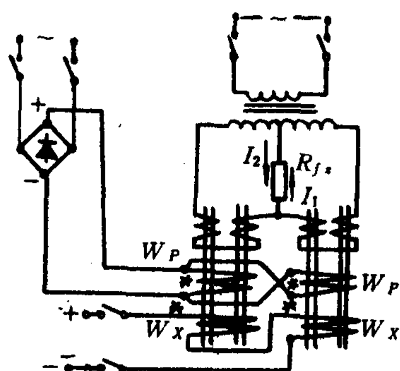


图 8.1.3—31 交流输出双拍磁放大器线路图

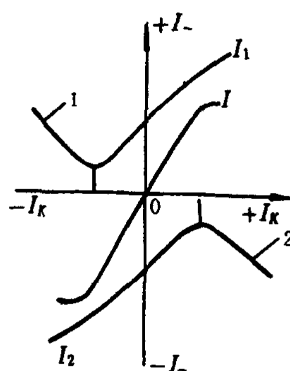


图 8.1.3—32 双拍磁放大器合成控制特性

12.3 光电元件——光敏电阻

光电元件具有结构轻巧、装置简单、调节容易、寿命长、易于检查维护等优点。它包括光敏电阻(又叫光导管)、光电二极管、光电三相管和光电池等。

光敏电阻是由铊、镉、铝、铋的硒化物构成的光电器件,其结构和符号如图 8.1.3—33 所示。当光线照射到光敏电阻上时,它的阻值就发生变化。光线愈强,阻值愈小。且阻值的变化

还与光的波长有关。为防止周围介质的影响，光敏层上覆盖一层透明的漆膜。

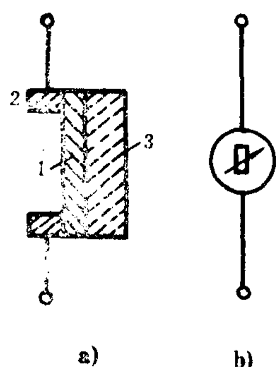


图 8.1.3－33　光敏电阻

a)结构；b)符号

1－光敏层；2－金属电极；3－透明底板

光敏电阻有许多用途：如照明、灯塔、航标灯等的自动控制；船舶辅助锅炉点火控制；货物计数控制；特别是用于毫秒级记数和弱照度下的自动控制。

12.4　热电元件——热(敏)电阻

热电元件可分为热电偶和热电阻两种。热电偶是一种温度变送器，它将热能转变为电动势。工业用热电偶，通常和显示仪表配合，直接测量各种生产过程中，0～1800℃范围的液体内、蒸汽、气体介质和固体表面等的温度。热电阻则是将温度的变化转换为电阻的变化。热电阻还可以作为非线性电阻用来制作稳压器、继电器等。

由电阻与温度有关的材料(金属或半导体)制成的电阻叫热电阻(或叫热效应灵敏电阻)。金属和半导体的热电阻特性各不相同。

1)金属热电阻　由纯金属铜、铁、镍和铂等制成，其温度系数 α 为 $(3.7～6.5)\times10^{-3}$。当温度升高时，其阻值随之成线性关系增大，用来测量从－120℃(或更低)到＋500℃间的温度。例如铂热电阻测量自－200～＋500℃；铜热电阻测量自－50℃～＋100℃的范围。

2)半导体热电阻　又称热敏电阻，由金属氧化物(如氧化铜、氧化镍等)制成，也可由这些金属的硫化物、氮化物或碳化物制成。将粉状氧化物压缩或加热凝固，有时再加铜的粉末。这种半导体的电阻系数将随其组成的成分而不同，但总是大于金属的电阻，并可能超过金属电阻系数的 $10^{10}～10^{12}$ 倍。当温度升高时，半导体电阻阻值反而减小，它具有负的电阻温度系数，即 α 值随温度的升高而减小。半导体比其它材料的热电阻对温度变化的灵敏度高得多，比金属大6～[illegible]倍，它的时间常数随结构不同，可能从几分之一秒变化到几十秒。其伏安特性是非线性曲线，随着电流的增加，在热电阻上的电压降先是上升，而后由于电流的增加及电阻减小，电压降重新下降，因此有一段下降的伏安特性。

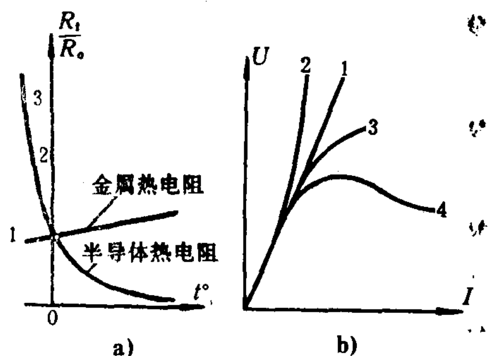


图 8.1.3－34　热电阻特性

1－与温度无关的伏安特性；2－金属热电阻的伏安特性；3、4－半导体热电阻的伏安特性

半导体热电阻可做成很小的枢轴型式、薄片型或小珠球型，一般将它置于充以惰性气体的玻璃泡中。

图 8.1.4－34　所示为金属热电阻和半导体热电阻的特性曲线。当温度变化时，金属和半导体的电阻变化情况如图 a)所示。其伏安特性曲线如图 b)所示。曲线 3 比曲线 4 的热电阻具有较小的负温度系数或是散热性好。

热电阻应用举例

1)变送器　可作为构成电阻式温度计。金属制成的电阻温度计由直径约为 0.1mm 的铜、镍、铂的导线绕于云母、瓷或石英骨架上。半导体电阻温度计的稳定性较低，但其灵敏度很高，可检查出千分之几度的温度值。

热电阻作为变送器还可应用于自动化技术中，用来测量各种非电量。

2)稳压器　应用热电阻伏安特性的非线性的性能，可制成稳压器、专供稳压用的热电阻，

又叫热镇流器。当外加电压在某一范围内上升时，它的金属丝被烧热，阻值增加，但电流增加很少，其变化不超过4%～10%，热镇流器与负载电阻R_{fz}串联后成为稳压器。当输入电压变化时，由负载电阻R_{fz}两端输出的电压基本不变。

13 船用特种装置

13.1 消磁装置

13.1.1 概述

现代舰船大多是由钢质材料建造的，它在地球磁场及舰船本身磁场作用下，好象一块巨大的浮动磁体。为了提高舰船的磁性防护能力，必须采取舰船消磁措施。

主要采取三种消磁方法：临时线圈，固定线圈和联合消磁法。舰船经过消磁处理处于低磁状态，能减少舰船遭受磁性鱼雷、水雷的威胁，提高舰船进出基地、港口和在战区活动的安全性。潜艇经过消磁处理，还能防止空中磁性探测，从而增强隐蔽性，提高生命力和战斗力。

13.1.2 舰船磁性磁常

钢质舰船在地磁的磁化作用下形成磁体而呈现磁性；此外主辅机、锅炉等设备在地磁作用下也要形成磁体而呈现磁性。它们所产生的总磁场，叫做舰船磁性磁场。舰船航行在低磁纬度区域时舰船磁性磁场较弱，而随着纬度的增高，舰船磁性磁场逐渐增强。舰船磁性磁场包括舰船固定磁性和感应磁性。

舰船固定磁性形成原因较复杂。包括：造船钢板本身具有的磁性；主辅机、舾装设备等也具有磁性。在建造过程中，经过加工、处理、安装，长期处在地磁作用下，因而形成舰船固定磁性，它是由舰船剩余磁性所产生的。

由地磁感应而产生的磁性称为舰船感应磁性。其大小和方向，是随舰船航行纬度区域和舰船航向而定。

13.1.3 舰船消磁目的和方法

舰船消磁是对舰船磁性磁场进行抵消和补偿的统称。抵消：是指舰船磁场通过强大的电流进行磁性处理，从某种初始状态变化到另一种预期状态或接近于零状态。补偿：是指对舰船磁场进行中和的措施，可在舰船上安装消磁线圈产生磁场进行中和；也可通过临时线圈磁性处理产生固定磁场进行中和。舰船消磁通常采用下列方法：

1)临时线圈消磁法　是在舰船周围临时缠绕线圈，通以强大的电流来改变舰船固定磁性的消磁方法。消磁完毕，临时缠绕的线圈也随之拆除。也可将舰船驶入敷有消磁线圈的空间设备进行消磁处理。

2)固定线圈消磁法　是在舰船上固定安装消磁线圈，通以直流电，对舰船磁性磁场进行补偿的消磁方法。它不仅可补偿舰船磁性磁场的固定部分，还可补偿其随航向和纬度而变化的部分。

3)联合消磁法　是将临时线圈消磁法和固定线圈消磁法两者相结合的方法。它的特点是利用临时线圈消磁法抵消舰船固定磁性磁场；利用固定线圈消磁法补偿舰船感应磁性磁场。

13.2 船体阴极保护装置

13.2.1 钢质船体的腐蚀

腐蚀是金属与其周围介质发生化学、生物化学或电化学的作用时自行产生的破坏。金属在高温浸蚀性气体作用下，金属与不导电的有机介质接触时产生的破坏属于化学腐蚀；利用金属作为生活介质或以自己生命活动产物来破坏金属的各种微生物的作用是属于生物化学腐蚀；在大气中，金属表面上可能凝聚着湿气（大气腐蚀），在土壤中（土壤腐蚀）以及在任何盐、酸及其它水溶液中（电解质中腐蚀）均产生电化学腐蚀。

钢质船体所产生的腐蚀，可包括：

1）电化学腐蚀　浸在海水中的船体部件，多为铜、铸钢和不锈钢的，它们的电位是不同的。两种不同电位的金属置于同一电解质溶液中，阳极会向阴极放出电子，因而造成腐蚀。共次钢是一种碳素合金，其晶体结构不一样，因而在水中各部位也会产生不同的电极电位而形成电化学腐蚀；

2）海生物造成的腐蚀　贻贝、苔藓等附着物使船壳外板部分地与水隔开，个别地方难于与氧气接触而产生差异充气电池，引起附着物下面金属的强烈腐蚀；

3）异种成分钢板造成的腐蚀；

4）杂散电流造成的腐蚀　船舶停靠水域内有杂散电流作用，如电焊时采用单线供电线路时，会引起船体外板严重腐蚀；

5）船体内部结构的腐蚀；

6）油船油舱腐蚀；

7）船舷及甲板腐蚀；

8）其它结构及装置的腐蚀　包括舵装置和导流罩的腐蚀等。

13.2.2　钢质船体阴极保护

钢质船体的防护方法有牺牲阳极的阴极保护法、船体外加电流阴极保护法、杂散电流腐蚀的防护及涂料层防护等。

12.2.2.1　牺牲阳极的阴极保护法（又称可溶性阳极阴极保护法）

处于海水中的船体（阳极）会遭到腐蚀，而作为阴极则不受腐蚀或较小腐蚀。可以人为地制造阳极安装在船体上，以代替船体受到腐蚀，而使船体成为阴极受到保护。

用作阳极的金属有锌基合金、铝基合金和镁基合金等。

1）锌基合金阳极　在锌中加入铝和镉（俗称三元锌 ZAC），则防腐效果较好，现普遍应用。安装在船体上的方法有两种：

①焊接法——将三元锌用铁脚焊在外板上；

②螺钉固定法——用埋头螺钉将三元锌合金阳极固定在外板上。此法常适合铝合金船壳，安装结构见图 8.1.3－35 所示。安装注意事项：安装前，三元锌合金背面要涂一层油漆。这是为了防止阳极遭受腐蚀后脱落，也避免阳极背面起作用。安装后，阳极表面严禁涂漆或沾污。

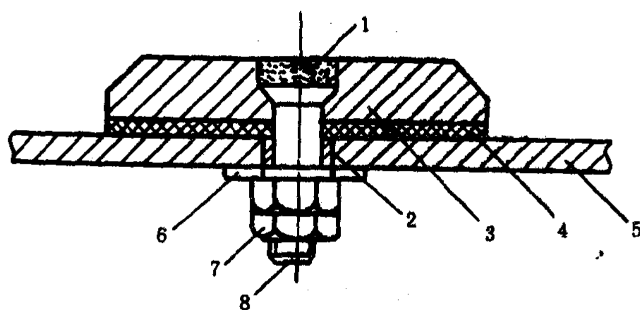


图 8.1.3－35　三元锌合金阳极螺钉固定法

1－密封填料；2－绝缘套筒；3－阳极；4－橡胶垫片；5－外板；6－垫片；7－螺母；8－螺钉

进坞或上排后，应对牺牲阳极进行检查，如剩余量已不够下一周期使用，应更换 。

2）铝基合金阳极（AZIC）铝合金阳极作为船壳水线以下防护外，还可作为油船和货船的压载舱防护，但油舱内严禁使用镁合金。

12.2.2.2 船舶外加电流阴极保护法

1）主要优点：它有效地保护船体及其附属装置，减缓腐蚀，一般可延长进坞间隔 2～3 年；提高船舶使用寿命和在航率，增加营运收入；节约修理费，投资减少，其费用只有牺牲阳极和阴极保护法的 1/3～1/2。

2）原理：与前者相同，只是采用手段不同。它是用一种不溶性电极作为辅助阳极，在阳极→电介质→船体外壳（阴极）组成的回路内加上直流电，使船体的腐蚀电流近于零而得到保护。

3）设备：

①阳极　作为阳极材料有石墨、高硅铸铁、低碳钢、铝银合金、铝铂丝合金和铂钛合金等。阳极形状可做成圆盘状和长条状。阳极安装时必须与船壳绝缘。

②阳极屏蔽层　阳极附近的电流密度很高而较远处偏低，因而引起过保护和欠保护。过保护处易使普通船底漆破坏，故必须在阳极周围一定范围内涂刷专用屏蔽涂料（阳极保护漆），这种漆要求牢度好，粘结力强，能耐海水和碱性。

③自动供电电源　供电电源是低压大电流直流电，采用将船舶交流电变为 16～24V 的半导体硅整流器设备；还有自动调节输出定值电流的自动调整装置。

④参考电极　参考电极用于船体水下部分的电位测量，是作为阴极保护自动系统的发送器。同时还作为自控恒压电位仪的信号源，通过它使自动 调节装置能自动调节保护电流的大小，目前广泛采用氯化银电极。

⑤接触电刷装置　要使推进器和舵得到阴极保护，必须在尾轴上加装铜环和金属电刷，电刷接船壳，保护电流传到推进器上。在舵柱上用扁铜编带线与船壳连起来，其另一端与船壳相联。

参考文献

[1] 上海航道局编：《船舶电工手册》，上海人民出版社，1975 年

[2] 上海电器科学研究所主编：《电机工程手册第 30 篇低压电器》，机械工业出版社，1980年

[3] 许昌继电器研究所主编：《电机工程手册第 31 篇继电器与保护装置》，机械工业出版社，1979 年

[4] 电工手册编写组编：《电工手 册》，上海科学技术出版社，1980 年

[5] 船舶电气设备编写组编：《船舶电气设备手册》，中国人民解放军南字 814 部队出版，1971 年

[6] 福州大学张冠生主编：《电器学》，机械工业出版社，1982 年

[7] 武汉河运专科学校易让等编：《自动控制元件与系统》，人民交通出版社，1980 年

[8] 武汉河运专科学校等四校船电教材编写组编：《船舶电气设备》，人民交通出版社，1980 年

[9] 周玉新等编：《机电产品学》（电工产品） 物资出版社 ，1984 年

[10] 社志瀛编：《船舶消磁》，国防工业出版社，1983 年

[11] 顾纪清编：《中小型船舶维护与修理》，金盾出版社，1985 年

第2篇 计算机基础

第1章 概 述

1 电子计算机

1.1 电子计算机的类型

电子计算机是一种能自动、高速、精确地进行信息处理的现代化电子设备。它能通过对输入数据进行指定的数值运算和逻辑判断来求解各种问题，也能通过对信息加工来解决各种数据处理问题，当它与一定的机电设备相结合时，可实现对生产过程的实时控制。

按电子计算机所处理的信息形式可分为：以处理数字信息量为主的电子数字计算机，以处理模拟信息量为主的电子模拟计算机，以及这二者相结合的电子模拟数字计算机。

电子数字计算机由于计算精度高，运算速度快，自动化程度高，通用性强等优点而获得广泛的应用。

1.2 电子数字计算机的基本组成

电子数字计算机一般由运算器，控制器，存贮器和输入输出接口等组成。图 8.2.1—1 即为其组成框图。

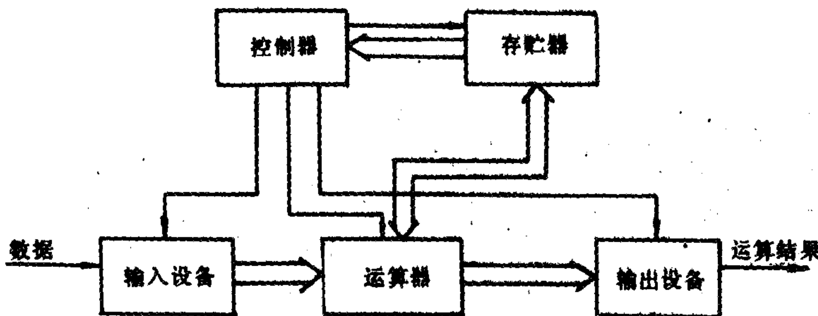


图 8.2.1—1 电子数字计算机的组成框图

除上述部件外，还有沟通这些部件间和外部设备的通道，电源装置，控制台等。这些部件均由电子元器件和机械部件组成，统称硬件。

1.3 电子数字计算机的基本原理

要完成一项计算工作，除具有硬件外，还必须有相应的软件相配合。

首先按所计算的问题确定计算方法，编制计算步骤，并用某种程序语言书写成解题程序，此即为编制程序工作。在编制程序过程中，所使用的程序设计语言，用程序设计语言书写的解题程序，用来翻译成机器语言的翻译程序，以及用机器语言所写的程序，均称软件。

解题时，用机器语言书写的程序以某种方式通过输入设备送入计算机中，并存入存贮器

内。启动计算机，则计算机在控制器控制下，按程序完成所规定的动作，计算出问题的解，最后通过输出设备送出计算结果。这种程序存贮和程序控制方式即为电子数字计算机的基本工作原理。

1.4 电子数字计算机的类型

1.4.1 电子数字计算机按设计目的的分类

1.4.1.1 通用型电子数字计算机

可用来计算各种各样问题，如科学技术计算，数据处理，工业控制等方面均可使用。这种计算机通常可根据计算问题的不同，对所存贮的程序进行修改。

1.4.1.2 专用型电子数字计算机

专门用来求解某一类特殊的问题。大多数根据固定的程序工作，程序无法改变。由于解题范围固定，故其结构简单，体积小。

1.4.2 电子数字计算机按其结构和规模的分类。

分为巨型机，大型机，中型机，小型机及微型机。

2 微型计算机

微型计算机是以微处理器为中心的计算机。在开创时，由于体积小，存贮容量小，运算字位短，运算速度低。随着半导体集成电路工艺水平的发展，这种微型计算在上述方面均已超过一般中小型计算机，成为当前电子数字计算机发展的重要方向之一。

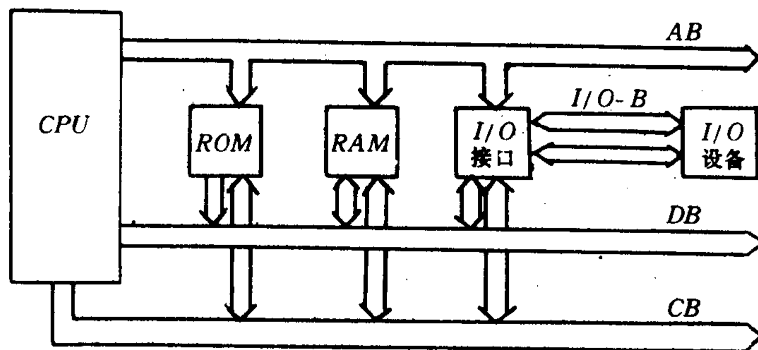


图 8.2.1-2 微型计算机的组成框图

2.1 微型计算机的基本组成

微型计算机一般采用总线结构。

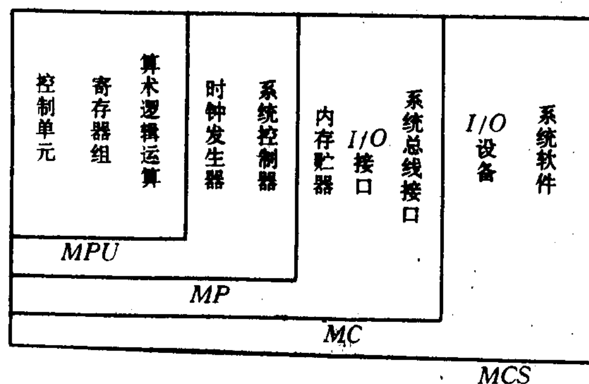


图 8.2.1-3 微处理器，微型计算机和微型计算机系统

图中，CPU 为中央处理器，内中包括运算器和控制器。ROM 和 RAM 均为存贮器，前者为只读存贮器，后者为随机存取存贮器。I/O 为输入输出接口，AB 为地址总线，DB 为数据总线，CB 为控制总线，I/O－B 为输入输出总线。

总线是微处理器，存贮器，输入输出接口之间交换信息的通路。采用总线结构，可按需要灵活地组成各种实用的微型计算机和微型计算机系统。

微处理器，微型计算机，微型计算机系统之间的关系如图 8.2.1—3 所示：

若把微处理器，存贮器，输入输出接口电路及总线焊接在一块印刷电路板上，即称为单板微型计算机，如 Z—80 单板机。

若利用大规模集成电路工艺，将微处理器，存贮器，输入输出接口等集成在一块硅芯片上，即构成单片微型计算机，如 Intel 8048，在一个硅芯片上集成有 8 位微处理器，1K 字节的 ROM，64K 字节的 RAM 及输入输出接口。

2.2 微型计算机的分类

微型计算机按其用途分为控制用和数据处理用两类。不过一般按其处理数据的字位长短分类，包括 1 位，4 位，8 位，16 位 32 位微型计算机。

近来出现了一种位片式的微处理器，目前有 2 位和 4 位两种。利用它的积木式组合功能，可将 n 个 2 位微处理器组成 2n 位字长的微型计算机。

目前微型计算机的分类和特点见表 8.2.1—1。

表 8.2.1—1　微计算机的分类和特点

	控	制	数据处理	
	专用 4 位，一般是单片机，大量生产，价极低	通用 8～16 位，单片机大量生产，价格低	8～16 位多片机，中等生产量，中等价格	16～32 位，多片机，中等生产量，价格稍高
应用范围	面向消费品 ·家庭用具 ·娱乐游戏 ·计算器 ·简单仪器	面向工业应用 ·仪器仪表 ·外围设备控制器 ·机器控制 ·汽车等耐用消费品	商业或实时控制 ·智能终端 ·工业生产控制 ·小型和个人计算 ·简单管理系统	大型数据处理系统 ·数据库管理 ·大型商业公司业务 ·科学计算 ·多机处理系统
特点与性能	有限的电路功能 ·4 位数据操作 ·一般是专用固定程序 ROM 小容量 RAM 小容量 ·有限的 I/O ·扩展性差	有一定的电路功能 ·8 位或 16 位数据 ·一般有 2K 字节的程序存贮器 ROM，128 字节的数据存贮器 RAM ·扩大的 I/O ·有一定的扩展性	相当强的电路功能 ·8 位或 16 位数据 ·可到 64K 字节的 ROM ·可到 64K 字节的 RAM ·相当强的 I/O 能力，一般要求有中断，DMA 功能可带外围设备 ·扩展性较好	非常强的电路功能 ·16 位或 32 位数据 ·可达几兆字节的存贮容量 ·很强的 I/O 能力，可带包括硬磁盘在内的多种外围设备。 ·一般有多重处理能力 ·扩展性很强
典型产品举例	·TexasTMs1000 系列 ·InTel Mos40 系列 American Microsystemszooo 系列 ·Rock well pps4 系列	·Intel8048、8049、8051、8021 和 8022 ·Mos TEK3870、3872 ·Zilog 的 Z—8 ·Motorola6801 ·Fairchild3850	·Intel 的 Mcs80/85 和 iA Px88 ·Motorola 的 M6800 系列和 M6809 系列 ·Zilog 的 280 系列 ·Rock well 的 650x 系列 ·Signetics2650 系列	·Data General μNovA ·DECLSIII，LSIII/23 ·Intel 的 iAPX86，iAPx186iAPX286，iAPX432 ·Zilog 的 2800； ·Motoro12 的 M68000 ·Texas InetrUment 的 9900，99000 系列

2.3 微型计算机的特点

微型计算机除具有普通电子数字计算机的运算速度快，精度高，以及记忆、逻辑判断，自动操作等功能外，还具有：

体积小，功耗低。如 Intel 公司的 8086 微处理器，在 $5.7mm^2$ 上集成了 29000 个晶体管。一般微型计算机所消耗的功率仅为小型计算机的$\frac{1}{3}\sim\frac{1}{4}$，其中微处理器的功耗更低。

价格低，产量高。目前微型计算机价格仅为小型计算机的$\frac{1}{5}\sim\frac{1}{10}$。

可靠性高。由于减少了器件数目和外部连接线，故障 n 率极低。目前芯片的损耗率约 0.0005/Kh 时，失效率降低 10^{-8}/h 以下。

使用灵活，适应性强，容易掌握。

2.4 评价标准

2.4.1 微处理器

1)字长或处理位数。

2)指令数。

3)基本指令执行时间(μS)。

2.4.2 微型计算机

除上述三项外，尚须增加

1)存贮容量。

2)接口完善程度。

2.4.3 微型计算机系统

除上述五项外，尚须增加

1)外围设备的配备情况

2)软件。

3 电子数字计算机的发展概况

电子数字计算机是人类在长期的生产和科学研究中，为减轻繁重的脑力劳动和加快计算过程而研制出来的。

20 世纪 40 年代，由于现代军事科学技术的发展，需要高速地进行计算，另外由于电子学和自动控制技术的进展，为研制电子数字计算机提供了物质条件。1946 年美国研制了第一台为弹道设计服务的程序控制电子管电子数字计算机。尽管这台计算机无法与现代的计算机相比，但它奠定了现代电子数字计算机的基础，开创了电子数字计算机的新时代。

自从第一台电子管电子数字计算机问世至今已有 40 余年的历史，综观其发展，如表 8.2.1－2 所示。

电子数字计算发展简况见表 8.2.1—2

表 8.2.1—2　　　　　　　　　　**电子数字计算机发展简况**

时　期	年　份	组成元件	机　　型	中国机型
试用期	1946—1950	电子管(1906 年)	ENIAC	
第一代	1950—1959	电子管	IBMTo1/TOg	DJS—104(1958 年)
第二代	1960—1964	晶体管(1947 年)	IBM7090 CDC6600 Univac1107	DJS—104(1965 年以后) DJS—109
第三代	1965—1970	集成电路(1958 年)	IBM360	DJS—111(1971 年以后)
第三代半	1970—1979	大规模集成电路(1967 年)	IBM370ₓ IBM303 IBM4300	DJS—130 DJS—142,152(1978 年) 757(1983 年)
第四代	1980 以后	超大规模集成电路(1978 年)	IBM3031 NEC SX—系列	银河机(1983 年)

当前电子数字计算机正向着巨型机，微型机，局部网络，智能化等方向发展。其中由于半导体集成电路技术的进展，使微型计算机的发展更为迅速。

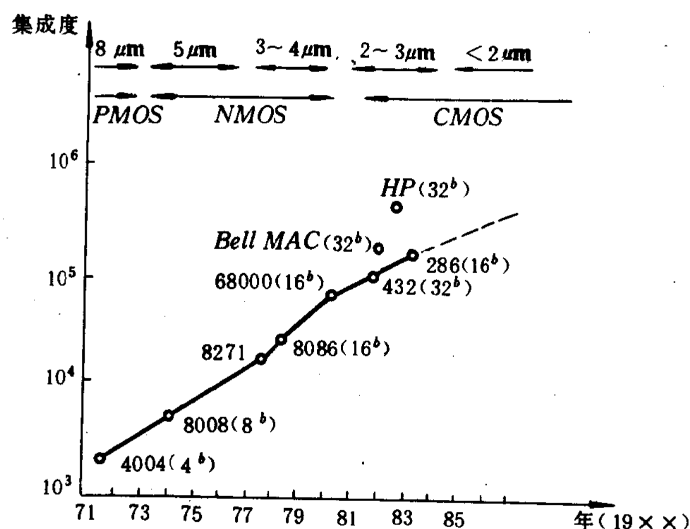


图 8.2.1—4　微处理机集成度的动向

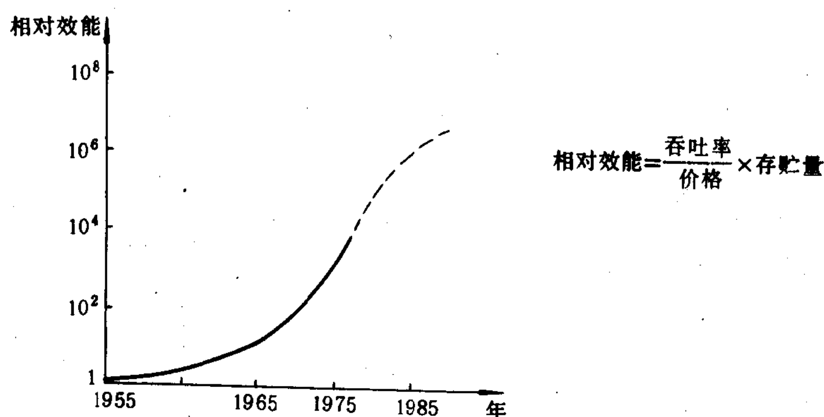


图 8.2.1—5　计算机相对效能曲线

由图 6.2.1—5 可见，由于微型计算机的发展，使计算机的相对效能有较大的提高。如在 1955 年到 1964 年这十年间，计算机的相对效能仅提高 10 倍。而在 1971 年到 1980 年，由于微

型计算机问世，此效能提高近 1000 倍。

微型计算机发展简况见表 8.2.1—3

表 8.2.1—3　　　　**微型计算机发展简况**

项目	特点	第一代 1971～1973	第二代 1974～1975	第二代半 1975～1977	第三代 1978～1981	第四代 1981
硬件	元　件	PMOS LSI 1200～2000 晶体管/片	NMOS LSI 5000管/片左右	NMOS LSI 9000管/片	HMDS LSI VL SI 2000～68000 管/片	HMOS/CMOS SLSI 10 万管/片以上
	字　长	4/8	8	8	16	32
	引　线	16.24	40	40	4D,4g,64,68	64
	基本指令时间(μs)	10～20	2	1.3～1 2.5～10 （单片微型计算机）	<1	<0.125
	典型产品	Intel4004 Intel8008	Intel8080 Motorola6800	Intel8085 Zilog280 Motorola6800 R6500 Intel8048/8748 Motorola6801 Z—80	Intel80868088 Zilog28000 Motnrola68000 LSI—11/23 LSI—11/24 InteliAPX186 iAPX286	InteliAPX433 NS16032 BellMAC—32 HP· InteliACX—96
软　件		采用机器语言汇编语言(简单的)	采用汇编语言，有交义，驻留汇编程序配有高级语言如 BASIC FORTRAN PLLM 等非驻留的解释程序和编辑程序，一般不配操作系统。	采用汇编语言，有交义，驻留汇编程序配有高级语言，有驻留的解释程序和编辑程序，配有操作系统。	采用汇编语言，高级语言。 软件均为驻留的汇编程序，解释程序和编释程序，有操作系统	操作系统，高级软件硬件

目前，日本，美国等国正在研制第五代计算机，其目标是使计算机拥有解答问题和推理能力，可自行管理本身的知识库，并通过智能接口与外界通信。1958 年我国研制成 104 型计算机至今，已能生产每秒运行一亿次的“银河”巨型机，每秒运行一千万次的 757 型大型机，并能系列生产各种中小型计算机。国产微型计算机发展简况见表 8.2.1—4。

表 8.2.1—4　　　　**国产微型计算机发展简况**

研　制　年　份	型　　号
1958	DJS—104
1965	DJS—109
1971	DJS—111
1978	DJS—130
	DJS—142
	DJS—152
1983	757 型大型机
	银河型巨型机

当前，微型计算机正广泛应用于国民经济的各个领域。交通运输部门的应用也是一个重要方面。微型计算机已成功地应用于船舶机械的设计计算，通信，导航，船舶主机和辅机的自动控制，机舱的自动监视及故障诊断等方面，而且在这些方面的应用正日渐扩大。

第 2 章　计算机中的数和数码

1 数　　制

1.1 数的位置表示法

数用一组数符和该数符所在的位置来表示，称为数的位置表示法。在位置表示法中，对每一个数位赋以一定的位值，即“权”。每个数位上的数符所表示的量是这个数符和该位的权的乘积。而两相邻的两位，高位的权对低位的权之比一般取常数，称为基数，用 R 表示，则数可写成：

$a_{n-1}a_{n-2}\cdots\cdots a_0.a_{-1}a_{-2}\cdots\cdots a_{-(m-1)}a_{-m}$

其表示的量为下列多项式之和：

$S=a_{n-1}\cdot R^{n-1}+a_{n-2}\cdot R^{n-2}+\cdots\cdots+a_0\cdot R^{0}+a_{-1}\cdot R^{-1}+\cdots\cdots$

式中：a_i——数码，有 0、1、……(R－1)，共 R 个；

m、n 幂数，均为正整数。

若基数 R 取不同的数，可得到不同进位制

1.2 各种进位制

各种进位制见表 8.2.2—1

表 8.2.2—1　　**各种进位制**

进位制	基数	R	数　　码
二进制	2		0、1
八进制	8		0、1、2、3、4、5、6、7
十进制	10		0、1、2、3、4、5、6、7、8、9
十六进制	16		0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F

2 数制的转换

2.1 十进制数和其它进位制数之间的转换

2.1.1 十进制数转换为其它进位制数

十进制整数和小数，转换为其它进位制的数时的方法是不同的。

对于十进制整数是将其反变除以其它进位制的基数，取其每次的余数，即为转换后该进位制的整数，即“除 R 取余法”。对于十进制小数，则要反复乘以其它进位制的基数，取其溢出数，即为转换后该进位制的小数，即“乘 R 取整法”。

例如：十进制整数 234 转换为二进制，八进制，十六进制数，分别如下进行：

2|234…余0　　8|234…余2　　16|2 34…余A
2|167　1　　8|29　5　　14　E
2|83　1　　3　3
2|41　1
2|20　0
2|10　0
2|5　1
2|2　0
1　1

转换后：$(234)_{10}=(10\ 10\ 01\ 11\ 0)_2=(352)_8=(EA)_{16}$

十进制小数 0・8125 转换为其它位制时：

0.812 5
× 2
$\boxed{1}$.62 5……溢出 1
× 2
$\boxed{1}$.2 5……　1
× 2
0.05……
2
$\boxed{1}$.10……

0.812 5
× 8
$\boxed{6}$.500 0……溢出 6
× 8
$\boxed{4}$.0000……溢出 4

转换后：

$(0.8125)_{10}=(0.1\ 10\ 1)_2=(0.64)_8=(0.c)_{16}$

2.1.2 其它进位制转换为十进制

将其它进位制转换为十进制数，只要按以下多项式计算，将各位数码乘以该位的权，然后相加，即得到十进制数：

$N_{10}=a_{n-1}\cdot R^{n-1}+a_{n-2}\cdot R^{n-2}+\cdots\cdots+a_0\cdot R^0+\cdots\cdots$

例如：

$(11\ 10\ 1)_2=1\times2^4+1\times2^3+1\times2^2+0\times2^1+1\times2^0=(29)_{10}$

$(763)_8=7\times8^2+6\times8^1+3\times8^0=(499)_{10}$

$(ABC)_{16}=A\cdot16^2+B\cdot16^1+C\cdot16^0=(2748)_{10}$

2.2　2^n 进位制和二进制之间的转换

2.2.1 8 进位制和二进位制之间的转换

二进制中，三位二进制数表示八种组合，因此八进制数可由三位二进制数来表示。

在二进制数中，以小数点为基准向左右每隔三位分成一组，从而分成若干组，然后将每组用一个等值的八进值数码代替，即可得到相应的八进制数。

例如：

二进制数　11 10 11 10 100.00 11 11 01

分组补零　011，　101，　110，　100.　001，　111，　010

对应代换　　3　　5　　6　　　4.　1　　　7　　2

八进制数　3564.172

注意，最左和最右一组不足三位的，须以零补足，然后进行代换。

由八进制数转换成二进制数，与上述过程相反，即将八进制数的每位用三位二进制数代换即可。

八进制数　7　　6.　　0　　5

各位代换 111，　110.　000，　101

二进制数 111110.000101

2.2.2　十六进制和二进制之间的转换

一位十六进制数可用四位二进制数来代换，即以二进制数的小数点为基准，向左右按每膈四位分组，对最左或最右的一组不足四位的以零补足，然后以十六进制数代换即可。

二进制数　11010101000.　1111010111

分组补零　0110、1010、1000.　1111、0101、1100

各位代换　6　A　8.　F　5　C

十六进制数　6A8.　F5C

十六进制数转换为二进制数，只要用四位二进制数代换每位十六进制数即可。

3　二进制编码

在电子计算机中，数、字母、符号、指令均需用二进制特定编码表示。

3.1　十进制数的二进制编码

用二进制数给每一个十进制数字编码，称为二—十进制，简称 BCD 码。十进制的权保留，但数字仅由 0.1 组合表示。

用二进制数给十进制数编码有许多可供选择的方案，如表 8.2.2—2 所示。

表 8.2.2—2　　**二—十进制码**

十进制	8421BCD	2′421BCD	余 3 码	格雷码
0	0000	0000	0011	0000
1	0001	0001	0100	0001
2	0010	0010	0101	0011
3	0011	0011	0110	0010
4	0100	0100	0111	0110
5	0101	1011	1000	0111
6	0110	1100	1001	0101
7	0111	1101	1010	0100
8	1000	1110	1011	1100
9	1001	1111	1100	1000

十进制数转换成 8421 码，只要用四位二进制数代换一个十进制数码即可。

十进制数　　4　　5

　　　　　　0100　0101

BCD 码　　　0100,0101

须注意上述 0100,0101 为 45 的 BCD 码，并非二进制数，若要转换为二进制数，则必须将每组分别乘以每组所在位的十进制之权，然后相加可得二进制数。如 0101 对应的是个位，其权为 10^0，而 0100 对应的位是十位，其权为 10^1，故：

个位　0101×0001=0101

十位　0100×1010=101000

相加为　101101B

反之，由二进制数转换为 BCD 码，须经下列过程：

二进制数→十六进制数→十进制数→BCD 码

3.2　字母和符号的编码

在计算机中，字母和符号也是用二进制编码表示。目前，在微型计算机中，普遍采用美国 ASC Ⅱ 编码。它用七位二进制编码，故可以表示 128 个字符，其中包括数码(0～9)，以及大小写英文字母等可打印的字符。详见表 8.2.2—3。

表 8.2.2—3　**ASC Ⅱ(美国信息交换标准码)字符表(7 位码)**

LSD $b_3b_2b_1b_0$		MSD $b_6b_5b_4$							
		0 000	1 001	2 010	3 011	4 100	5 101	6 110	7 111
0	0000	NUL	DLE	SP	0	@	P	•	p
1	0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
2	0010	STX	DC2	//	2	B	R	b	r
3	0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
4	0100	EOT	DC4	$	4	D	T	d	t
5	0101	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
6	0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
7	0111	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
8	1000	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
9	1001	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
A	1010	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
B	1011	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
C	1100	FF	FS	,	<	L	\	l	|
D	1101	CR	GS	—	≈	M	]	m	}
E	1110	SO	RS	.	>	N	↑	n	～
F	1111	SI	US	/	?	O	←	o	DEL

若用八位二进制数来表示时，其最高位为奇偶校正位，通过奇偶校正位可以检查字符传送时是否出错。

4 计算机中的数

在计算机中要处理的数包括有符号的数和无符号的数。有符号的数有正数和负数，整数和小数。

4.1 数符的表示

计算机中，数的正负符号也须编码。一般“+”号用“0”表示，“-”号用“1”表示。如在八位微型计算机中，用最高位表示符号位：

$$+1111101 \rightarrow 01111101$$

$$-1111101 \rightarrow 11111101$$

计算机中，符号已数码化的数称为机器数，而将原来的数称为机器数的真值。

4.2 小数点的处理

计算机中，小数点的表示有两种方法，即定点和浮点表示法。

定点表示法中有下述两种方法：

纯小数表示法：

数符 · 尾数

整数表示法：

数符　尾数

浮点表示法中，小数点的位置是不定的，可以浮动。一个二进制数可表示为：

$$N=2^P \cdot S$$

其中 S 为数 N 的尾数，表示数 N 的有效值，用 S_f 表示尾数的符号，$S_f=0$ 为正数，$S_f=1$ 为负数。P 为数 N 的阶码，表示小数点的位置，用 P_f 表示阶码的符号，$P_f=0$ 为正数，$P_f=1$ 为负数。

具体用二进制数表示如下：

$$P_f \leftarrow P \rightarrow S_f \leftarrow S \rightarrow$$

↑　↑　↑　↑

阶码符，阶码，数符　尾数

4.3 原码、补码、反码

为了运算方便，对于在计算机中的有符号的数，有三种表示方法，即原码，反码和补码

4.3.1 原码

对于有符号的二进制数，仅须将符号用编码表示，并按下面规则变换。

设机器数的真值为 X，对字长为 n 位的定点整数，其原码为：

$$[X]_{原}=\begin{cases} X & (0 \leqslant X \leqslant 2^{n-1}) \\ 2^{n-1}-X & (-2^{n-1}<X \leqslant 0) \end{cases}$$

对于定点小数，其原码为：

$$[X]_{原}=\begin{cases} X & (0 \leqslant X<1) \\ 1-X & (-1<X \leqslant 0) \end{cases}$$

4.3.2 反码

设真值为 X

$$[X]_{反}=\begin{cases}X & (0\leqslant X<2^{n-1})\\(2^n-1)+X & (-2^{n-1}<x\leqslant 0)\end{cases}$$

即机器数为正数时，反码即为原码，而机器数为负数时，除符号位外，其余各位均取反，即可得到反码。

4.3.3 补码

一般采用二进制的补码。设真值为 X，对字长为 n 位的定点整数，其补码为：

$$[X]_{补}=\begin{cases}X & (0\leqslant X<2^{n-1})\\2^n+X & (-2^{n-1}<X\leqslant 0)\end{cases}$$

对于定点小数：

$$[X]_{补}=\begin{cases}X & (0\leqslant X<1)\\2+X & (-1<X\leqslant 0)\end{cases}$$

4.3.4 原码、反码、补码间的转换

对于正的机器数、其原码、反码、补码均相同。对于负的机器数，其原码、反码、补码、各异，需要进行变换。

4.3.4.1 由原码求补码

其步骤：

直值为—110 1111

⇓

原码为 11101111 将符号位用编码表示。

⇓

反码为 10010000 符号位保留，其余各位取反。

⇓

补码为 10010001 将反码加 1。

4.3.4.2 由补码求原码

其步骤：

补码 1 1101111

⇓

反码 10010000 符号位保留，其余各位变反。

⇓

原码为 10010001 将反码加 1。

⇓

真值为—0010001 将符号编码还原

5 运算规则

5.1 加减运算

在计算机中，凡是带符号的数一律用补码表示，其运算结果也是用补码表示。

减法运算可以看成加负的减数的运算。因此加减运算均可看成补码的运算。其结果的符号要看运算结果的符号位来定。若符号值为“0”,则表示结果为正,即为原码。若符号值为“1”,则表示结果为负,需通过求反加1来得到原码。加减运算规律详见表 8.2.2—4

表 8.2.2—4　　**加减运算**

	X	Y	[X]补	[Y]补	[X]补+[Y]补	符号位	X+Y
加	+001,0111	+010,0100	0001,0111	0010,0100	0011,1011	0—正	+011,1011
	+0010011	−0000111	00010011	1111,1001	[1].00001100	0—正	+000,1100
法	+0000111	−0010011	00000111	11101101	11110100	1—负	−0001100
	−0011001	−0000110	11100111	11111010	[1].11100001	1—负	−0011111
	X	Y	[X]补	[−Y]补	[X]补+[−Y]补		X−Y
减	+110,0000	+0010011	0110,0000	11101101	[1].01001101	0—正	+1001101
	+001,0011	+110,0000	0001,0011	1001,1111	1011,0010	1—负	−100,1111
	−0111000	−001,0001	11001000	00010001	[1] 1011001	1—负	−0100111
法	−0010001	−011,1000	1110,1111	00110111	[1] 00100110	0—正	+00100110
	+0000111	−0010011	0000,0111	00010010			
	−0010011	+0000111	11101101	10000110			

5.2 乘除法运算

乘除法运算采用原码进行,其运算方法是:对尾数进行二进制乘除运算,而积或商的符号由两个数的符号位的异或运算结果而定。

$$0+0=0 \qquad 0+1=1$$
$$1+1=0 \qquad 1+0=1$$

其尾数的乘法运算按二进制乘法规则进行

$$0\times0=0 \qquad 0\times1=0$$
$$1\times0=0 \qquad 1\times1=1$$

其尾数的除法运算是以被除数的最高一位开始检查,并定出需要超过除数的位数,找到这个位数时,商记为1,并将选定的被除数部分减去除数,然后将被除数的下一位下移到余数上,若余数不够,则商为0,这时可把被除数的再下一位移到余数上,余数够减,则商为1,如此重复进行,直到被除数的余数下移完为止。

例:

```
        1101                      1101
 ×      1010              110 ) 1001110
 -----------                    110
        0000                   -------
       1101                     111
      0000                      110
 +   1101                      -------
 -----------                      110
    10000010                      110
                                 -------
                                    0
```

第 3 章 微型计算机结构

1 基本逻辑电路

1.1 逻辑门电路

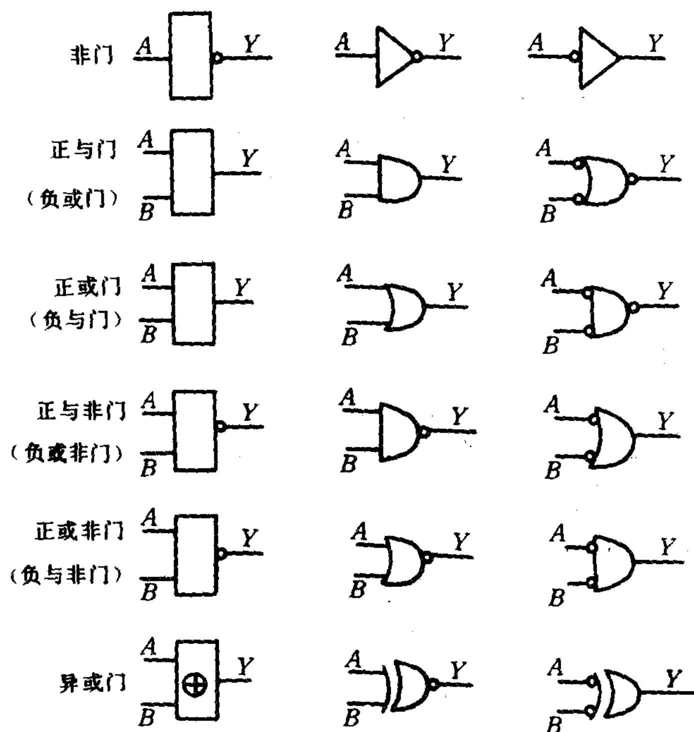


图 8.2.3—1 基本逻辑门电路

逻辑门电路是计算机中最基本的电路，它可以组成计算机中各种复杂的逻辑装置。

在静态逻辑中，用高电平代表逻辑“1”者称为正逻辑，反之为负逻辑。因此同一逻辑电路在(不同的)正负逻辑中所完成的逻辑功能是不同的。

在动态逻辑中是用脉冲的有无代表逻辑变量的。

逻辑电路真值表见表 8.2.3—1。

表 8.2.3—1　**逻辑电路真值表**

		正与门	正或门	正与非门	正或非门	正异或门
正逻辑	A_+	0011	0011	0011	0011	0011
	B_+	0101	0101	0101	0101	0101
	Y	0001	0111	1110	1000	0110
负逻辑	A_-	0011	0011	0011	0011	0011
	B_-	0101	0101	0101	0101	0101
	Y	0111	0001	1000	1110	1001
		负或门	负与门	负或非门	负与非门	负异或门

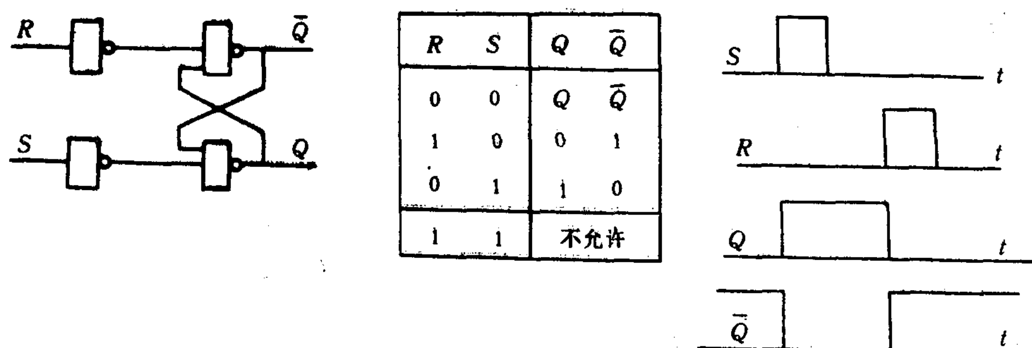
1.2 触 发 器

触发器是计算机中常用的时序逻辑电路，是由基本的逻辑门电路组成。它的输出不仅取决于现时的输入值，还和过去的输入所形成的状态有关。当输入取消后，它能将该输入引起的状态保留，直到新的输入到来之前，故具记忆功能。

从触发器的结构，控制方式，构成元件来看可有多种形式，目前广泛采用的是 TTL 和 CMOS 两种类型的电路。

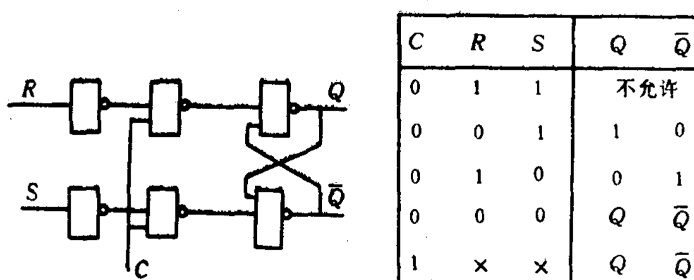
1.2.1 基本的 RS 触发器

RS 触发器是触发器中最简单的一种。字母 RS 分别表示复位和置位之意。



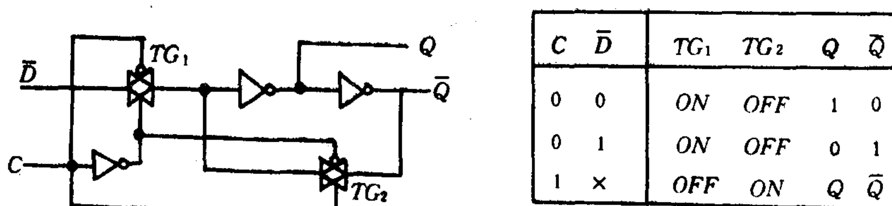
R	S	Q	$\bar{Q}$
0	0	Q	$\bar{Q}$
1	0	0	1
0	1	1	0
1	1	不允许	

图 8.2.3—2 RS 触发器的电路，真值表及波形



C	R	S	Q	$\bar{Q}$
0	1	1	不允许	
0	0	1	1	0
0	1	0	0	1
0	0	0	Q	$\bar{Q}$
1	×	×	Q	$\bar{Q}$

图 8.2.3—3 选通触发器的电路及真值表



C	$\bar{D}$	TG_1	TG_2	Q	$\bar{Q}$
0	0	ON	OFF	1	0
0	1	ON	OFF	0	1
1	×	OFF	ON	Q	$\bar{Q}$

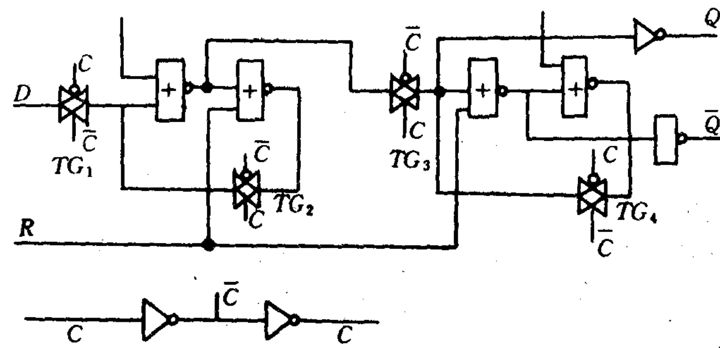
图 8.2.3—4 CMOS 选通触发器

由真值表可以看出，在 R 等于 S 时，将信息保持。这种触发器常用在异步操作方式中。

若将这种触发器的结构稍作修改，便能与系统其它器件同步操作，从而产生了其它类型的触发器。

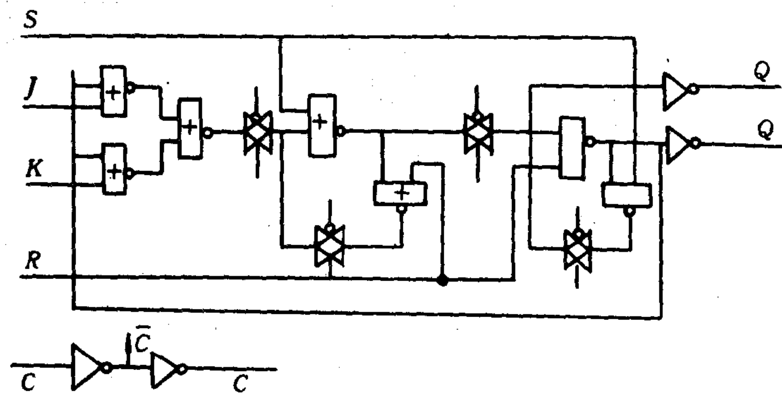
1.2.2 选通触发器

用或非门组成的选通触发器如图 8.2.3—3 所示。



C	D	R	S	Q	$\bar{Q}$
↑	0	0	0	0	1
↑	1	0	0	1	0
↓	×	0	0	Q	$\bar{Q}$
×	×	1	0	0	1
×	×	0	1	1	0
×	×	1	1	不允许	

图 8.2.3—5　D 型主从触发器



J	K	Q_n	Q_{n+1}
0	0	Q_n	Q_{n+1}
1	0	0	1
1	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	1	0	1
1	1	1	0

R	S	Q	$\bar{Q}$
1	0	0	1
0	1	1	0
1	1		

图 8.2.3—6　JK 型主从触发器

由真值表可见，当无时钟脉冲 C 时，其功能相当于 RS 触发器，而当有时钟脉冲时，无论 R，S 为何值，均要置位，不受 R，S 控制。

图 8.2.3—4 是用于主从触发器的 CMOS 选通触发器电路，其中采用了传输门 TG_1，TG_2。

当时钟脉冲 C 为 O 时，数据端一输入，而当时钟脉冲为 1 时，TG_1 断，TG_2 通，此时保持原来的状态。

1.2.3 主从触发器

主从触发器是先用一个主触发器在控制脉冲开始时接受输入的信息，然后在脉冲结束时刻把主触发器的信息转送到从触发器保存起来，并送到输出；而同时又把主、从两个触发器之间的连系切断。这时主触发器又准备好接受新的信息，而从触发器仍保存着刚才已接受到的信息。

图 8.2.3—5，图 8.2.3—6 分别为 CM,OS 型的 D 和 JK 主从触发器。

由图 8.2.3—5 的波形图可以看出，当 RS 均处于低电平时，在时钟脉冲的前沿，将数据存入。在时钟脉冲处于低电平时，TG_1，TG_4 导通，TG_2，TG_3 截止，数据由高到低时，对输出无影响。该触发器还可以按异步操作方式直接按置位和复位工作。

1.3 锁 存 器

锁存器又叫数码寄存器，用以贮存逻辑信息。锁存器一般有 RS 锁存器(如图 8.2.3—7)，CMOS 选通锁存器(如图 8.2.3—8)D 型锁存器。

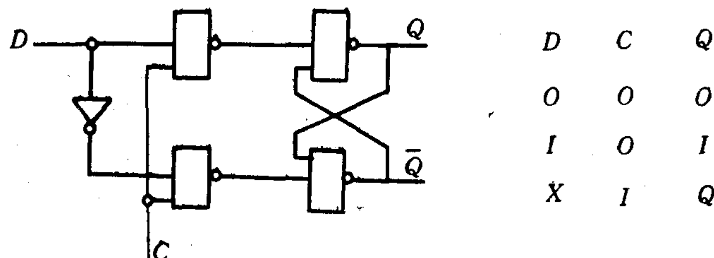


图 8.2.3—7 RS 型锁存器

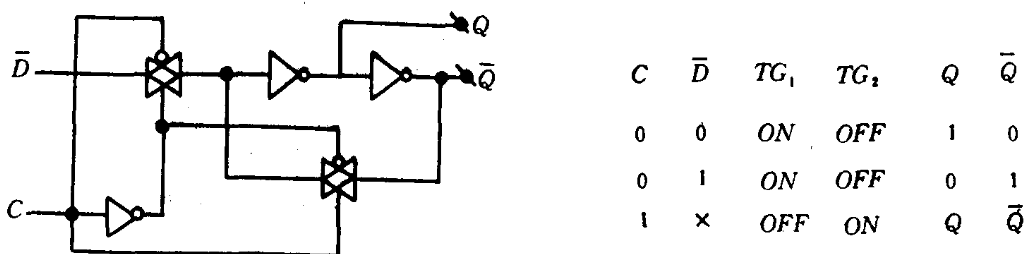


图 8.2.3—8 CMOS 型锁存器(选通触发器)

由真值表可以看到，只要选通输入为低电平(逻输“0”)，锁存器就要变换其内容，当选通输入为高电平时(逻辑“1”)，送到 D 的信息就被贮存起来。

由图 8.2.3—9 中真值表可以看到，当 ST 为 1，MR 和 DiS 为“0”时，数据送入锁存器。当 ST，MR，DiS 均为“0”时，数据锁存在锁存器中。而当 MR 为“1”ST，Dis 均为“0”时，复位。当 Dis 为“1”时，处于高阻抗状态，锁存器从数据总线上“分离”。

ST

MR 主复位

DiS 禁止

D_0 D_1 D_2 D_3

Q_0 Q_1 Q_2 Q_3

MR	ST	禁止	D_3	D_2	D_1	D_0	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1
0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1
0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1
0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0
0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1
0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0
0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1
0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	×	×	×	×	已锁存			
1	×	0	×	×	×	×	0	0	0	0
×	×	1	×	×	×	×	高阻抗			

×＝无关

传输门



A	特性
0	双向短路
1	双向开路

图 8.2.3－9　三态锁存器

1.4 寄 存 器

寄存器有两类，数据寄存器和移位寄存器

1.4.1 数据寄存器

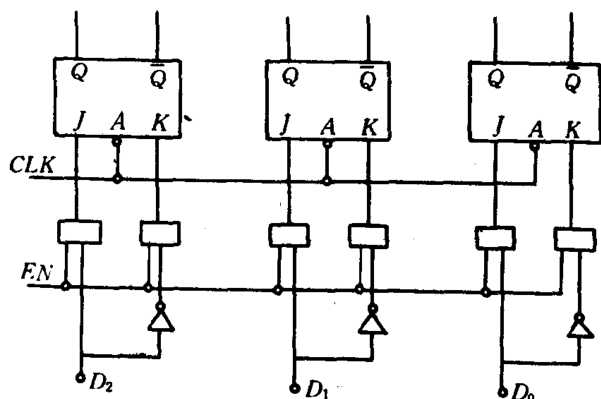


图 8.2.3 10 数据寄存器

数据寄存器主要用于暂存数据。

由图 8.2.3—10 可见，当允许输入端为高电平时，数据送入寄存器寄存。当时钟脉冲为“1”时，将数据输出。

1.4.2 移位寄存器

移位寄存器主要用于算术逻辑运算，以及数据传输转换(如并行至串行或反之)等。移位寄存器有两类，即具有不变或可变字长的标准移位寄存器和通用总线移位寄存器。

时钟	R	D	Q_0 第一寄存器	Q_n
_/‾	0	0	0	Q_{n-1}
_/‾	0	1	1	Q_{n-1}
‾_	0	×	Q_0	Q_n
×	1	×	0	Q

×=无关　　　　无变化

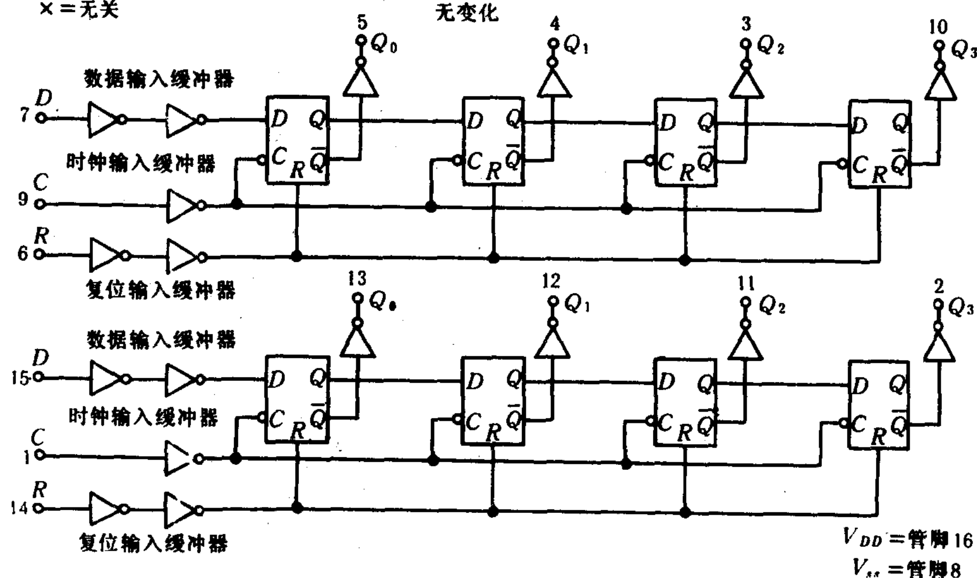


图 8.2.3—11 双四位静态移位寄存器

图 8.2.3—11 寄存器是由四个具有并行输入的寄存器单元构成。电路可作如下运算：

1. 串行输入/串行输出

2. 串行输入/并行输出

3. 并行输入/并行输出

4. 并行输入/串行输出

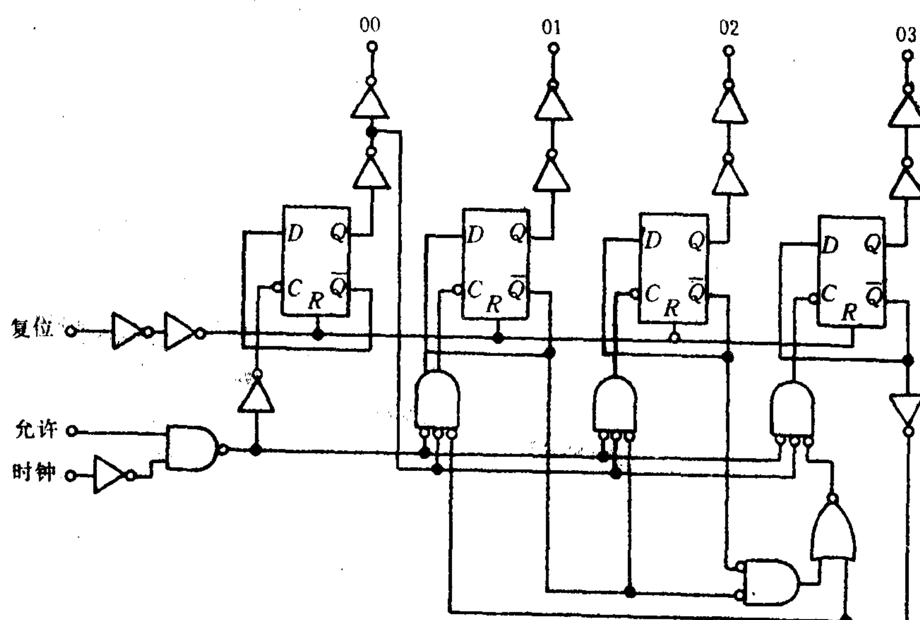
第一个寄存器单元的 D 输入端具有附加选通作用,使得 D 输入端转换成 J 和 K 触发器。当寄存器用作计数器或序列发生器时,该特点可省去外部选通。把高电平施到公共复位输入端,可使全部寄存器单元复位。

并行/串行的工作方式是由 P/S 输入端控制的。该电路还具有原码/补码控制输入端,它可以在寄存器的输出端产生原码或补码输出。

该电路主要用于序列发生,编码转换,计数器,串/并和并/串转换。

1.5 计数器和定时器

计数器是用来累计并寄存输入脉冲数目的器件,按其功能来分有加法计数器,减法计数器,可逆计数器。按计数制来分有二进制,(BCD 码的二—十进制),八进制和十进制的约翰逊码等。在某些计数器中还附加有两种特性:能预置的特性和可编程的特性。



时钟	允许	复位	作用
↑	1	0	递增计数
0	↓	0	递增计数
↓	×	0	不变
×	↑	0	不变
↑	0	0	不变
1	↓	0	不变
×	×	1	Q_0至$Q_3=0$

×=无关

图 8.2.3—12 BCD 计数器

计数器的各级都是 D 型触发器。计数器从时钟端输入是正跳变递增,从允许端输入是负跳变递增。在变位线施加高电平使计数器变零。计数器中的 BCD 计数器和二进制计数器如图 8.2.3—12 和图 8.2.3—13 所示。

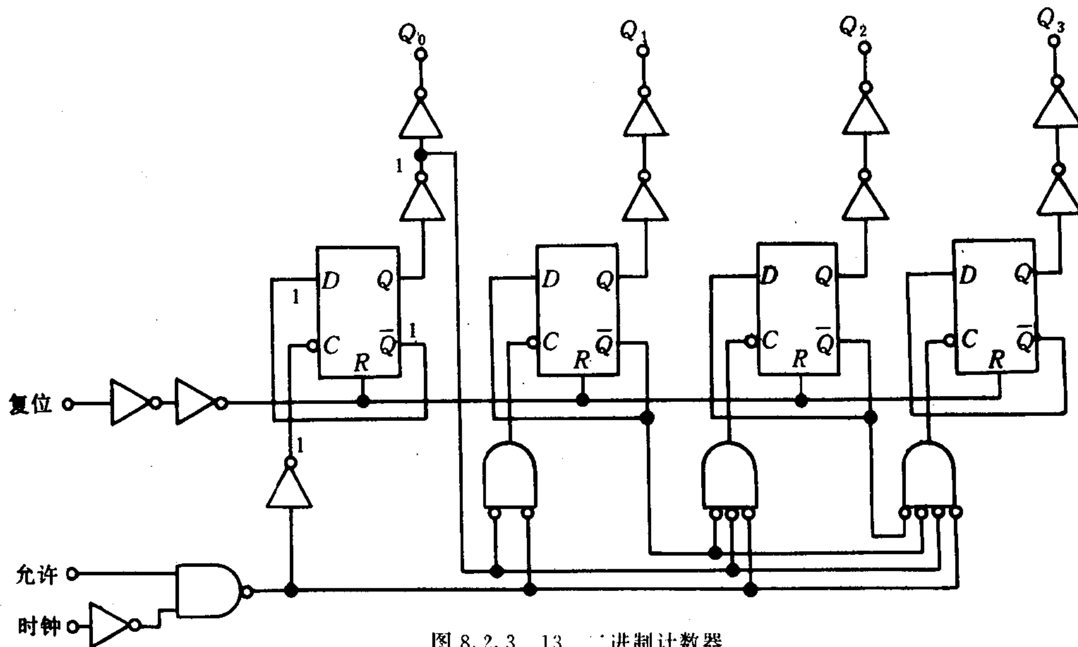
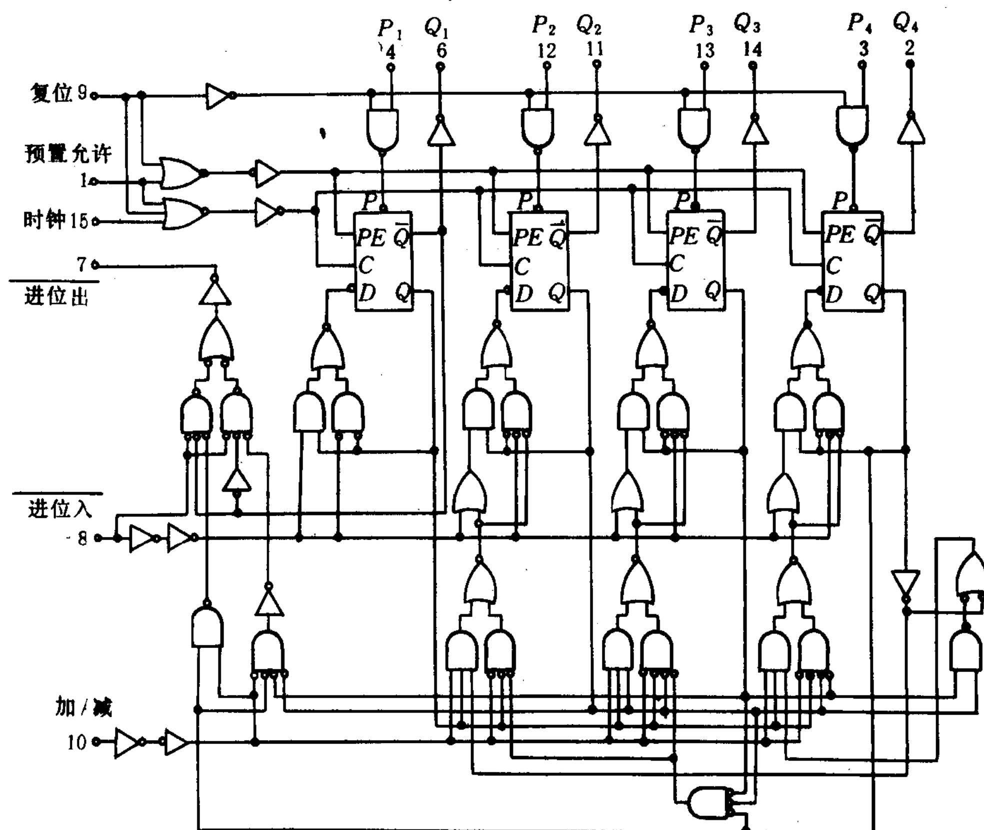


图 8.2.3 13 二进制计数器



$\overline{进位入}$	加/减	预置允许	复位	作用
1	×	0	0	不计数
0	1	0	0	加法计数
0	0	0	0	减法计数
×	×	1	0	预置
×	×	×	1	复位

× = 无关

图 8.2.3 14 二进制可预置数加/减计数器

图 8.2.3—14 中的计数器采用四个 T 型触发器。施加于预置端的预置变数是借助于预置允许端将它送入计数单元的。加/减计数方式的选择是由加/减输入端控制的。为了达到串连的目的，还配备有一个进位输入端和进位输出端。

1.6 译 码 器

译码器又称编码转换器，它可以将一个逻辑字结构译成另一个逻辑字结构，每个逻辑字结构具有相同的数据内容。

由于编码很多，因此这些译码器的类型也不少。

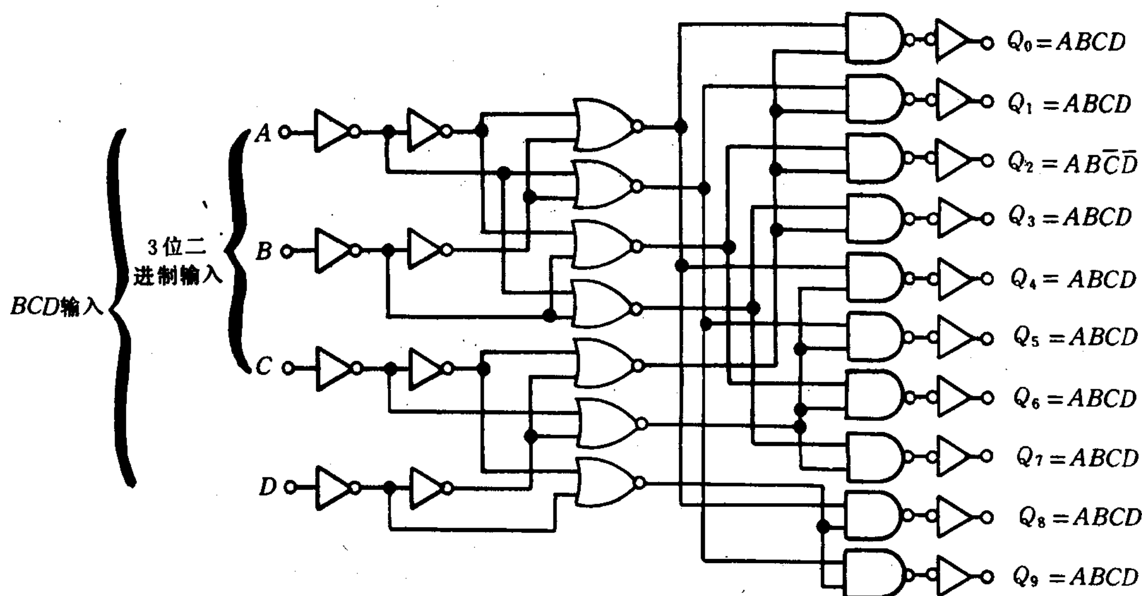
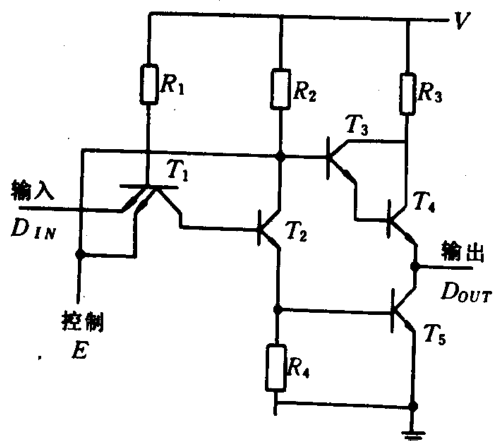
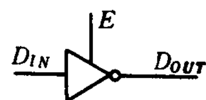


图 8.2.3—15 BCD 至十进制译码器





E	D_{IN}	D_{OUT}
0	0	高阻抗
0	1	高阻抗
1	0	1
1	1	0

图 8.2.3—16 TTL 三态“非”门电路

由图 8.2.3—15 可见，在四个输入端上加一个 8421BCD 码就产生一个十进制码(10 中选

1)的译码输出。若将D端输入逻辑“0”，则3位二进制输入就提供了一个八进制(8选1)的译码输出。

1.7 输出缓冲器

用来隔离输出端。主要采用图8.2.3—16所示的三态门电路。

这种电路可在控制作用下具有三态，“通态”“断态”和“高阻抗”状态。

当控制端置“1”时，即为一“非”门电路，输出为“0”或“1”态。当控制端置“0”时，则无论输入端为何值，输出端均为高阻抗状态，因为此时T_4T_5均截止，这就禁止了与输入数据无关的输出信号线。

2 微处理器的结构

2.1 典型的微处理器的结构

微处理器类型较多，其结构型式虽各有特色，但其典型结构如图8.2.3—17所示。

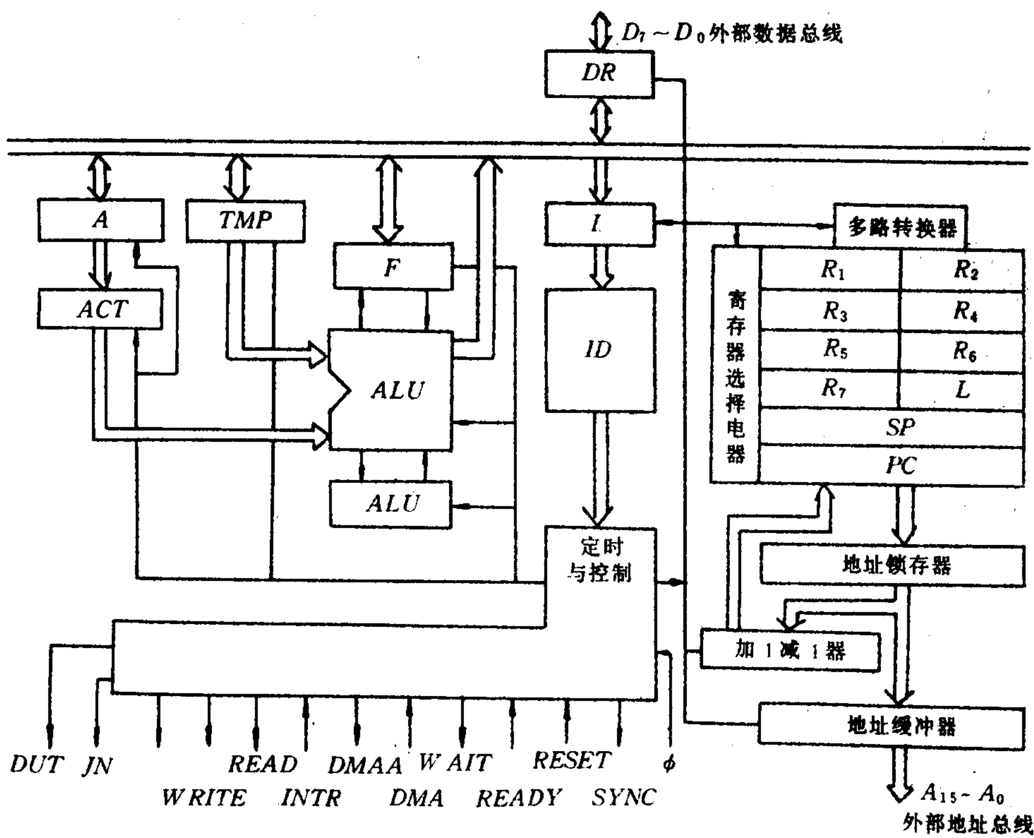


图8.2.3—17 典型的微处理器结构

本章2.1中已指出，微处理器由运算器，控制器所组成。而微型计算机则由微处理器，和存贮器通过总线连接而成。

2.2 寄存器阵列

在微处理器中要用到许多寄存器

2.2.1 存放待处理数据的寄存器

2.2.1.1 累加器A

累加器是运算时的暂存寄存器。每次算术和逻辑运算的结果均存放在累加器中。

2.2.1.2 通用寄存器组

通用寄存器用来暂时存贮参加运算的操作数,中间结果或地址。它是为高速处理数据而设置的。其数量根据不同种类的CPU而异。

2.2.2 存放地址码的寄存器

2.2.2.1 程序计数器PC

16位的程序计数器的内容指出了目前计算机要执行的指令在存贮器中的地址。每执行一条指令时,CPU根据PC中指出的地址从存贮器中取相应的指令,同时PC的内容又自动加1,以便取下条指令。这样CPU就可以按顺序执行存贮器中的指令。

2.2.2.2 堆栈指示器SP

有时指定存贮器中的某一部分作为堆栈,以便临时将计算器的有关状态存贮在堆栈中。而堆栈指示器的内容就指示出堆栈顶的地址。

2.2.3 存放控制信息的寄存器

2.2.3.1 指令寄存器IR

它用来存放当前要执行的指令内容,它包括操作码和地址码两部分。操作码送往指令译码器;地址码送至操作数地址形成电路。

2.2.3.2 标志寄存器F

标志寄存器用来保存算术逻辑运算操作结果的特殊状态,这种状态将作为判断是否控制程序转移的条件。

2.2.4 起数据缓冲作用的寄存器

2.2.4.1 暂存寄存器TMP

暂存寄存器用来暂存从数据总结或通用寄存器送来的操作数,并将该数据送入ALU中进行运算。同时,它也能将数据送到内部数据总线。

2.2.4.2 累加锁存器ACT

ACT(8位)用来锁存从累加器送来的操作数并送往ALU进行运算 。

2.2.4.3 数据缓冲寄存器DR

DR是在CPU内部数据总线和外部数据总线之间起缓冲作用的三态双向缓冲器。

2.2.4.4 地址锁存器

用来存放16位地址码,并送往加1减1器或地址缓冲器

2.2.4.5 地址缓冲器

地址缓冲器是具有三态控制的单向缓冲器,用于在CPU内部地址总线和外部地址总线之间起缓冲作用。

2.3 运 算 器

运算器是在控制器的控制作用下,对二进制数进行算术逻辑运算及传送信息。其主要功能

是实现加法和移位。

运算器由算术逻辑单元 ALU，累加器 A，通用寄存器，暂存寄存器 TMP，标志寄存器 F 以及其他逻辑电路所组成。

ALU 是由加法器和其它逻辑电路，如移位电路，控制门等组成。在指令译码后产生的控制信号的控制下，它能完成相应的算术和逻辑运算。它以累加器 A 的内容作为一个操作数，另一个操作数由暂存寄存器 TMP 供给，有时，还包括从标志寄存器 F 送来的进位等，运算的结果送累加器 A 或数据总线。同时，将运算结果的状态送标志寄存器保存。

2.4 控 制 器

控制器的作用是根据指令的内容去自动地控制计算机各部分的工作，完成该指令规定的任务。为此控制器必须包括指令部件，时序部件和微操作部件。

2.4.1 指令部件

指令部件包括程序计数器，指令寄存器。指令译码器。

该部件的作用是根据程序计数器的内容(即要执行的程序的地址)，去存贮器中相应的地址取出指令，送往指令寄存器，指令包括操作码和地址码两部分，操作码送往指令译码器，产生相应操作的控制电位，其中每一种控制电位对应一定的操作。而地址码送至操作数地址形成电路，以便从相应的地址取操作数。

2.4.2 时序部件

计算机的工作是周期性的，取指令，分析指令，执行指令，再取指令等等。这一系列的操作需要精确地定时。时序部件用来产生计算机各部件所需的定时信号，它由时钟系统(包括脉冲源，启停逻辑)，时钟脉冲分配器等部件组成。

2.4.3 微操作控制部件

微操作控制部件，并根据指令产生计算机各部件所需要的控制信号，这些控制信号是由指令译码器的输出电位，节拍脉冲发生器产生的节拍电位，节拍脉冲，以及外部的状态信号等进行组合而产生。它按一定的时间顺序发出一系列微操作控制信号，以完成指令所规定的全部操作。

微操作控制部件，一般有组合逻辑控制，微程序控制及可编程序逻辑阵列控制等三种方式来实现。

3 存 贮 器

3.1 存贮器的功用

存贮器是存放程序和数据的装置。按其功能有内存贮器和外存贮器。

内存贮器一般和微处理器一起安放在微型计算机中，用来存放当前运算所需要的程序和数据，以便向 CPU 高速地提供所需信息。而外存贮器安放在微型计算机外部，用来存放大量暂时不直接参与运算的程序和数据，在需要时可与内存贮器成批地交换信息。

3.2 存贮器的分类与基本结构

微型计算机的存贮器有半导体存贮器，磁芯存贮器，磁盘，磁带等，而半导存贮器主要作内

存贮器。

半导体存贮器从器件原理来分有双极型和MOS型存贮器，其分类如图8.2.3—18所示

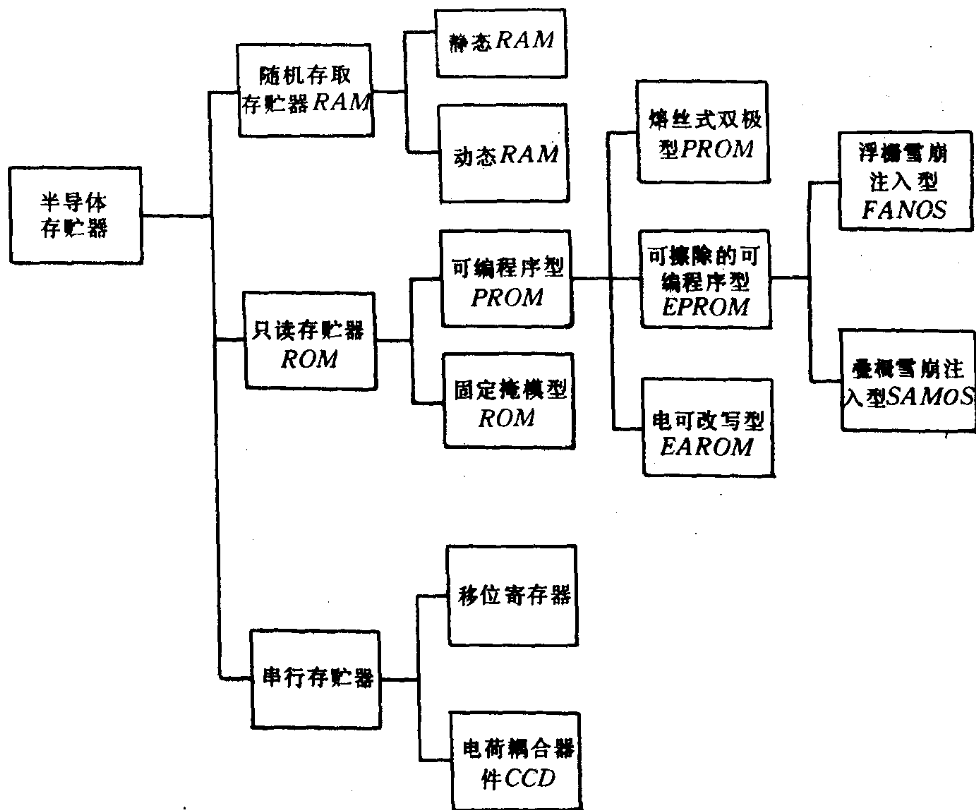


图8.2.3—18　半导体存贮器的分类

存贮器是由一系列存贮单元组成的，在一个存贮单元中能存贮8位二进制信息，构成一个字节，一般要几个字节组成一个字。而每个存贮单元给予一个地址，按地址即可读写该存贮单元的信息。

存贮器内部由存贮单元阵列，地址寄存器，地址译码器和数据缓冲器等四个部分组成。

当将要访问的地址码送入地址寄存器，若地址寄存器为P位，则地址译码器可以从$n=2^P$个存贮单元中选择指定的某个存贮单元，将其内容送到数据缓冲寄存器中。

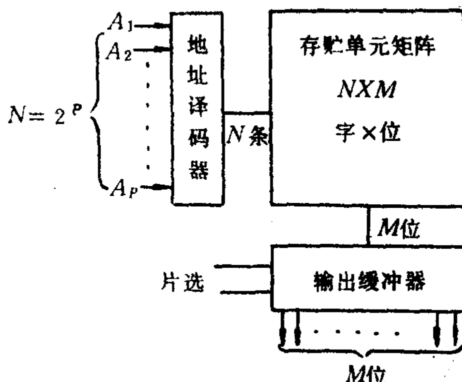


图8.2.3—19　ROM的基本组成

3.3　只读存贮器

3.3.1　固定掩模只读存贮器ROM

这类ROM主要由二极管，双极型晶体管构成，集成度高，生产成本低，但不能改修。

如图8.2.3—19所示，ROM主要由地址寄存器，地址译码器，存贮单元矩阵，输出缓冲寄存器以及芯片选择逻辑等部件组成。

按照存贮单元的编址方法，有线选法和重合选择法(见图8.2.3— 20)。

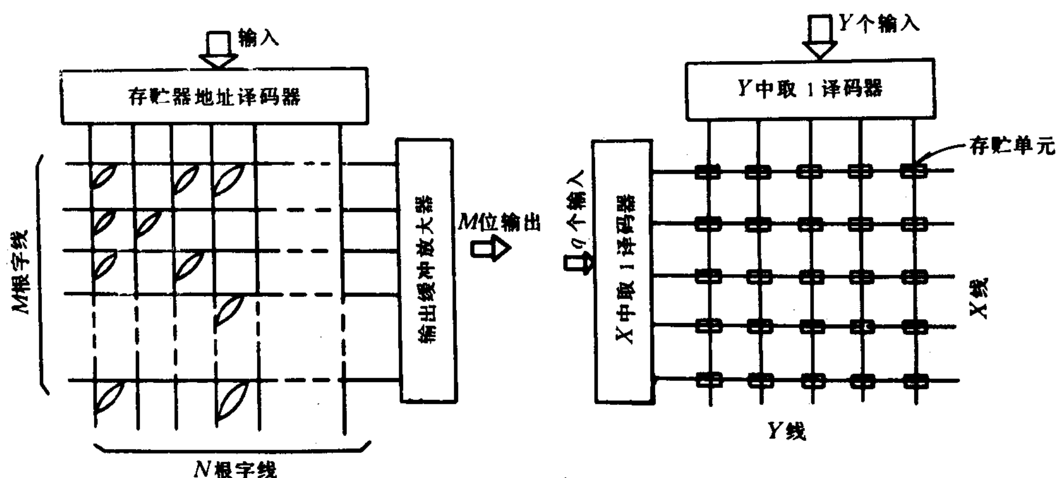


图 8.2.3—20　线送法和重合选择法编址的 ROM

由图可见，线送法是按由"N 中取一"的原则，从 N 条字线中选择一条字线，并将其 M 位信息输出。

对于重合选择法，每一个矩阵仅能选择一位，若有 M 位，则需要 M 个矩阵，对于大容量存贮器均采用此法。

3.3.2　可编程序的只读存贮器

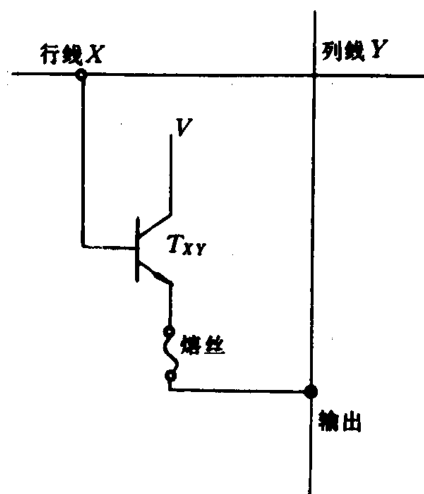


图 8.2.3—21　熔丝式 PROM 单元

这种存贮器可允许编程一次，一般采用如图8.2.3—21 所示的熔丝式 PR OM 单元。

按照存贮单元存放信息的要求，可预选将规定位的熔丝熔断。由图可见，当行线 X 选中后，T_{xy}管的基极为高电位，若熔丝末熔断，则列线 Y 为"1"，若熔丝原已断，则列线 Y 为"0"，可见该熔丝由用户来安排是否熔断。

3.3.3　可擦除的可编程序只读存贮器EPROM

EPROM 可根据用户需要进行编程，而且可以反复修改。

当需要对 EPROM 进行修改时，可用紫外线照射 EPROM，擦洗掉原来的信息，然后可以重新编程。

3.4　随机存取存贮器(RAM)

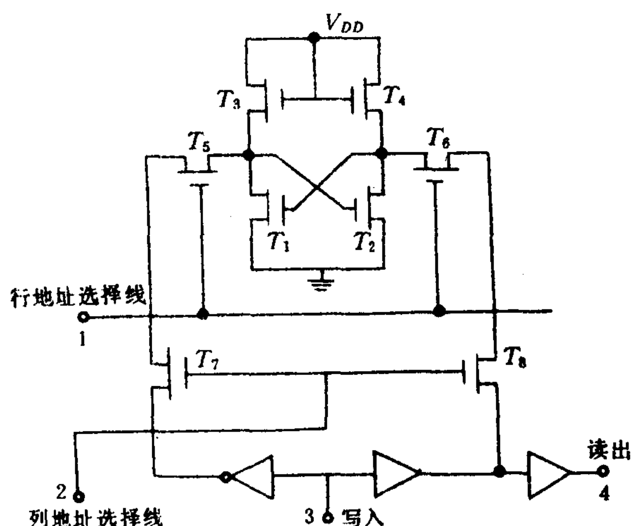
3.4.1　静态 RAM

静态 RAM 使用触发器作为存贮单元，每个单元存贮信息的一个数位，其基本结构如图 8.2.3—22 所示。

图中 T_1T_2 为触发器，T_3T_4 分别为其负载管 T_5～T_8 为开关管。若行列地址线上有脉冲时(表示选中了该单元)，则 T_5～T_8 均导通，此时若读出，则由读出放大器读出该位的信息。若是写入，则通过写入放大器使触发器置成规定的信息状态。可见读出时不影响触发器的状态。

3.4.2　动态 RAM

动态 RAM 是一种以电荷形式来存贮信息的器件。由于这种电荷在几毫秒后会消失，因此必须周期性地刷新。



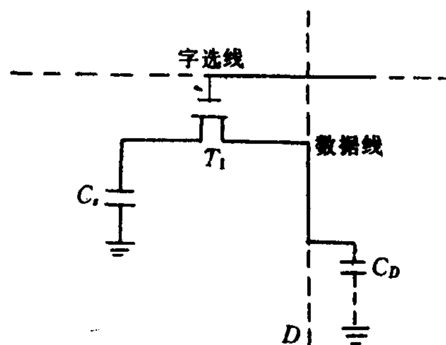


图 8.2.3—22 静态 RAM 的存贮单元　　　图 8.2.3—23 单管动态 RAM 存贮单元

如图 8.2.3—23 所示，写入时字选择线为"1"，T_1 管导通，C_s 充电到位线的电平("1"或"0")，字选择线复为"0"，则 T_1 管截止，C_s 上保持原来的电平，这就是写入过程，在读出时，字选择线为"1"，则 T_1 导通则 C_s 上的电荷通过 T_1 传送到数据线上。由于每次读出后，电荷要减少，所以必须周期地进行刷新，进行重新充电。

半导体存贮器常见芯片见表 8.2.3—2。

表 8.2.3—2　　**半导体存贮器常见芯片**

种类	型号	字 x 位	存取时间 ns(mix)	工艺	电源 V	引线	特点
静态 RAM	2101A	256×4	350～450	N—MOS	+S	Dlp—22	可以用备用电池
	5101	256×4	450～800	C—MOS	+S	DIP—22	
	2111A	256×4	250～450	N—MOS	+S	—18	
	2102A	1024×1	250～450	N—MOS	+S	—16	
	2114	1024×4	200～450	N—MOS	+5	—18	
	2115	1024×1	45～95	N—MOS	+5	—16	
	2147	4096×1	60～90	N—MOS	+5	—18	
	2148H	1024×4	45～70	H—MOS	+5	—18	
动态 RAM	2104A	4096×1	150～300	N—MOS	±5,+12	—16	
	2107B	4096×1	200～450	N—MOS	+5,+12	—22	
	2108A	8192×1	200～300	N—MOS	±5+12	—16	
	2116	16K×1	200～300	N—MOS	±5+12	—16	
	2118	16k×1	100～150			—16	
	2164A	64k×1	150～200			—16	

续上表

种类	型号	字 x 位	存取时间 ns(mix)	工艺	电源 V	引线	特点
EPROM	2708	1024×8	350～450	N－MOS	±5，＋12	－24	紫外线擦除
	2716	2048×8	300～450	N－MOS	＋5	－24	
	2732A	4096×8	200～450	N－MOS	＋5	－24	
	2764	8k×8	300～450	N－MOS		－28	
	27128	16k×8	250～450	N－MOS		－28	
	27256	32k×8	250～450			－28	
	μPD458	1024×8	450	N－MOS	＋S＋12	－28	电可改写
ROM	8308	1024×8	450	N－MOS	±5＋12	－24	与 2708 有互换性
	8316	2048×8	850	N－MOS	＋5	－24	与 2716 有互换性
	8316E	2048×8	450	N－MOS	＋5	－24	

4 总线结构

4.1 总线的概念

总线是计算机中传送信息的一组通信线。总线的结构往往影响计算机的信息传送方式和传送效率。微型计算机是以总线为中心而进行系统设计的。

4.2 总线结构

计算机总线有以下三种

1)芯片总线，是微处理片内的总线，用来连接微处理器内部的各逻辑单元。

2)内总线，又称系统总线，即连接微型计算机内各部件，如 CPU 与内存贮器或 I/O 接口电路之间的连接等。它包括地址，数据和控制三条总线。

3)外总线，又称通信总线，是连接各个微型计算机系统之间，或者微型计算机与其它控制设备之间的通信。

4.3 系统总线

4.3.1 数据总线

数据总线为计算机各部分之间传送数据，一般为双向传送总线。而且均采用三态传输门电路，这样便于实现 CPU 的数据总线与系统的数据总线的连接或“脱开”，这对于快速传输数据方式，即直接存贮器访问(DMA)是必要的，

4.3.2 地址总线

地址总线连接微处理器和存贮器及其它器件，用来确定存贮器和 I/O 的地址。为单向三态输出，即由微处理器单向地向存贮器和其它器件发出地址信息。一般为十六位，可寻访 2^{16}个单元。有的微处理机中由于大规模集成电路工艺的限制，外引线不能过多，也借用地址总线来

传送数据，这时利用时间脉冲来选通传送的是数据还是地址。

地址总线和数据总线一般同步运行，这样可以确定数据来源或目的地。

4.3.3 控制总线

控制总线用来传送使微型计算机内各个部件的动作同步和协调的定时信号和控制信号，从而保证正确地执行各种数据的传送操作。控制总线中由 CPU 发出的信号有：同步脉冲，定时脉冲，读写操作控制及对外界信号的应答信号；由其它部件输入到 CPU 的状态信号有：准备就绪，中断请求，保持请求等。

5 常用 CPU 芯片介绍

常用 CPU 芯片有八位的 Inte l8 08 0A，80 85A，Z－80，M6800，十六位的有 In te l8 08 6，80 88，E－80 00，M6 80 00 等

其中 8080A 系统中的 CPU 模块至少需要三片电路组成，即 8080A 微处理器，8284 时钟发生器驱动器，8228 系统控制器，而 8085A，Z－80，M680 00 等芯片由一片即可构成 CPU，模块。

八位微处理器芯片均采作 40 线双列插脚式，各脚的行线功能如表 8.2.3—3。

表 8.2.3—3　**常用 CPU 管脚**

	8080A	8085A	Z－80	M6800		8080A	8085A	Z－80	M6800
1	A_{10}		A_{10}	GND	21	HLDA	A8	$\overline{RD}$	GND
2	GND		A_{12}	$\overline{HAJT}$	22	Φ_1	A_9	WR	A_{12}
3	D_4	RESET，DUT	A_{13}	Φ_1	23	REAAY	A_{10}	$\overline{BUSAK}$	A_{13}
4	D_5	SOD	A_{14}	$\overline{IREQ}$	24	$\overline{WAIT}$	A_{11}	$\overline{WAIT}$	A_{14}
5	D_6	SID	A_{15}	VMA	25	A_0	A_{12}	$\overline{BUSRQ}$	A_{15}
6	D_7	TRAP	Φ	$\overline{NMI}$	26	A_1	A_{13}	$\overline{RESET}$	D_7
7	D_3	RST7.5	D_4	BA	27	A_2	A_{14}	$\overline{PM_1}$	D_6
8	D_2	RST6.5	D_3	Vcc	28	+12V	A_{15}	$\overline{RFSH}$	D_5
9	D_1	RST5.5	D_5	A_6	29	A_3	S_0	GND	D_4
10	D_0	INTR	D_6	A_1	30	A_4	ALE	A_0	D_3
11	－5V	$\overline{INTA}$	+5V	A_2	31	A_5	$\overline{WR}$	A_1	D_2
12	RESET	AD_0	D_2	A_3	32	A_6	$\overline{RD}$	A_2	D_1
13	HOLD	AD_1	D_7	A_4	33	A_7	S_1	A_3	D_0
14	INF	AD_2	D_0	A_5	34	A_8	JO/$\overline{M}$	A_4	R/W
15	Φ_2	AD_3	D_1	A_6	35	A_9	READY	A_5	—
16	INTR	AD_4	$\overline{INT}$	A_7	36	A_{15}	$\overline{RESETIN}$	A_6	DBE
17	DBIN	AD_5	$\overline{NMI}$	A_8	37	A_{12}	CLK(OUT)	A_7	Φ_2
18	$\overline{WR}$	AD_6	$\overline{HALT}$	A_0	38	A_{13}	HLDA	A8	—
19					39				
20					40				

第 4 章　微处理器的指令系统

1 指令格式

1.1 指　　令

指令是规定计算机的操作种类，操作数或地址的命令。

1.2 指令格式

指令的基本格式如下：

操作码	操作数

操作码表示指令执行操作的性质和类型，操作数表示参加操作的数或操作数所在的地址。操作码和操作数都是用二进制码表示。由于微处理器的字长较短，所以有些指令要分段存放和处理。每段长度与微处理器的字长相匹配，因此指令格式有单字节指令，多字节指令。多字节指令必须顺次存放在存贮单元里，先存放低字节，后存放高字节。

2 寻址方式

寻址方式是寻找指令的操作数或操作数实际地址的方式。例如Z－80汇编语言的10种寻址方式，见表8.2.4—1。

表 8.2.4—1　　**Z－80 汇编语言 10 种寻址方式**

寻址方式	实　　例	机器码	实际含义	说　　明
立即寻址	LDA，n	3E n	A←n	操作码后的单字节操作数 n 为运算数
扩展立即寻址	LD HL，n_1n_2	21 n_2n_1	H←n_1，L←n_2	操作码后的二个字节操作数 n_1n_2 为运算数
寄存器寻址	LDB，C	41	B←C	指令操作码中用三位(二位)信息直接指出 CPU 内寄存器的内容为操作数
直接寻址	LDA，(2035H)	3A 35 20	A←(2035H)	操作码后的两个字节直接给出操作数的内存地址
寄存器间寻址	ADD A，(HL)	86	A←A＋(HL)	指令中指定寄存器对存放操作数的存贮单元地址
变址寻址	ADD A，(IX＋35H)	DD86 35	A←A＋(IX＋35H)	指出操作数的地址为变址寄存器中的内容作为基地址加上操作码后给出的一个字节偏移量
零页寻址	RST38	FF	(SP－1)←PC_H	指令操作码中的第3，4，5位指定零页的8个可变地址

续上表

寻址方式	实　例	机器码	实际含义	说　明
零页寻址	RST 38	FF	$(SP-2)\leftarrow PC_2$ $SP\leftarrow SP-2$ $PC_H\leftarrow 0$ $PC_L\leftarrow 38H$	
相对寻址	JR e	18 e−2	$PC\leftarrow PC+e$	相对 PC 位移量为 $-128\leqslant(e-2)\leqslant127$ 范围内寻址
位寻址	BIT5,C	CB 69	$Z\leftarrow C_5$	对内部寄存器或存贮单元位一位进行测试，置"0"、置"1"
隐含寻址	SUB D	92	$A\leftarrow A-D$	指令操作码中隐含的指出某一寄存器(Z80 中 A)中存放了另一个操作数

3　状态标志

CPU 中标志寄存器是一个 8 位寄存器，见图 8.2.4—1。它的作用是存放微处理器前次指令执行的结果和状态，用来对计算机工作状态进行检查及选择程序或下条指令的操作方向。状态标志位功能见表 8.2.4—2。

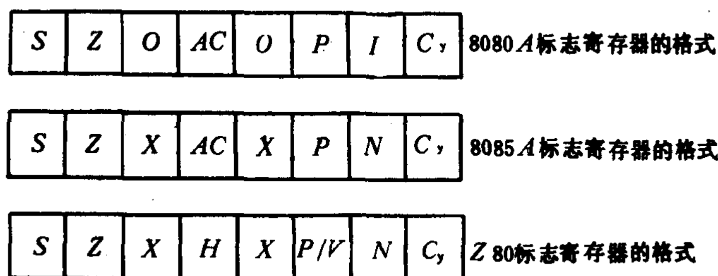


图 8.2.4—1　状态标志

表 8.2.4—2

状态标志位功能

标志名称	符号	功　能　说　明
进位标志	C_y	算术运算时，若最高位有进位或错位，则 $C_y=1$；否则 $C_y=0$ 移位操作时，进位位 C_y 可串在 D_7 和 D_0 之间，接受 D_7 或 D_0 移来的代码
零标志	z	当运算结果 8 位全为 0 时，则 $z=1$；反之 $z=0$
符号标志	S	当运算结果最高位 $D_7=1$ 时，则 $S=1$，即符号为负；反之 $S=0$
半进位标志	H	二个 BCD 码相加(减)，D_3 位向 D_4 位进位(借位)时，则 $H=1$；反之 $H=0$
奇偶标志	P	检测传输过程是否正确，若运算结果中 1 的个数为偶数，则 $P=1$；反之 $P=0$
溢出标志	V	检查二进制补码运算有溢出，使符号位出错的标志，若有溢出，则 $V=1$；反之 $V=0$
加/减标志	N	表示 BCD 码进行算术运算时，前一次是加还是减法的标志，若是减法，$N=1$；反之 $N=0$

4　Z80指令功能表

4.1　Z80指令功能表(见表8.2.4—3至8.2.4—14)

表8.2.4—3　　　　**标志操作摘要**

指　　令	C	Z	P/V	S	N	H	说　　明
ADD A,S,ADC A,S	↓	↓	V	↓	0	↓	8位加,带进位的加
SUBs,SBC A,s,CP s	↓	↓	V	↓	1	↓	8位减,带进位的减,比较
AND s	0	↓	P	↓	0	1	}逻辑操作
OR s,XOR s	0	↓	P	↓	0	0	
INC s	•	↓	V	↓	0	↓	8位加1
DEC s	•	↓	V	↓	1	↓	8位减1
ADD dd,ss	↓	•	•	•	0	↓	16位加
ADC HL ss	↓	↓	V	↓	0	↓	16位带进位加
SBC HL ss	↓	↓	V	↓	1	↓	16位带借位减
RLA,RLCA,RRA,RRCA	↓	•	•	•	0	0	累加器循环
RL s RLC s RR s RRC s	↓	↓	P	↓	0	0	操作数B循环和移位
SLA S,SRA s,SRLs							
RLD,RRD	•	↓	P	↓	0	0	十进位左循环或右循环
DAA	↓	↓	P	↓	•	↓	累加器十进制调整
CPL	•	•	•	•	1	1	累加器求反
SCF	1	•	•	•	0	0	进位标志置1
CCF	↓	•	•	•	0	×	进位标志求反
IN C (C)	•	↓	P	↓	0	0	输入寄存器间址
INI,IND,OUTI,OUTD	•	↓	×	×	1	×	}数据块输入和输出
INIR,IMDR,OTRN,OTDR	•	1	×	×	1	×	若B≠0则Z=0,否则Z=1
LDI,LDD	•	×	↓	×	0	0	}数据块传送指令
LDIR,LDDR	•	×	0	×	0	0	若BC≠0,P/V=1,否则P/V=0
CPI,CPIR,CPD,CPDR	•	↓	↓	↓	1	×	数据块检索指令
							若A=(HL),Z=1,否则Z=0
							若BC≠0,P/V=1,否则P/V=0
LD A,I,LD A,R	•	↓	IFF	↓	0	0	中断允许触发器的内容送至P/V位
BITb,s	•	↓	×	×	0	1	存储单元S的位b状态输至Z标志
NFG	↓	↓	V	↓	1	↓	位累加器取负

标志记号·标志不受影响;0标志位置0;1标志位置1;×与标志无关;P根据运算结果的奇偶改变P/V标志V根据运算结果的溢出与否改变P/V状态;↓根据运算结果改变标志。

表 8.2.4 -4　　**8 位的数据传送指令**

记忆符	操作	标志 C	Z	P/V	S	N	H	指令格式 76543210	字节数	M周期数	T状态数	注释
LD r_d,r_s	r_d←r_s	•	•	•	•	•	•	01 r_s r_d	1	1	4	r,$r_s$$r_d$ 寄存器
LD r,n	r←n	•	•	•	•	•	•	00 00r110 ←n→	2	2	7	000 B
LD r,(HL)	r←(HL)	•	•	•	•	•	•	01r1 1 0	1	2	7	001 C
LD r,(IX+d)	r←(IX+d)	•	•	•	•	•	•	1 1 0 1 1 1 0 1 0 1 r 1 1 0 ←d→	3	5	19	010 D 011 E
LD r,(IY+d)	r←(IY+d)	•	•	•	•	•	•	1 1 1 1 1 1 0 1 0 1 r1 1 0 ←d→	3	5	19	100 H 101 L
LD (HL),r	(HL)←r	•	•	•	•	•	•	0 1 1 1 0 r	1	2	7	111 A
LD(IX+d),r	(IX+d)←r	•	•	•	•	•	•	1 1 0 1 1 1 0 r 0 1 1 1 0 r ←d→	3	5	19	
LD(IY+d),r	(IY+d)←r	•	•	•	•	•	•	1 1 1 1 1 1 0 1 0 1 1 1 0 r ←d→	3	5	19	
LD (HL),n	(HL)←n	•	•	•	•	•	•	0 0 1 1 0 1 1 0 ←n→	2	3	10	
LD (IX+d),n	(IX+d)←n	•	•	•	•	•	•	1 1 0 1 1 1 0 1 0 0 1 1 0 1 1 0 ←d→ ←n→	4	5	19	
LD (IY+d),n	(IY+d)←n	•	•	•	•	•	•	1 1 1 1 1 1 0 1 0 0 1 1 0 1 1 0 ←d→ ←n→	4	5	19	
LD A,(BC)	A←(BC)	•	•	•	•	•	•	0 0 0 0 1 0 1 0	1	2	7	
LD A,(DE)	A←(DE)	•	•	•	•	•	•	0 0 0 1 1 0 1 0	1	2	7	
LD A,(nn)	A←(nn)	•	•	•	•	•	•	0 0 1 1 1 0 1 0 ←n→ ←n→	3	4	13	
LD (BC),A	(BC)←A	•	•	•	•	•	•	0 0 0 0 0 0 1 0	1	2	7	
LD(DE),A	(DE)←A	•	•	•	•	•	•	0 0 0 1 0 0 1 0	1	2	7	
LD (nn),A	(nn)←A	•	•	•	•	•	•	0 0 1 1 0 0 1 0 ←n→ ←n→	3	4	13	
LD A,I	A←I	•	↓	IFF	↓	0	0	1 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 1	2	2	9	
LD A,R	A←R	•	↓	IFF	↓	0	0	1 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 1 1 1	2	2	9	
LD I,A	I←A	•	•	•	•	•	•	1 1 1 0 1 1 0 1 01000111	2	2	9	
LD R,A	R←A	•	•	•	•	•	•	11101101 0 1 0 0 1 1 1 1	2	2	9	

注：IFF 表示中断允许触发器(IFF)的内容送入 P/V 标志。

表 8.2.4—5　　　　　　　　　　**16 位的数据传送指令**

记 忆 符	操 作	标 志						指令格式	字节数	M周期数	T状态数	注 释
		C	Z	P/V	S	N	H	7 6 5 4 3 2 1 0				
LD dd,nn	dd←nn	•	•	•	•	•	•	0 0 dd0 0 0 1 ←n→ ←n→	3	3	10	dd 寄存器对 00 BC 01 DE 10 HL 11 SP
LD IX,nn	IX←nn	•	•	•	•	•	•	1 1 0 1 1 1 0 1 0 0 1 0 0 0 0 1 ←n→ ←n→	4	4	14	
LD IY,nn	IY←nn	•	•	•	•	•	•	1 1 1 1 1 1 0 1 0 0 1 0 0 0 0 1 ←n→ ←n→	4	4	14	
LD HL,(nn)	H←(nn+1) L←(nn)	•	•	•	•	•	•	0 0 1 0 1 0 1 0 ←n→ ←n→	3	5	16	
LD dd,(nn)	dd_H←(nn+1) dd_L←(nn)	•	•	•	•	•	•	1 1 1 0 1 1 0 1 0 1 dd1 0 1 1 ←n→ ←n→	4	6	20	
LD IX,(nn)	IX_H←(nn+1) IX_L←(nn)	•	•	•	•	•	•	1 1 0 1 1 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 ←n→ ←n→	4	6	20	
LD IY,(nn)	IYH←(nn+1) IYL←(nn)	•	•	•	•	•	•	1 1 1 1 1 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 ←n→ ←n→	4	6	20	
LD (nn),HL	(nn+1)←H (nn)←L	•	•	•	•	•	•	0 0 1 0 0 0 1 0 ←n→ ←n→	3	5	16	
LD (nn)dd	(nn+1)←dd_H (nn)←ddL	•	•	•	•	•	•	1 1 1 0 1 1 0 1 0 1 dd0 0 1 1 ←n→ ←n→	4	6	20	
LD (nn),IX	(nn+1)←IX_H (nn)←IX_L	•	•	•	•	•	•	1 1 0 1 1 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 ←n→ ←n→	4	6	20	
LD (nn),IY	(nn+1)←IY_H (nn)←IY_L	•	•	•	•	•	•	1 1 1 1 1 1 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 ←n→ ←n→	4	6	20	
LD SP,HL	SP←HL	•	•	•	•	•	•	1 1 1 1 1 0 0 1	1	1	6	
LD SP,IX	SP←IX	•	•	•	•	•	•	1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 1	2	2	10	
LD SP,IY	SP←IY	•	•	•	•	•		1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 1	2	2	10	
PUSHqq	(SP−2)←qq_L (SP−1)←qq_H SP←SP−2							1 1 q q 0 1 0 1	1	3	11	qq 寄存器对 00 BC
PUSH IX	(SP−2)←IX_L (SP−1)←IX_H SP←SP−2	•	•	•	•	•	•	1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 0 1 0 1	2	4	15	01 DE 10 HL
PUSH IY	(SP−2)←IY_L (SP−1)←IY_H SP←SP−2	•	•	•	•	•	•	1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 0 1 0 1	2	4	15	11 AF
POP qq	qq_H←(SP+1)	•	•	•	•	•	•	1 1 qq0 0 0 1	1	3	10	

续上表

记忆符	操作	标志						指令格式	字节数	M周期数	T状态数	注释
		C	Z	P/V	S	N	H	76543210				
	qq_L←(SP) SP←SP+2											
POP IX	IX_H←(SP+1) IX_L←(SP) SP←SP+2	•	•	•	•	•	•	11011101 11100001	2	4	14	
POP IY	IY_H←(SP+1) IY_L←(SP) SP←SP+2	•	•	•	•	•	•	11111101 11100001	2	4	14	

注：$(XX)_H$，$(XX)_L$ 分别表示寄存器对的高部和低部，例 BC_L=C，AP_H=A

表 8.2.4—6　**交换和数据块传送及搜索指令**

记忆符	操作	标志						指令格式	字节数	M周期数	T状态数	注释
		C	Z	P/V	S	N	H	76543210				
EX DE,HL	DE↔HL	•	•	•	•	•	•	11101011	1	1	4	
EX AF,AF'	AF↔AF'	•	•	•	•	•	•	00001000	1	1	4	
EXX	[BC DE HL] ↔ [BC' DE' HL']	•	•	•	•	•	•	11011001	1	1	4	寄存器组交换
EX (SP),HL	H↔(SP+1) L↔(SP)	•	•	•	•	•	•	11100011	1	5	19	
EX (SP),IX	IX_H↔(SP+1) IX_L↔(SP)	•	•	•	•	•	•	11011101 11100011	2	6	23	
EX (SP),IY	IY_H↔(SP+1) IY_L↔(SP)	•	•	•	•	•	•	11111101 11100011	2	6	23	
IDI	(DE)←(HL) DE←DE+1 HL←HL+1 BC←BC−1	•	•	↓①	•	0	0	11101101 10100000	2	4	16	
LDIR	(DE)←(HL) DE←DE+1 HL←HL+1 BC←BC−1 重复直到 BC=0	•	•	0	•	0	0	11101101 10111000	2 2	5 4	21 16	如 BC≠0 如 BC=0
LDD	(DE)←(HL) DE←DE−1 HL←HL−1 BC←BC−1	•	•	↓①	•	0	0	11101101 10101000	2	4	16	
LDDR	(DE)←(HL) DE←DE−1 HL←HL−1 BC←BC−1 重复直至 BC=0	•	•	0	•	0	0	11101101 10111000	2 2	5 4	21 16	如 BC≠0 如 BC=0
CPI	A−(HL) HL←HL+1 BC←BC−1	•	↓②	↓①	↓	1	↓	11101101 10100001	2	4	16	如 BC≠0 和 A≠(HL)
CPIR	A−(HL) HL←HL+1 BC←BC−1 重复直至 A=(HL)或 BC=0	•	↓②	↓①	↓	1	↓	11101101 10110001	2 2	5 4	21 16	如 BC=0 或 A=(HL)

续上表

记忆符	操作	标志 C	Z	P/V	S	N	H	指令格式 76543210	字节数	M周期数	T状态数	注释
CPD	A−(HL) HL←HL−1 BC←BC−1	•	↓②	↓①	↓	1	↓	11101101 10101001	2	4	16	如B$\overline{C}$≠0 和A≠(HL) 如BC=0
CPDR	A−(HL) HL←HL−1 BC←BC−1 重复直至A=(HL)或BC=0	•	↓②	↓①	↓	1	↓	11101101 10111001	2 2	5 4	21 16	或 A=(HL)

① 如果BC−1的结果=0，P/V标志是0；否则P/V=1。

② 如果A=(HL)，Z标志是1，否则Z=0。

表8.2.4—7 **8位算术、逻辑运算指令**

记忆符	操作	标志 C	Z	P/V	S	N	H	指令格式 76543210	字节数	M周期数	T状态数	注释
ADD A,r	A←A+r	↓	↓	V	↓	0	↓	10 [000] r	1	1	4	r寄存器
ADD A,n	A←A+n	↓	↓	v	↓	0	↓	11 [000] 110 ←n→	2	2	7	000 B 001 C
ADD A,(HL)	A←A+(HL)	↓	↓		↓	0	↓	10 [000] 110	1	2	7	010 D
ADD A,(IX+d)	A←A+(IX+d)	↓	↓	v	↓	0	↓	11011101 10 [000] 110 ←d→	3	5	19	011 E 100 H 101 L
ADD A,(IY+d)	A←A+(IY+d)	↓	↓	v	↓	0	↓	11111101 10 [000] 110 ←d→	3	5	10	111 A
ADC A,s	A←A+s+C_y	↓	↓	v	↓	0	↓	[001]				
SUBs	A←A−s	↓	↓	v	↓	1	↓	[010]				S是r,n,(HL)
SBC A,s	A←A−S−C_Y	↓	↓	v	↓	1	↓	[011]				(IX+d),(IY+d)
AND S	A←A∧S	0	↓	P	↓	0	1	[100]				之一，如同在ADD指
OR S	A←A∨S	0	↓	P	↓	0	1	[110]				令中所说明的。
XOR S	A←A⊕S	0	↓	P	↓	0	0	[101]				用×××代替
CP S	A−S	↓	↓	v	↓	1	↓	[111]				ADD中的[000]。
INCr	r←r+1	•	↓	v	↓	0		00r [100]	1	1	4	
INC (HL)	(HL)←(HL)+1	•	↓	v	↓	0	↓	00110 [100]	1	3	11	
INC (IX+d)	(IX+d)←(IX+d)+1	•	↓	v	↓	0	↓	11011101 00110 [100] ←d→①	3	6	23	

续上表

记 忆 符	操 作	标 志						指令格式	字节数	M周期数	T状态数	注 释
		C	Z	P/V	S	N	H	76543210				
DEC S	S←S—1	•	↓	v	↓	1	↓	[101]				

注:S 是 r,(HL),(IX+d),(IY+d)之一,如同表中所示。同样的格式和说明如同 INC 一样,但用[101]代替[100]。

P/V 列中的 V 符号指示操作结果溢出,类似 P 符号指示奇偶。V=1 表示溢出,V=0 表示不溢出。

P=1 表示结果为偶,P=0 表示结果为奇。

Cv 为进位触发器

表 8.2.4—8 **通用算术和 CPU 控制指令**

记 忆 符	操 作	标 志						指令格式	字节数	M周期数	T状态数	注 释
		C	Z	P/V	S	N	H	76543210				
DAA	变换累加器内容为 BCD 码(通常在含 BCD 码的操作数加或减之后执行)	↓	↓	P	↓	•	↓	00100111	1	1	4	累加器十进制调整
CPL	A←$\overline{A}$	•	•	•	•	1	1	00101111	1	1	4	累加器取反(1的补)
NEG	A←0—A	↓	↓	v	↓	1	↓	11101101	2	2	8	累加器取补(2的补)
CCF	C_y←—$\overline{C_y}$	↓	•	•	•	0	×	00111111	1	1	4	
SCF	C_y←1	1	•	•	•	0	0	00110111	1	1	4	
NOP	空操作	•	•	•	•	•	•	00000000	1	1	4	
HALT	CPU 暂停	•	•	•	•	•	•	01110110	1	1	4	
DI	IFF←0	•	•	•	•	•	•	11110011	1	1	4	
EI	IFF←1	•	•	•	•	•	•	11111011	1	1	4	
IM 0	置中断方式 0	•	•	•	•	•	•	11101101 01000110	2	2	8	
IM1	置中断方式 1	•	•	•	•	•	•	11101101 01010110	2	2	8	
IM 2	置中断方式 2	•	•	•	•	•	•	11101101 01011110	2	2	8	

注:IFF 为中断允许触发器;C_y 为进位触发器。

表 8.2.4—9 16 位算术运算指令

记忆符	操作	标志						指令格式	字节数	M周期数	T状态数	注释
		C	Z	P/V	S	N	H	76543210				
ADD HL,SS	HL←HL+SS	↓	•	•	•	0	×	00SS1001	1	3	11	SS 寄存器对
ADC HL,SS	HL←HL+SS+c_y	↓	↓	v	↓	0	×	11101101	2	4	15	00 BC
								01SS1010				01 DE
SBC HL,SS	HL←HL−SS−C_y	↓	↓	v	↓	1	×	11101101	2	4	15	10 HL
								01ss0010				11 SP
ADD IX,PP	IX←IX+PP	↓	•	•	•	0	×	11011101	2	4	15	PP 寄存器对
								00PP1001				00 BC
												01 DE
												10 IX
												11 SP
ADD IY,rr	IY←IY+rr	↓	•	•	•	0	×	11111101	2	4	15	rr 寄存器对
								00rr1001				00 BC
												01 DE
												10 IY
												11 SP
INC SS	SS←+1	•	•	•	•	•	•	00SS0011	1	1	6	
INC IX	IX←IX+1	•	•	•	•	•	•	11011101	2	2	10	
								00100011				
INC IY	IY←IY+1	•	•	•	•	•	•	11111101	2	2	10	
								00100011				
DEC SS	SS←SS−1	•	•	•	•	•	•	00SS1011	1	1	6	
DEC IX	IX←IX−1	•	•	•	•	•	•	11011101	2	2	10	
								00101011				
DEC IY	IY←IY−1	•	•	•	•	•	•	11111101	2	2	10	
								00101011				

注：SS 是寄存器对 BC,DE,HL,SP 之中任一个；
PP 是寄存器对 BC,DE,IX,SP 之中任一个；
rr 是寄存器对 BC,DE,IY,SP 之中任一个。

表 8.2.4-10

循环和移位指令

记忆符	操作	标志 C	Z	P/V	S	N	H	指令格式 76 543 210	字节数	M周期数	T状态数	注释
RLCA	[Cy] ←— [7←0] A	↑	•	•	•	0	0	00 000 111	1	1	4	
RLA	[Cy] ←— [7←0] A	↑	•	•	•	0	0	00 010 111	1	1	4	
RRCA	[7→0] A —→ [Cy]	↑	•	•	•	0	0	00 001 111	1	1	4	
RRA	[7→0] A —→ [Cy]	↑	•	•	•	0	0	00 011 111	1	1	4	
RLC r	[Cy] ←— [7←0] ← r,(HL),(LX+d),(1Y+d)	↑	↑	P	↑	0	0	11 001 011 00 [000] r	2	2	8	
RLC (HL)		↑	↑	P	↑	0	0	11 001 011 00 [000] 110	2	4	15	
RLC (IX+d)		↑	↑	P	↑	0	0	11 011 101 11 001 011 ←—d—→ 00 [000] 110	4	6	23	
RLC(IY+d)		↑	↑	P	↑	0	0	11 110 101 11 001 011 ←—d—→ 00 [000] 110	4	6	23	
RLs	[Cy] ←— [7←0] ← s=r,(HL),(IX+d) (IY+d)	↑	↑	P	↑	0	0	[010]				指令格式和状态同 RLCs，为形成新的操作码把新的码代替 RLCS 中的 [000]
RRCs	[7→0] —→ [Cy] s=r,(HL),(IX+d) (IY+d)	↑	↑	P	↑	0	0	[001]				
RRs	→[7→0] —→ [Cy] — s=r,(HL),(IX+d) (IY+d)	↑	↑	P	↑	0	0	[011]				
SLA s	[Cy] ←— [7←0] ←0 s=r,(HL),(IX+d) (IY+d)	↑	↑	P	↑	0	0	[100]				
SRA s	[7→0] —→ [Cy] s=r,(HL),(IX+d) (IY+d)	↑	↑	P	↑	0	0	[101]				
SRL s	0→ [7→0] —→ [Cy] s=r,(HL),(IX+d) (IY+d)	↑	↑	P	↑	0	0	[111]				
RLD	A [74 30] [74 30] (HL)	•	↑	P	↑	0	0	11 101 101 01 101 111	2	5	18	累加器高半部内容不变
RRD	A [74 30] [74 30]	•	↑	P	↑	0	0	11 101 101 01 100 111	2	5	18	

表 8.2.4-11　　**位操作指令**

记忆符	操作	标志						指令格式	字节数	M周期数	T状态数	注释
		C	Z	P/V	S	N	H	76543210				
BIT b,r	Z←$\overline{r_b}$	•	↓	×	×	0	1	11 001 101	2	2	8	r　寄存器
								01 b r				000　B
BIT b,(HL)	Z←$\overline{(HL)}_b$	•	↓	×	×	0	1	11 001 011	2	3	12	001　C
								01 b110				010　D
BIT b,(IX+d)	Z←$\overline{(IX+d)}_b$	•	↓	×	×	0	1	11 011 101	4	5	20	011　E
								11 001 011				100　H
								←d→				101　L
								01 b 110				111　A
BIT b,(IY+d)	Z←$\overline{(IY+b)}_b$	•	↓	×	×	0	1	11 111 101	4	5	20	b　检查的位
								11 001 011				000　0
								←d→				001　1
								01 b 110				010　2
SET b,r	r_b←1	•	•	•	•	•	•	11 001 011	2	2	8	011　3
								[11] b r				100　4
SET b,(HL)	(HL)b←1	•	•	•	•	•	•	11 001 011	2	4	15	101　5
								[11] b 110				110　6
SET b,(IX+d)	(IX+d)b←1	•	•	•	•	•	•	11 011 101	4	6	23	111　7
								11 001 011				
								←d→				
								[11] b 110				
SET b,(IY+d)	(IY+d)b←1	•	•	•	•	•	•	11 111 101	4	6	23	
								11 001 011 ←d→				指令格式和说明如同 SET b,S 只要
RESb,S	Sb←0 S = r,(HL),(IX+d),(IY+d)11							11b.110	1	1	1	用[10]代替 SET b,S 中的[11]

注:S_b 表示单元 S 和第 b(0 到 7)位。

表 8.2.4-12　　**转移指令**

记忆符	操作	标志 C	Z	P/V	S	N	H	指令格式 76543210	字节数	M周期数	T状态数	注释
JP nn	PC←nn	•	•	•	•	•	•	11000011	3	3	10	
								←n→				
								←n→				
JP CC,nn	如果条件 CC 是真,PC ←nn,否则顺序	•	•	•	•	•	•	11CC010	3	3	10	CC 条件
								←n→				000NZ 非零
								←n→				001Z 零
JP C	PC←PC+e	•	•	•	•	•	•	00011000	2	3	12	010NC 没有进位
								←e−2→				011C 进位
JP C,e	如果 C=0,顺序;	•	•	•	•	•	•	0011000	2	3	7	100PO 奇偶位为奇
	如果 C=1,PC←PC+e							←e−2→	2	3	12	101PE 奇偶位为偶
JR NC,e	如果 C=1,顺序;	•	•	•	•	•	•	00110000	2	2	7	110 P 符号正
	如果 C=0, PC←PC+e							←e−2→	2	3	12	111M 符号负
JR Z,e	如果 Z=0,顺序;	•	•	•	•	•	•	00101000	2	2	7	
	如果 Z=1,PC←PC+e							←e−2→	2	3	12	
JR NZ,e	如果 Z=1,顺序;	•	•	•	•	•	•	00100000	2	2	7	如果条件不满足
	如果 Z=0,PC←pc+e							←e−2→	2	3	12	如果条件满足
JP (HL)	PC←HL	•	•	•	•	•	•	11101001	1	1	4	
JP (IX)	PC←IX	•	•	•	•	•	•	11011101	2	2	8	
								11101001				
JP (IY)	PC←IY	•	•	•	•	•	•	11111101	2	2	8	
								11101001				
DJNZ e	B←B−1,如果 B=0 顺序	•	•	•	•	•	•	00010000	2	2	8	如果 B=0
	如果 B≠0,PC←PC+e							←e−2→	2	3	13	如果 B≠0

注:e 是带符号的 2 的补码数,其范围为(−126,139)。e−2 提供 PC+e 的有效地址,PC 要加 e 之前加 2。

表 8.2.4—13　　　　**调用和返回指令**

记忆符	操作	标志						指令格式	字节数	M周期数	T状态数	注释
		C	Z	P/V	S	N	H	76543210				
CALL nn	$(SP-1)\leftarrow PC_H$	•	•	•	•	•	•	11001101	3	5	17	
	$(SP-2)\leftarrow PC_L$							←n→				
	$PC\leftarrow nn$							←n→				
	$SP\leftarrow SP-2$											
CALL cc,nn	如果条件 cc 是假，顺序；否则如同 CALL	•	•	•	•	•	•	11 cc100	3	3	10	如果 cc 是假
								←n→				
	nn							←n→	3	5	17	如果 cc 是真
RET	$PC_L\leftarrow(SP)$ $PC_H\leftarrow(SP+1)$ $SP\leftarrow SP+2$	•	•	•	•	•	•	11001001	1	3	10	
RET cc	如果条件 cc 是假，顺序；否则如同 RET	•	•	•	•	•	•	11 cc000	1	1	5	如果 cc 是假
									1	3	11	如果 cc 是真
RETI	从中断返回	•	•	•	•	•	•	11101101	2	4	14	
								01001101				
RETN	从无屏蔽的中断返回	•	•	•	•	•	•	11101101	2	4	14	
								01000101				
RST p	$P(SP-1)\leftarrow PC_H$	•	•	•	•	•	•	11t111	1	3	11	
	$(SP-2)\leftarrow PC_L$											
	$PC_H\leftarrow 0$											
	$PC_L\leftarrow P$											
	$SP\leftarrow SP-2$											

注：表中的 cc 和 RSTp 指令中的 t 与 p 的含义为：

cc 条件	t	p
000NZ 非零	000	00H
001 Z 零	001	08H
010 NC 没有进位	010	10H
011 C 进位	011	18H
100 PO 奇偶位为奇	100	20H
101 PE 奇偶位为偶	101	28H
110 P 符号为正	110	30H
111 M 符号为负	111	38H

表 8.2.3-14 I/O 指 令

记忆符	操作	标志 C	Z	P/V	S	N	H	指令格式 76543210	字节数	M周期数	T状态数	注释
IN A,(n)	A←(n)	•	•	•	•	•	•	11011011 ←n→	2	3	10	n到A_0~A_7 累加器到A_8~A_{15}
IN r,(C)	r←(C),如果 r=110仅标志受影响	•	↓ ①	p	↓	0	↓	11101101 01 r000	2	3	11	C到A_0~A_7 B到A_8~A_{15}
INI	(HL)←(C),B←B−1 HL←HL+1	•	↓	×	×	1	×	11101101 101000010	2	4	15	C到A_0~A_7 B到A_8~A_{15}
INIR	(HL)←(C),B←B−1 HL←HL+1重复直到 B=0	•	1	×	×	1	×	11101101 10110010	2 2	5(如B≠0) 4(如B=0)	20 15	C到A_0~A_7 B到A_8~A_{15}
IND	(HL)←(C),B←B−1 HL←HL−1	•	①↓	×	×	1	×	11101101 10101010	2	4	15	C到A_0~A_7 B到A_8~A_{15}
INDR	(HL)←(C),B←B−1 HL←HL+1重复直到 B=0	•	1	×	×	1	×	11101101 10111010	2 2	5(如B≠0) 4(如B=0)	20 15	C到A_0~A_7 B到A_8~A_{15}
OUT (n),A	(n)←A	•	•	•	•	•	•	11010011 ←n→	2	3	11	n到A_0~A_7 累加器到A_8~A_{15}
OUT (C),r	(C)←r	•	•	•	•	•	•	11101101 01 r 001	2	3	12	C到A_0~A_7 B到A_8~A_{15}
OUTI	(C)←(HL),B←B−1 HL←HL+1	•	①↓	×	×	1	×	11101101 10100011	2	4	15	C到A_0~A_7 B到A_8~A_{15}
OTLR	(C)←(HL),B←B−1 HL←HL+1重复直至 B=0	•	1	×	×	1	×	11101101 10110011	2 2	5(如B≠0) 4(如B=0)	20 15	C到A_0~A_7 B到A_8~A_{15}
OUTD	(C)←(HL),B←B−1 HL←HL−1	•	①↓	×	×	1	×	11101101 10101011	2	4	15	C到A_0~A_7 B到A_8~A_{15}
OTDR	(C)←(HL),B←B−1 HL←HL−1重复直至 B=0	•	1	×	×	1	×	11101101 10111011	2 2	5(如B≠0) 4(如B=0)	20 15	C到A_0~A_7 B到A_8~A_{15}

注:1. 如果B−1的结果是零,Z是置位,否则复位。
2. A_{15}~A_0为地址总线。

4.2 Z80与8080指令对照表(见表8.2.4—15)

表8.2.4—15 **Z80与8080指令对照表**

	8080	Z—80	功能说明
数据传送指令	MOV r_1,r_2	LDr_1r_2	r_1←r_2
	MOV M,r	LD(HL),r	(HL)←r
	MOV r,M	LD r,(HL)	r←(HL)
	MVI r,n	LD r,n	r←n
	MVI M,n	LD(HL),n	(HL)←n
	LXI B,nn	LD BC nn	BC←nn
	LXI D,nn	LD DE,nn	DE←nn
	LXI H,nn	LD HL,nn	HL←nn
	LXI SP,nn	LD SP,nn	SP←nn
	STAX B	LD (BC),A	(BC)←A
	STAX D	LD (DE),A	(DE)←A
	LDAX B	LD A,(BC)	A←(BC)
	LDAX D	LD A,(DE)	A←(DE)
	SHLD nn	LD (nn),HL	(nn)←L,(nn+1)←H
	LHLD nn	LD HL,(nn)	L←(nn),H←(nn+1)
	STA nn	LD (nn),A	(nn)←A
	LDA nn	LD A,(nn)	A←(nn)
	XTHL	EX(SP,)HL	L←(SP),H←(SP+1)
	XCHG	EX DE,HL	D↔H,E↔L
	PCHL	JP (HL)	PC←HL
	SPHL	LDS P,HL	SP←HL
增量与减量指令	I NR r	INCr	I←r+1
	DCR r	DEC r	r←r—1
	INR M	INC (HL)	(HL)←(HL+1)
	DCR M	DEC (HL)	(HL)←(HL)—1
	INX B	INC BC	BC←BC+1
	INX D	INC DE	DE←DE+1
	INX H	INC HL	HI←HL+1
	INX SP	INC SP	SP←SP+1
	DCX B	DEC BC	BC←BC—1
	DCX D	DEC DE	DE←DE—1
	DCX H	DEC HL	HL←HL—1
	DCX SP	DEC SP	SP←SP—1

续上表

	8080	Z—80	功能说明
算术与逻辑运算指令	ADD r	ADD A,r	$A \leftarrow A+r$
	ADC r	ADC A,r	$A \leftarrow A+r+c_y$
	SUB r	SUB r	$A \leftarrow A-r$
	SBB r	SBC A,r	$A \leftarrow A-r-c_y$
	ANA r	AND r	$A \leftarrow A \wedge r$
	XRA r	XOR r	$A \leftarrow A \vee r$
	ORA r	OR r	$A \leftarrow A \vee r$
	CMP r	CP r	$A \leftarrow A-r$
	ADD M	ADD A,(HL)	$A \leftarrow A+(HL)$
	ADC M	ADC A, (HL)	$A \leftarrow A+(HL)+c_y$
	SUB M	SUB (HL)	$A \leftarrow A-(HL)$
	SBB M	SBC A,(HL)	$A \leftarrow A-(HL)-c_y$
	ANA M	AND (HL)	$A \leftarrow A \wedge (HL)$
	XRA M	XOR (HL)	$A \leftarrow A \vee (HL)$
	ORA M	OR (HL)	$A \leftarrow A \vee (HL)$
	CNP M	CP (HL)	$A \leftarrow A-(HL)$
	ADI n	ADD A,n	$A \leftarrow A+n$
	ACI n	ADC A,n	$A \leftarrow A+n+c_y$
	SUI n	SUB A,n	$A \leftarrow A-n$
	SBI n	SBC A,n	$A \leftarrow A-n-c_y$
算术与逻辑运算指令	ANI n	AN D,An	$A \leftarrow A \wedge A$
	XRI n	XOR A,n	$A \leftarrow A \vee n$
	ORI n	OR A,n	$A \leftarrow A \vee n$
	CPI n	CP A,n	$A \leftarrow A-n$
	DAD B	ADD HL,BC	$HL \leftarrow HL+BC$
	DAD D	ADD HL,DE	$HL \leftarrow HL+DE$
	DAD H	ADD HL,HL	$HL \leftarrow HL+HL$
	DAD SP	ADD HL,SP	$HL \leftarrow HL+SP$
	DAA	DAA	10进补正
	CMA	CPL	$A \leftarrow A$
	STC	SCF	$C_y \leftarrow I$
	CMC	CCF	$C_y \leftarrow C_y$
循环指令	RLC	RLCA	$A_0 \leftarrow A_7, C_y \leftarrow A_7$
	RRC	RHCA	$A_7 \leftarrow A_0, C_y \leftarrow A_0$
	RAL	RLA	$A_7 \leftarrow A_0 \leftarrow C_y \leftarrow A_7$
	RAR	RRA	$A_0 \leftarrow A_7 \leftarrow C_y \leftarrow A_0$

续上表

	8080	Z—80	功能说明
转移指令	JMP nn	JP nn	Jump 10 nn
	JNZ nn	JP NZ,nn	IF Z=0,Jump to nn
	JN nn	JP Z,nn	IF Z=1,"
	JNC nn	JP NC,nn	IF C_y=0,"
	JC nn	JP C,nn	C_y=1,"
	JPO nn	JP PO,nn	IF P=0,"
	JPE nn	JP PE,nn	IF P=1,"
	JP nn	JP P,nn	IF S=0,"
	JMnn	JP M,nn	IF S=1,"
子程序调用指令	CALL nn	CALL nn	CALL t0 nn
	CNZ nn	CALL Nz,nn	IF Z=0,"
	CZ nn	CALL Z,nn	IF Z=1,"
	CNC nn	CALL NC,nn	IF C_y=0,"
	CC nn	CALL C,nn	IF C_y=1,"
	CPO nn	CALL PO,nn	IF P=0,"
	CPEnn	CALL PE,nn	IF P=1,"
	CP nn	CALL P,nn	IF S=0,"
	CM nn	CALL M,nn	IF S=1,"
	RST n	RST SS	n,SS=00,08,10,18,20 28 30, 38
返回指令	RET	RET	RETURN
	RNZ	RET NZ	IF Z=0,"
	RZ	RET Z	IF Z=1,"
	RNC	RET NC	IF C_y=0,"
	RC	RET C	IF C_y=1,"
	RPO	RET PO	IF P=0,"
	RPE	RET PE	IF P=1,"
	RP	RET P	IF S=0,"
	RM	RET M	IF S=1,"
堆栈操作指令	PUSH B	PUSH BC	(SP−1)←B,(SP−2)←C
	PUSH D	PUSH DE	(SP−1)←D,(SP−2)←E
	PUSH H	PUSH HL	(SP−1)←H,(SP−2)←L
	PUSH PSW	PUSH AF	(SP−1)←A,(SP−2)←F
	POP B	POP BC	B←(SP−1),C←(SP−2)
	POP D	POP DE	D←(SP−1),E←(SP−2)
	POP H	POP HL	H←(SP−1),L←(SP−2)
	POP PSW	POP AF	A←(SP−1),F←(SP−2)

第 5 章　计算机语言和程序设计

1　常用计算机语言

1.1　汇编语言

汇编语言是一种符号语言，用它编写的源程序经过翻译程序"翻译"成机器语言(即目标程序)，计算机才能执行。汇编语言和机器语言指令是一一对应的。

1.2　高级语言

高级语言是用一种与计算机构造无关的符号和语法规则，面向过程和算法的程序设计语言。用它编写的源程序经过编译程序"翻译"成机器语言，计算机才能执行，或者通过解释程序边解释边执行。高级语言可在不同型号机器上运行。

2　高级语言 BASIC 及举例

2.1　BASIC 语言的词法(见表 8.2.5—1)

表 8.2.5—1　　**BASIC 语言所用的词类**

名称	说　　明	举　　例
数值常数	定点表示(定点数包括数字、小数点、正负号)实数型	
	浮点表示(浮点数为整数或小数乘 10 的整数次幕)指数型	
字符串	与数值一样也为常数，但字符串必须用双引号括起来	"CHINA"，"FORTRAN"
数组	一维数组	B(4)，A(N)
	二维数组	B(3,4)，A(N,M)
变量	简单变量(用 26 个英文字母之一或一个字母后跟一数字表示)	A3，A
	下标变量(数组中各元素位置由下标确定，故称各元素为下标变量)	A(1,1)，A(6)
	字符串变量	A $，A2$
赋值号	二(不是等号)	Z=SLN(N*X)/Y
算术运算符	+，-，*，/，∧(或↑)，左右圆括号(，) 运算次序为()→函数→↑→*，/→+，-	B↑2—4*A*C
关系运算符	>，<，=，<>，>=，<= 运算次序为先算术运算，后关系运算	IF×>Y THEN 20
表达式	算术表达式(由算术运算符，圆括号把常数，变量，函数连起来的式子)	
	关系表达式(对两个量进行比较计算的式子)	

名称	说明		举例
字符串连接符	,(或+) =		
函数	SIN(X) COS(X) TAN(X)	sinx 自变量要用弧度表示 COnX X=表达式或数值 tanx	SİN(60 * 31416/180)
	ATN(X)	$tan^{-1}x$ 反正切函数值用弧度表示	
	LOG(X)	lnx 求 e 为底的对数,X>0	
	EXP(X)	e^x 求 e^x	
	SQR(X)	$\sqrt{X}$ 其 X>0	SQR (B↑2-4*A*C)
	ABS(X)	$\|x\|$	
	INT(X)	求最大整数≤x	INT(-7·9)=-8,INT(7·8)=7
	RND(X)	取 0 到 1 之间均匀分布的随机数	x 不是实际的自变量,只起形式的作用,可任意取,所取的随机数与时间有关
	SGN(X)	符号函数 $SGN(X)=\begin{cases}1 & (当 X>0)\\0 & (当 X=0)\\-1 & (当 X<0)\end{cases}$	
	FNA(X)	自定义函数	
	LEN(X $)	测字符串变量长度函数(包括字符,空格的个数)	
	TAB(X)	打印格式函数,与 PRINT 语句配合使用	
	EOF(X)	判断顺序文件是否结束的文件结尾语句函数,当结束时函数值为 1,否则为 0X 代表文件号	

2.2 BASIC 语言的句法(见表 8.2.5—2 至 8.2.5—4)

表 8.2.5—2　　**基本 BASIC 语言语句**

名称	说明	举例
LET	计算并赋值,其表达式,变量应都已赋值,LET 本身可省略	10 LET A=x+Y
READ	从数据区读数并赋给 DATA 语中各对应变量	10 DATA 3,-4,"MNC"
DATD	在数据区存放数据,DATA 只为 READ 语句提供数据,是非执行语句	20 READ X,Y,A $
RESTORE	恢复数据区(DATA)初始位置,必须将 RESTORE 放在重读数句的 READ 语句前	
INPUT	由键盘输入数据	

续上表

名　称	说　　明	举　例
PRINT	输出(打印,显示)数据、字符串、计算,可用";"代替,输出项可以是变量,表达式或双引号括起来的字符串及其组合,输出打印格式见表8.2.5-4	和 PRINT"A=";A
GOTO	无条件转移到GOTO后面标号指定的语句去执行	60 GOTO 50
IF … THEN	条件转移语句,THEN后可以跟GOTO(常省去),GOSUB,另一个IF…THEN语句,还可以跟LET,PRLNT,CLOSE等语句	60 IFA $ ="END"THEN 200 60 IF X>0 THEN IF X<THEN Y=1
FOR…TO … STEP NEXT	循环变量是简单变量,它控制循环次数,从初值到终值每次间隔为步长值 循环语句出口	10 FOR I=1 TO 10 STEP 2 ⋮ 40 NEXT I
STOP	暂仃程序的执行	50 STOP
END	表示源程序结束	100 END
DEF FNA (A)	定义一个函数,然后用函数名FN(字母)及自变量值来调用	10 DEF FNA(X)=3·14(X) ⋮ 40 A=FNA(10)+15
GOSUB RETURN	转向子程序入口,当子程序执行到最后一条,又自动返回主程序GOSUB下面的语句	40 GOSUB 250 ⋮ 450 RETURN
REM	注释语句,可放在程序任何位置,是非执行语句	10 REM MAN PROGRAM
DIM	定义数组维数及各维的长度	10 DIM A(10),AI $(15),B(3,5)

表 8.2.5-3　　**扩展BASIC语句表**

语　句	说　　明	举　例
IF{THEN / GOTO / GOSUB}	条件转移	30 IF K=A GOSUB 300
RANDOM	恢复随机数产生器到初始状态	10 RANDOM
ON{THEN / GOTO / GOSUB}	控制转向语句(开关语句)	60 ON D THEN 100,120,190
PRIN USING	自选打印格式语句	80 PRINT USING"++###·##",A,B
MAT READ	读入矩阵	20 MAT READ A,B
MAT INPUT	键盘输入矩阵	30 MAT INPUT A,B
MAT PRINT	打印矩阵	80 MAT PRINT X
MAT X=A+B	矩阵加	80 MAT X=A+B

续上表

语　句	说　　明	举　　例
MAT X=A—B	矩阵减	80 MAT X=A—B
MAT X=A*B	矩阵乘	80 MAT X=A*B
MAT B=ZER	求全零矩阵	80 MAT B=ZER
MAT B=CON	求全1矩阵	80MAT B=CON
MAT B=IND	求单位矩阵，即矩阵的对角线元素为1，其余元素都为0	80 MAT B=IND
MAT B = INV (A)	求A的逆矩阵	80 MAT B=LNV(A)
MAT B = TRN (A)	求A的转置矩阵	80 MAT B=TRN(A)
OPEN FILE	打开文件，设置文件方式	60 OPEN FILE (0, 3), "BPHONE"
CLOSE FILE	关闭文件	60 CLOSE FILE(1)
READ FILE	读二进制文件	60 READ FILE(0),A$,B$, C$
WRITE FILE	写二进制文件	60 WRITE FILE(1),A,B,C,
INPUT FILE	按ASC 11码输入	60 INPUT FILE(2),A,B,C
PRINT FILE	按ASC 11码输出	80 PRINT FILE (3),A, B,C
CHAIN	键接语句，输入一个程序并执行	80 CHAIN"ABC"
PRINT FILE USING	按自选格式输出文件	80 PRINT FILE(3)USING"+ ####",A,B

表8.2.5—4　　**输出打印格式**

打印项	变量或表达式的值 格式：PRINT $m_1, m_2, \cdots\cdots m_n$	$m_{1\sim n}$代表变量或表达式，变量必须先赋值，常数量是变量中一种特例
	原样打印 格式：PRINT"原样打印内容"	引号只作为原样打印内容的界限，本身不能作为一个符号，引号内的内容照原样打印，并不进行运算
	原样打印和变量或表达式值的打印 格式：PRINT "原样打印"; $m_1, m_2, \cdots\cdots, m_n$	
	空行打印 格式：PRINT	定义符后无任何内容，表示输出一个空行，数据较多时，可使打印的数据结果清晰

续上表

语句结尾标点	语句结尾无标点	打印完本语句最后一组数据后，打印机自动换行
	语句结尾为分号'；'	打印完本语句最后一组数据后不换行；紧接着打印下一个打印语句的各值
	语句结尾为逗号'，'	打印完本语句后，不换行，下一个打印语句的第一项的值接着打印在下一个标准位置上
	紧凑打印格式：各打印项之间以分号分隔时 PRINT 打印项；打印项；……打印项	打印结果在两项之间留一个空格，数据前的'＋'号不打印，但占一格。字符串之间用分号分隔时，打印不留空格
	标准打印格式：各打印项之间以逗号分隔时 PRINT 打印项，打印项，……，打印项	打印数值时，各标准位置的第一格是符号位，从第二个位置开始打印数值，打印字符串时，则从符一个标准位开始打印
	定位打印格式：PRINT TAB 表达式；一组打印项	对表达式自动取整，并从该整数给定的位置起输出打印项的内容，表达式的值不能为负，而且是递增
	空行打印格式：PRINT	PRINT 后没有任何表达式，该语句仅输出一个空行

3 汇编语言程序设计

3.1 汇编语言语句格式（见表 8.2.5—5 至 8.2.5—6）

表 8.2.5—5 汇编语句词法规则表

名　称	规则说明	举　例
数　制	采用二进制，八进制、十进制、十六进制等，数必须是数字开头，若十六进制数以字母开头时，前面必须加"零"	0AH
字　符	使用 ASC 11 码，字符在微机中用代码存贮，ASC 11 码字符及其代码对应关系见表 6.2.2—3	
字符名	用 1～6 个字母和数字组成的字符串表示，但第一个字符必须是字母，当长度超过 6 个，则自动舍去	表示汇编语言中的操作数和地址码
表达式（算术表达式，逻辑表达式，关系表达式。	在汇编源程序时应计算出表达式的值，逻辑值或确定关系	

表 8.2.5—6 **汇编语言语句格式**

	格　　式	含　　　　意	举　　例
汇编指令语句	标号;操作码 操作数;注解	汇编成目标程序时能产生对应的目标代码,标号后为冒号,操作码后是空格,两个操作数之间是逗号,注解段,标号段为任选项	见表 8.2.4—3～14
	标号 ORG 表达式	规定目的程序或数据块存贮器中的起始地址	ORG 40H
汇编为指令语句	标号 END 表达式	表示源程序结束,子程序不带表达式,	END START
	标号:EQU 表达式	把表达式赋给标号,在整个程序中只能赋一次可多次使用,标号可作数或地址,	COUNT:EQU OAH
	标号:DEFL 表达式	把表达式赋给标号,可对同一标号重新赋值	
	标号:DEFB 项或项表	把项和项表的数值存入标号指出的地址开始的连续单元,其中项或项表是指一个字节,字节串,字符串	TABLE: DEFB 10, 8, 0, −7
	标号:DEFW 项或项表	同 DEFB,只是项是一个字节,用来提绝对地址,建立地址表	BRTAB: DW R1, R2,R3
	标号:DEFS 表达式	在目的程序中,从标号指出的地址开始,保留由表达式确定的存贮单元空间	THIRD:DS 2
	标号 DEFM 项或项表	将字符串变为 ASC 11 码后顺序存入以标号为起始地址的存贮单元空间	
宏定义	〈宏指令名:〉MACRO〈宏参数表〉宏指令体 MEND	宏参数是形式参数,由任意个 ASC11 码组成,必须以"#"号开头,两个参量之间用逗号分隔,它必须与宏定义体的参量一致	ROTATE: MACRO # REGIS RLC # REGIS RLC#REG-IS……MEND
宏调用	〈标号:〉〈宏指令名〉〈实在参数表〉	宏指令名必须与宏定义名一致,且其中参数也与宏定义中参数的数量和次序一致	START: ROTATE H

3.2 汇编语言程序设计

3.2.1 程序设计步骤

程序设计步骤:

1)建立数学模型—对研究的问题归纳为抽象的数学表达式;

2)确定算法—将复杂运算化为算术运算和逻辑运算;

3)程序结构设计—流程图法,模块化程序结构法,结构式程序设计法和自顶向下设计法等;

4)编制源程序;

5)上机调试源程序。

3.2.2 程序的基本结构

程序的基本结构有顺序结构,分支结构和循环结构(见表 8.2.5—7)。

表 8.2.5—7　　**程序基本结构表**

名称	含　　义	流　程　图	举　　例
顺序程序	按照指令的书写顺序依次执行的程序		求双字节补码： LD HL,(2030H) LD A,L CPL LDL,A LD,A H CPL LD H,A INC HL LD (2031H),HL HALT END
分支程序	计算机对不同情况进行判断,并根据判断作出不同处理的分支结构程序,实现方法是利用转移指令和调用指令,见图8.2.5—1	开始 $A \leftarrow C$ $A > 0$？　是 否 $A \leftarrow \overline{A}+1$ $C \leftarrow A$ 结束 图 8.2.5 1　取绝对值流程图	单字节数取绝对值： LD A,C AND A JP P,DONE NEG LD C,A HALT DONE:END
循环程序	重复地执行某一段程序,由计数器对循环次数进行计数,并由条件转移指令来控制循环,见图8.2.5—2	开始 $m=0$　是 否　$e \leftarrow 0$ m最高位=1?　是 否　结束 m左移一位 $e \leftarrow e-1$ 图 8.2.5—2　浮点规格化流程图	浮点数规格化： ;尾数在 E ;阶在 D LD A,E AND　A JR Z,DONEO LOOP:DEC D ADD A,A JR　NC, LOOP INC D RRA HALT DONEO:LD D,O HALT

第6章　微型计算机的接口技术

1　CPU与外设传送信息的方式

1.1　CPU与I/O之间的接口信号(见表8.2.6—1)

表8.2.6—1　　CPU与I/O之间的接口信息

信息名称		说　　明	接　口　图　例
数据	数字量	用二进制或ASC 11码表示的数或字符	端口地址 8；数据；$\overline{IORQ}$；$\overline{RD}$；$\overline{WR}$；CPU (Z80)；I/O接口；端口1；端口2；端口3；Data 数据；Status 状态；Control控制；I/O设备 图8.2.6—1　CPU与I/O之间的接口
	开关量	表示两个状态的量，它只用一位二进制数	
	模拟量	现场采集的连续变化的物理信息，如温度，压力……	
状态信息		反映I/O设备工作状态的信息，如输入设备是否准备好(Ready)，输出设备是否有空(Empty)或"忙"(Busy)等	
控制信息		由CPU输出给I/O接口，用来控制什么操作的信号，如选通(Strobe)控制信号……	由图可见，数据，状态，控制信息分别由不同地址的端口传送，对外设寻址就是对I/O端口寻址，通过输入/输出指令向这些端口存或取信息

1.2　查询方式

数据传送是通过微机执行程序来完成的称查询方式。它完成一次传送的步骤为：

1)CPU向I/O设备发命令字，请求数据传送；2)读状态寄存器；3)测试状态字中的状态；4)根据I/O设备状态进行条件转移；如"忙"状态，则程序返回重读状态字的重复循环等待，直

到发出已准备好 Ready 为止;5)执行数据传送;6)复位状态寄存器,结束传送,停止 I/O 设备,见图 8.2.6—2。

如果有多个外设,CPU 则周期地逐个查询 I/O 设备,测试 I/O 接口的状态位,如“准备好”,CPU 就执行数据输入/输出服务子程序,然后返回继续查询下一个设备,见图 8.2.6—3。

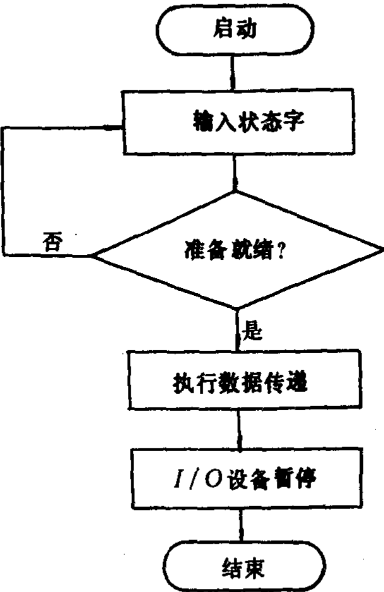


图 8.2.6—2 查询传送流程图

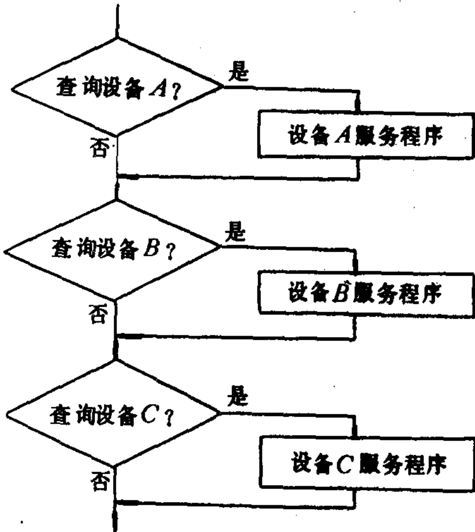


图 8.2.6—3 查询多个 I/O 设备流程图

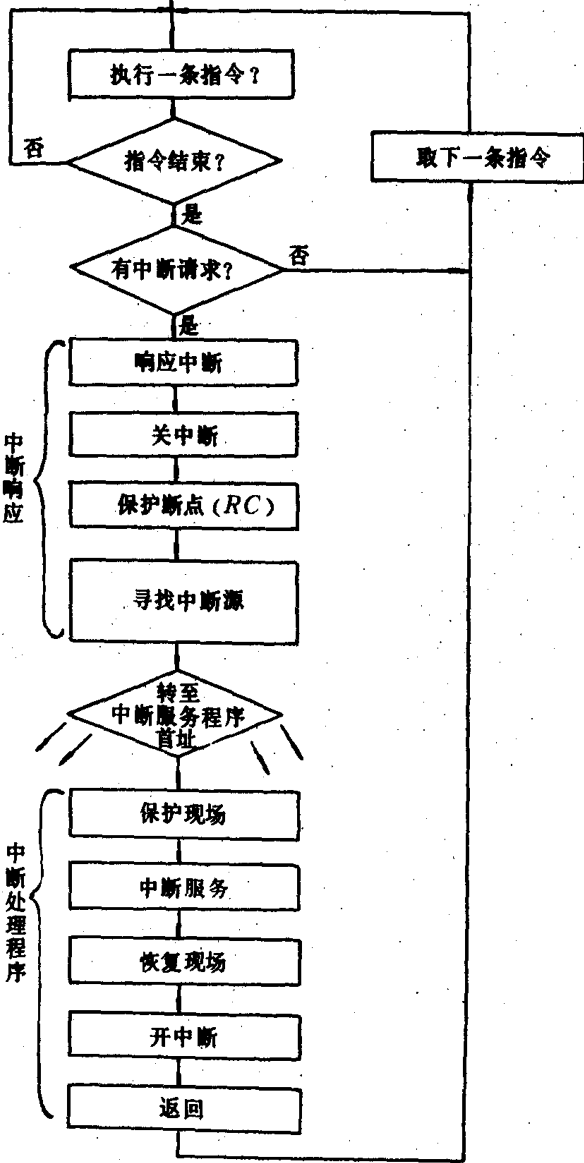
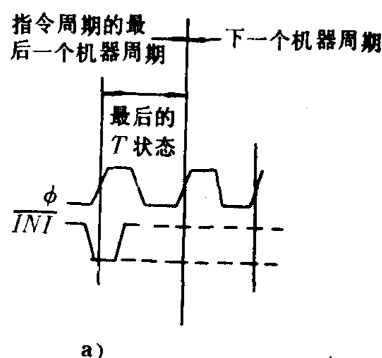


图 8.2.6—4 中断处理流程

1.3 中断传送方式

中断是当外设向 CPU 发出中断请求，然后 CPU 响应
中断，暂停 CPU 正在执行的程序，转去执行该外设的中断服务程序，当处理完毕后，CPU 返被中断的程序继续执行。

中断处理过程：1)中断请求；2)中断响应；3)中断处理；见图 8.2.6—4。例如 Z80 由外设发出低电平有效$\overline{INT}$信息与 CPU 的$\overline{INT}$线相连，CPU 检查中断请求输入线$\overline{INT}$的时间见图 8.2.6—5。当$\overline{INT}$有效，CPU 就进入中断响应周期。中断处理程序中保护现场，是把断点处 CPU 各寄存器(包括状态标志寄存器)的内容压入堆栈；恢复现场是在中断服务完成后，把压入堆栈的内容再弹回去；一般用 PUSH，POP 指令完成。中断处理程序最后是一条中断返回指令 RETI 或 RETN，使断点弹回到 PC，以便继续执行原程序。



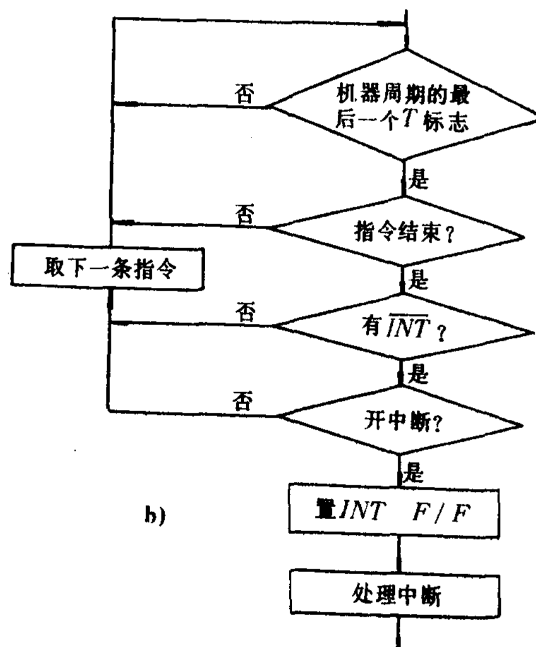


图 8.2.6—5 中断采样与中断时序流程

a)中断采样；b)中断时序流程

1.3.1 查询中断

每 8 个外设的中断请求触发器组成一个中断请求字，按中断优先权次序排列组成状态输入口。只有外设发出中断请求时，CPU 才执行查询程序，依次读出外设的中断状态位，再判断中断请求是否有效，直到找出请求中断的外设，CPU 然后转至该外设的中断服务程序，见图 8.2.6—6。

1.3.2 矢量中断

能寻找中断设备并自动提供中断服务程序入口地址，直接转入中断服务程序的方法称为矢量中断。如 Z80CPU 是用方式 O(用 RST P 指令作为中断矢量存放在 I/O 接口里，执行 RSTP 后，PC 就得到中断服务程序入地址)来完成，见表 8.2.6—2 及图 6.2.6—7。

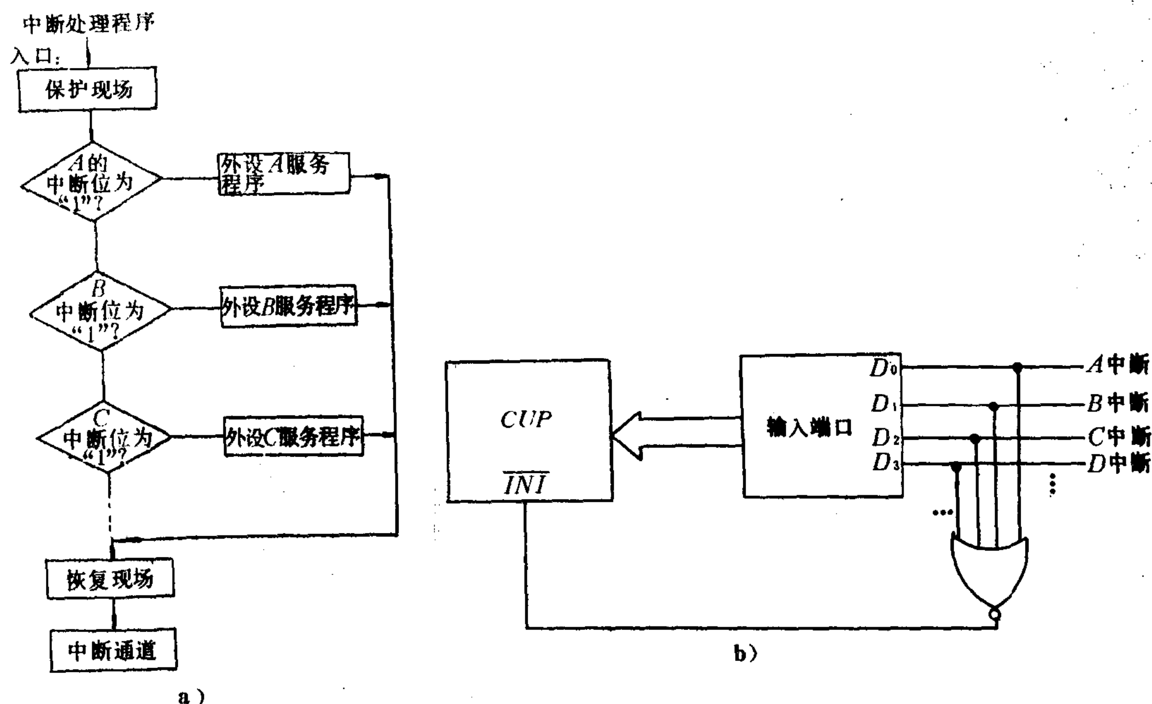


图 8.2.6—6 查询中断流程及接口电路

a)查询程序流程;b)查询方式接口

表 8.2.6—2 **RST P 指令入口地址及功能表**

NNN	RST P	入口地址(H)	十进制	RST P 功能	指令格式
000	RST 00H	0000	0	(SP—1)←PC_H	
001	RST 08H	00008	08	(SP—2)←PC_L	
010	RST 10H	0010	16	SP←SP—2	
011	RST 18H	0018	24	PC←8×NNN	
100	RST 20H	0020	32		
101	RST 28H	0028	40		
110	RST 30H	0030	48		
111	RST 38H	0038	56		

	D_7	D_6	D_5	D_4	D_3	D_2	D_1	D_0
操作码	1	1	N	N	N	1	1	1

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N	N	N	0	0	0

图 8.2.6—7 重新启动后的 PC

1.3.3 中断优先权编码电路

能对多个同时中断请求的外设进行仲裁,保证优先为最高优先权的设备服务。图 8.2.6—8 为由 8214 组成的 8 级优先权中断控制器。

当多个外设请求中断时,编码器找出最高优先权级别的中断请求,由 A_2,A_1,A_0 经 O,C 门送入 RST P 中 NNN,并通过 8 位 I/O 端口(8212)送到 CPU 的 DB 上,见图 8.2.6—9;同时

送至优先权比较器与现行状态($B_2B_1B_0$)比较。若 A>B,则比较器输出高电平,使中断触发器置“1”,经反相送至 CPU 的 $\overline{INT}$ 端,请求中断;反之,则不发出新的中断请求。

现行状态寄存器的输入$\overline{B_2B_1B_0}$及$\overline{SGS}$连到 DB 的 $D_0 \sim D_3$,由 CPU 用输出指令写入该寄存器中的 4 位代码去控制优先级比较器,若$\overline{SGS}$为 0 时,只要有一个中断请求输入为 0,则 8214 产生中断。表 8.2.6—3 列出 8214 现行状态对应最小优先级别与 RST 指令对应关系。

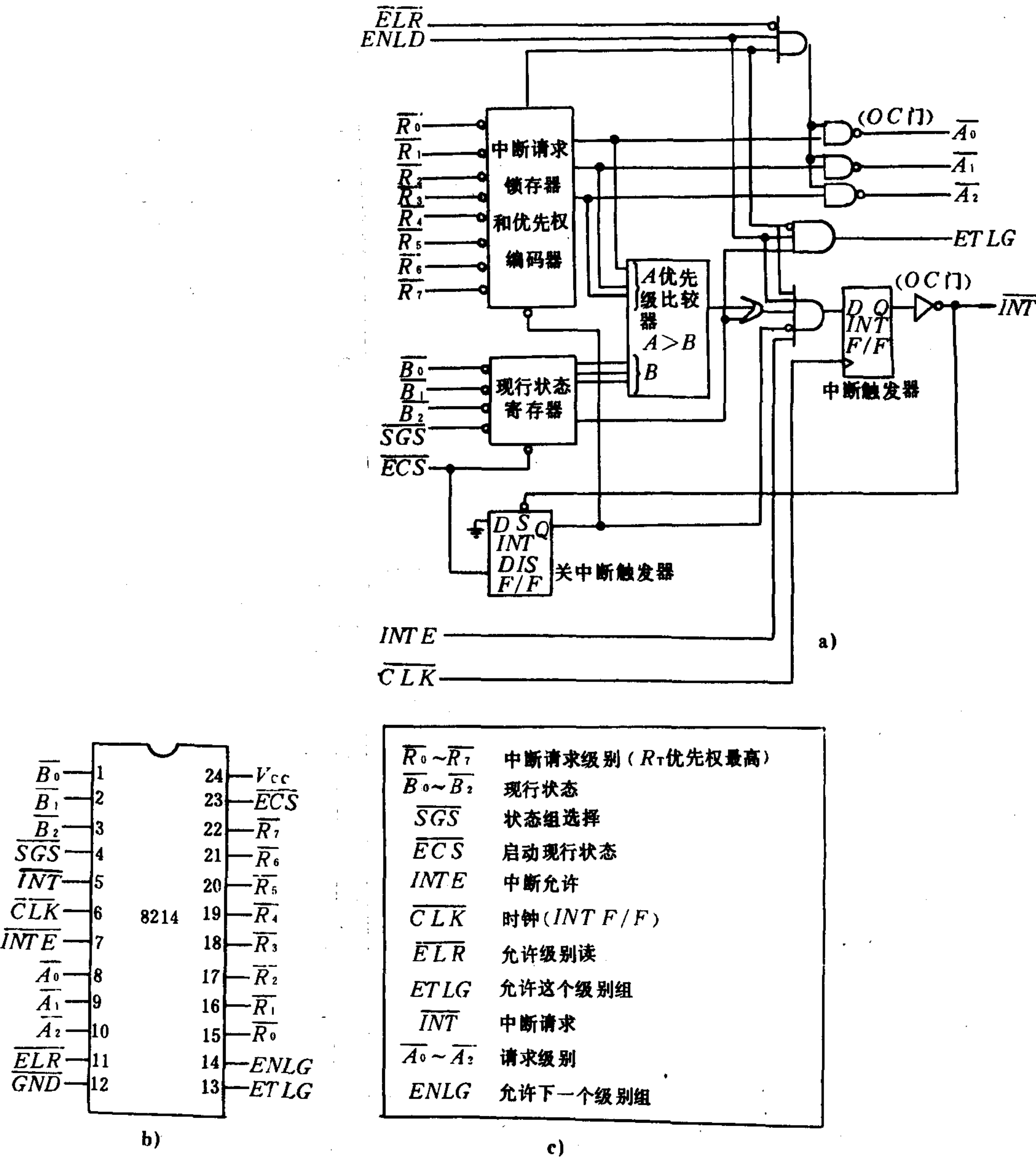


图 8.2.6—8　8214 方框图

a)逻辑图;b)引脚图;c)引脚名

表 8.2.6—3 **8214 状态寄存器,优先级别及 RST 指令关系**

状态寄存器 $\overline{SGSB_2B_1B_0}$	能接受的最小优先权申请	RST	D_7	D_6	D_5	D_4	D_3	D_2	D_1	D_0
			1	1	$\overline{A_2}$	$\overline{A_1}$	$\overline{A_0}$	1	1	1
1 1 1 1	(低)0(A=000)	7(38H)	1	1	1	1	1	1	1	1
0 1 1 1	1 (A=001)	6(30H)	1	1	1	1	0	1	1	1
0 1 1 0	2 (A=010)	5(28H)	1	1	1	0	1	1	1	1
0 1 0 1	3 (A=011)	4(20H)	1	1	1	0	0	1	1	1
0 1 0 0	4 (A=100)	3(18H)	1	1	0	1	1	1	1	1
0 0 1 1	5 (A=101)	2(10H)	1	1	0	1	0	1	1	1
0 0 1 0	6 (A=110)	1(08H)	1	1	0	0	1	1	1	1
0 0 0 1	(高)7 (A=111)	0(00H)	1	1	0	0	0	1	1	1

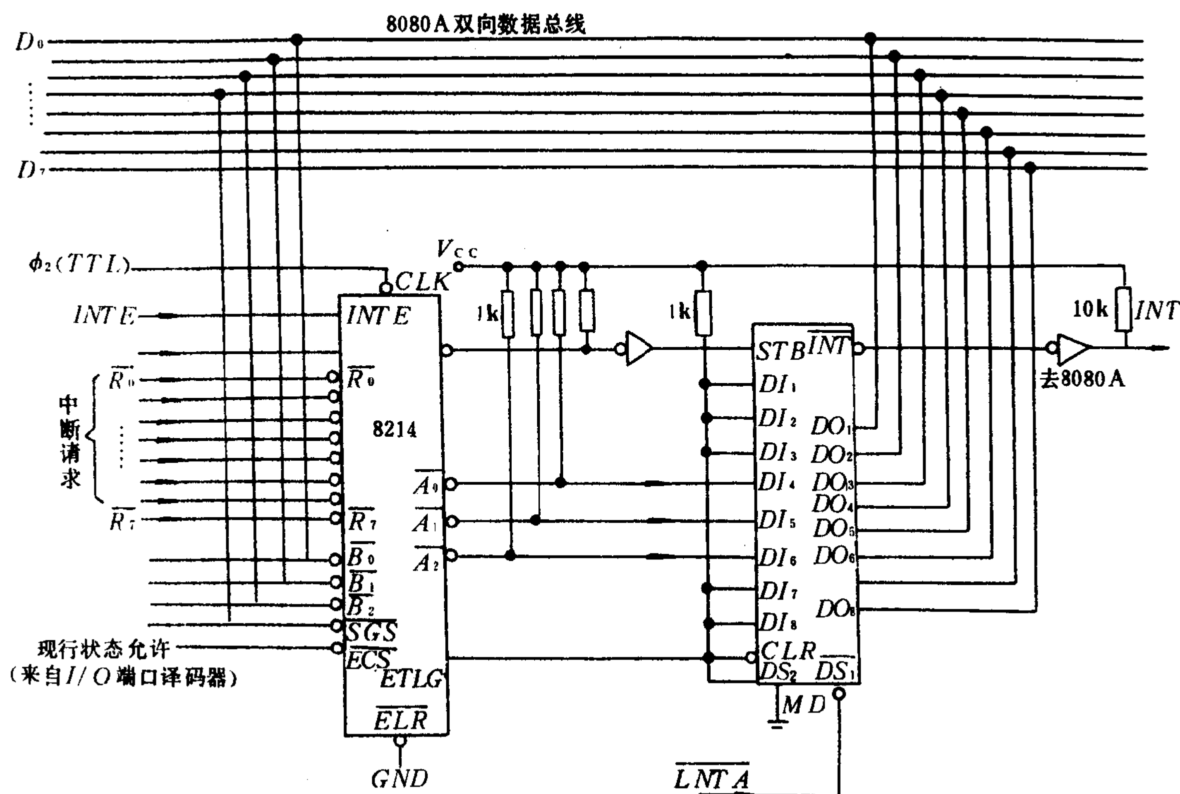


图 8.2.6—9 8214 组成的 8 级优先权中断系统

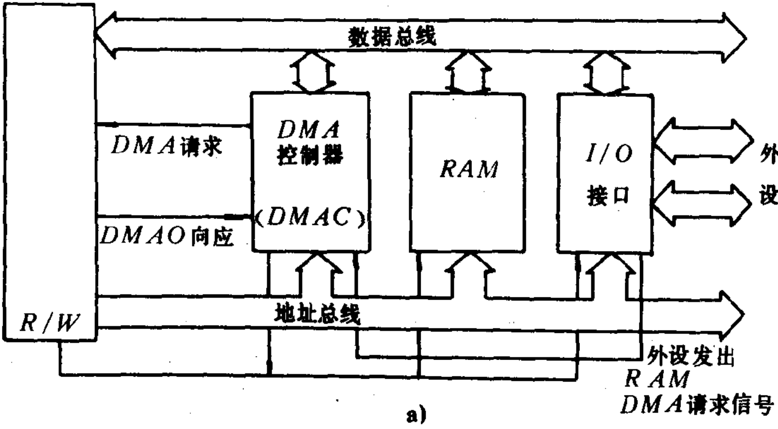
1.4 直接存贮器存取方式(DMA)

外设和存贮器之间直接存取数据的方法为 DMA 方式。它是由 DMA 请求 CPU 暂时放弃对系统总线的控制权,使总线处高阻态,由直接存贮器存取控制器 DMAC 接管对系统总线的控制权,控制外设和存贮器之间直接传送数据。

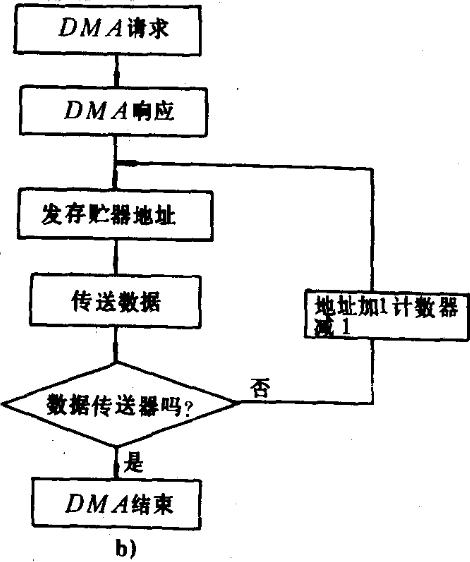
DMA 数据传送的步骤:

1)外设通过 DMAC 向 CPU 发出 DMA 请求,请求总线控制;2)CPU 完成现行指令后,使总线处高阻状态,并向 DMAC 发出“DMA 响应”回答;3)“DMA 响应”信号送到外设和存贮器

后，DMAC 对地址总线发存贮器地址，在数据总线上给出数据，及在 R/W 线上发出“读”或“写”命令。数据开始直接传送；4)每传送一个字，DMAC 中的地址加 1，字计数器减 1，直到数据传送完毕，见图 8.2.6—10



a)



b)

图 8.2.6—10 DMA 控制系统及工作流程图

a)DMA 系统连接；b)DMA 工作流程

2 I/O 接口电路

2.1 8 位并行通用 I/O 接口电路 8212

2.1.1 8212 的结构和逻辑功能。8212 芯片是一种多功能接口电路，内部结构及逻辑功能分别见图 8.2.6—11 和表 8.2.6—4～6。

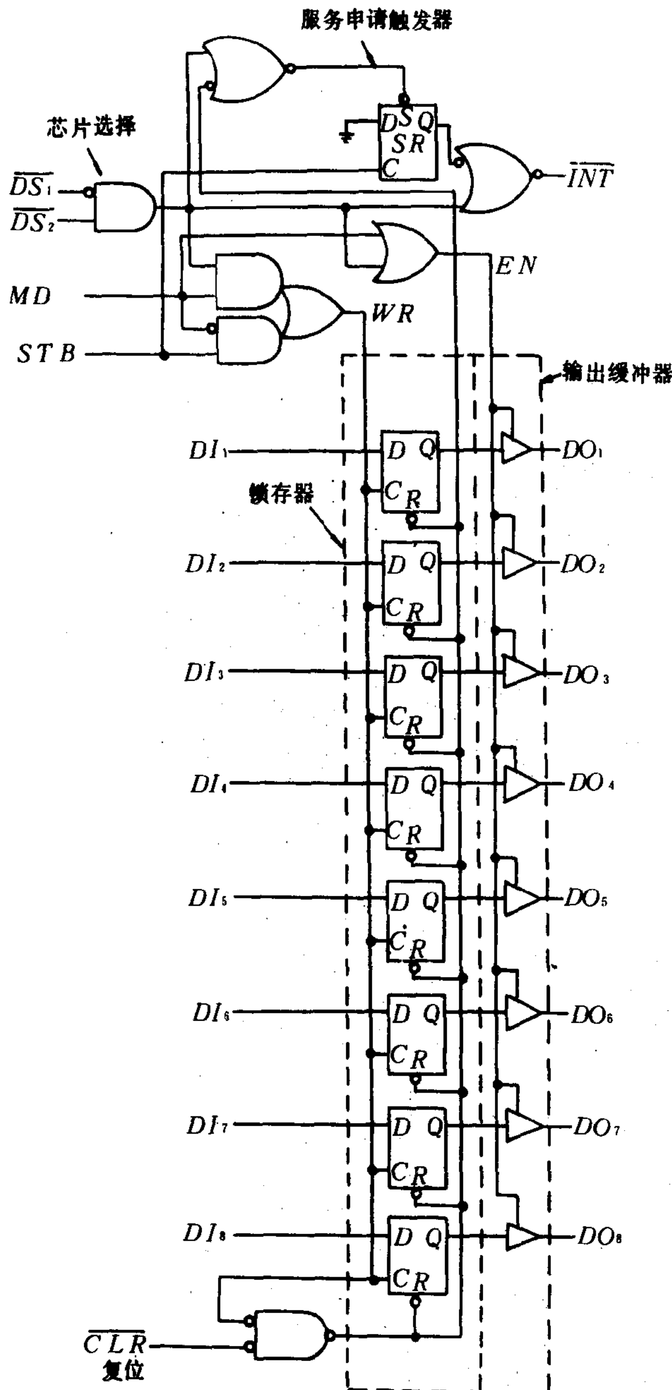


图 8.2.6—11 8212 内部结构图

表 8.2.6—4 **8212 逻辑功能表**

组成名称	逻 辑 功 能
8 位数据锁存器	由 8 个触发器组成，用高电平控制
输出缓冲器	提高输出驱动能力。最大拉电流为 15mA，输出高电平最小值为 3.65V，而器件输入数据时的负荷仅 250MA。当处高阻态时与外电路是断开的
控制和选择逻辑	可以完成器件选择，数据锁存，确定缓冲器和 SR 的状态见表 8.2.6—5 和表 8.2.6—6
中断请求触发器	发出中断请求

表 8.2.6—5 **8212 控制信号与输出信号关系**

STB	MD	$\overline{DS_1}DS_2$	数据输出端对应关系
0	0	0	高阻状态
1	0	0	高阻状态
0	1	0	数据锁存
1	1	0	数据锁存
0	0	1	数据锁存
1	0	1	输入端内容
0	1	1	输入端内容
1	1	1	输入端内容

表 8.2.6—6 **8212 控制信号与$\overline{INT}$信号关系**

CLR	$\overline{DS_1}$ · DS_2	STB	*SR	INT*
0	0	0	1	1
0	1	0	1	0
1	1	1	0	0
1	1	0	1	0
1	0	0	1	1
1	1	2	1	0

* 内部 SR 触发器。

2.1.2 8212 接口应用。1）三态控制的门控缓冲器，如图 8.2.6—12a）接法；2）双向三态总线驱动器如图 8.2.6—12b）所示，它由方向控制线控制；3）中断申请的输入输出口；图 8.2.6—12c）左边作为中断输入口，当系统开始工作时，由$\overline{CLR}$端的复位信号复位，SR 置“1”，由$\overline{DS_1}\cdot DS_2$确定缓冲器状态；当外设向 CPU 输入数据时，加正脉冲的中断请求信号到 STB 端，使 DI_8～DI_1 上的数据输入锁存器，同时$\overline{INT}$端产生中断请求信号；图 8.2.6—12c）右边部分为中断输出口。

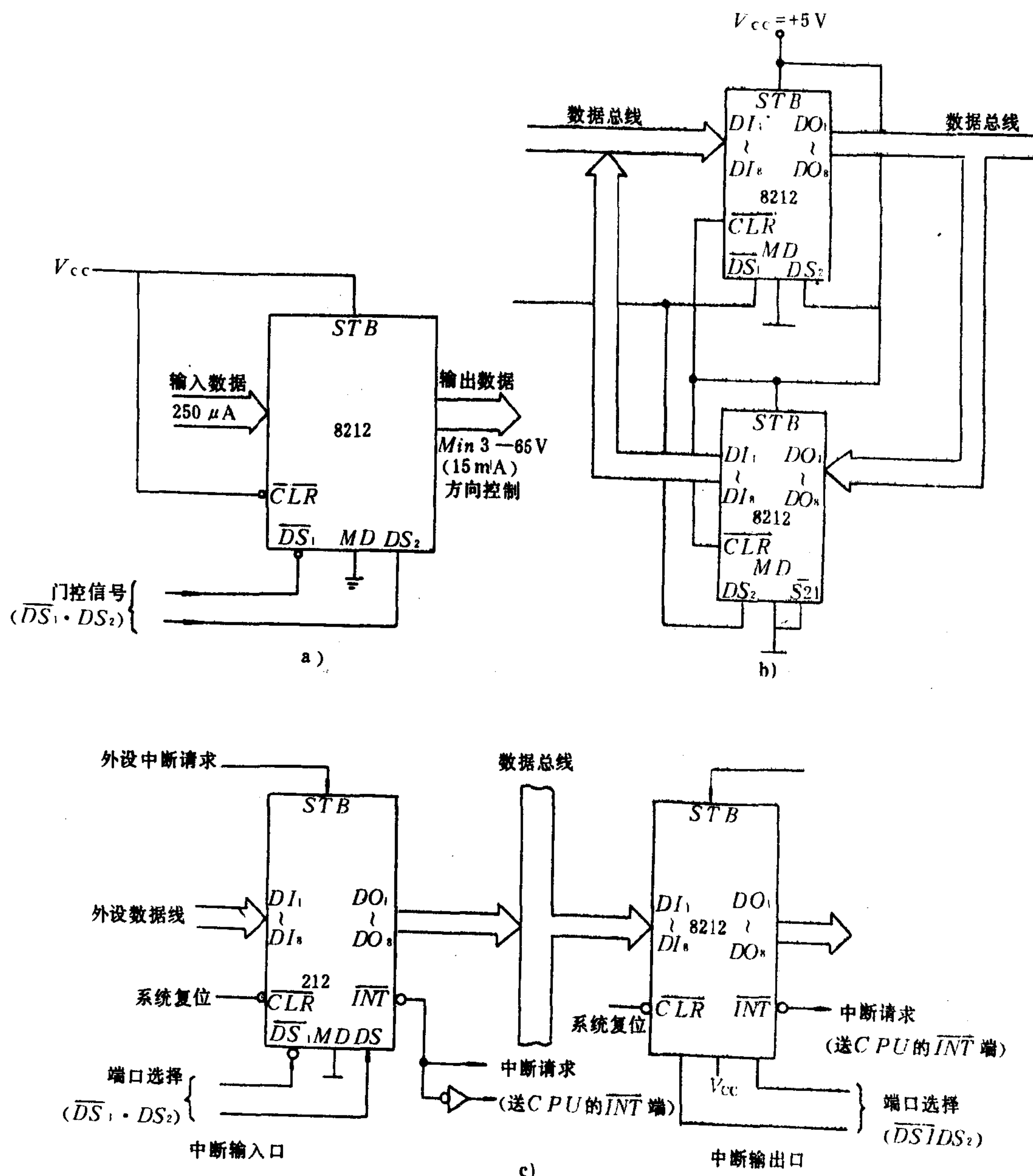


图 8.2.6—12 8212 接口

a）门控缓冲器逻辑图；b）双向三态总线驱动器；c）中断申请的 I/O 口

2.2 可编程序并行 I/O 接口电路(PIO)

2.2.1 Z80—PIO 结构

PIO 结构框图见图 8.2.6—13,其 CPU 总线接口可直接与 CPU 连接或加驱动器,地址译码器。中断控制用于嵌套优先权中断。内部控制逻辑使 CPU 数据总线与外设接口同步,并且还根据程序决定端口 A(或 B)的工作方式。PIO 是 40 脚双列直插式封装结构,其引脚布置图见图 8.2.6—14。

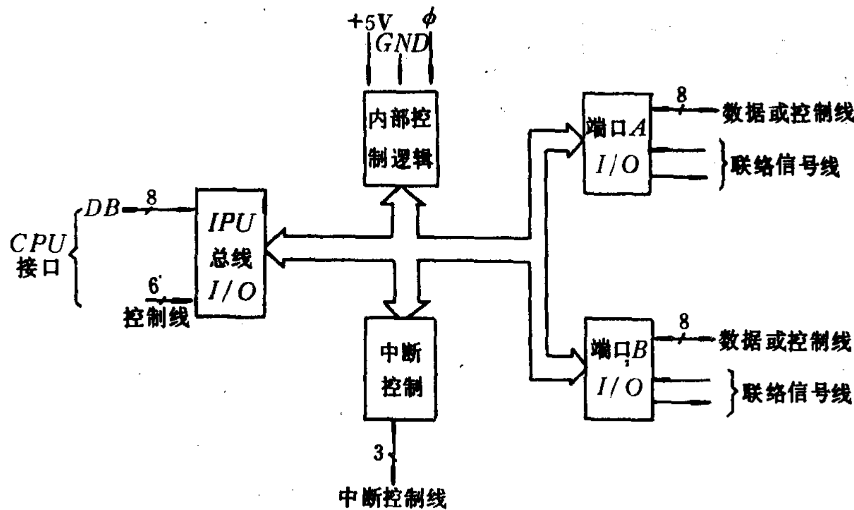


图 8.2.6—13 Z80—PIO 框图

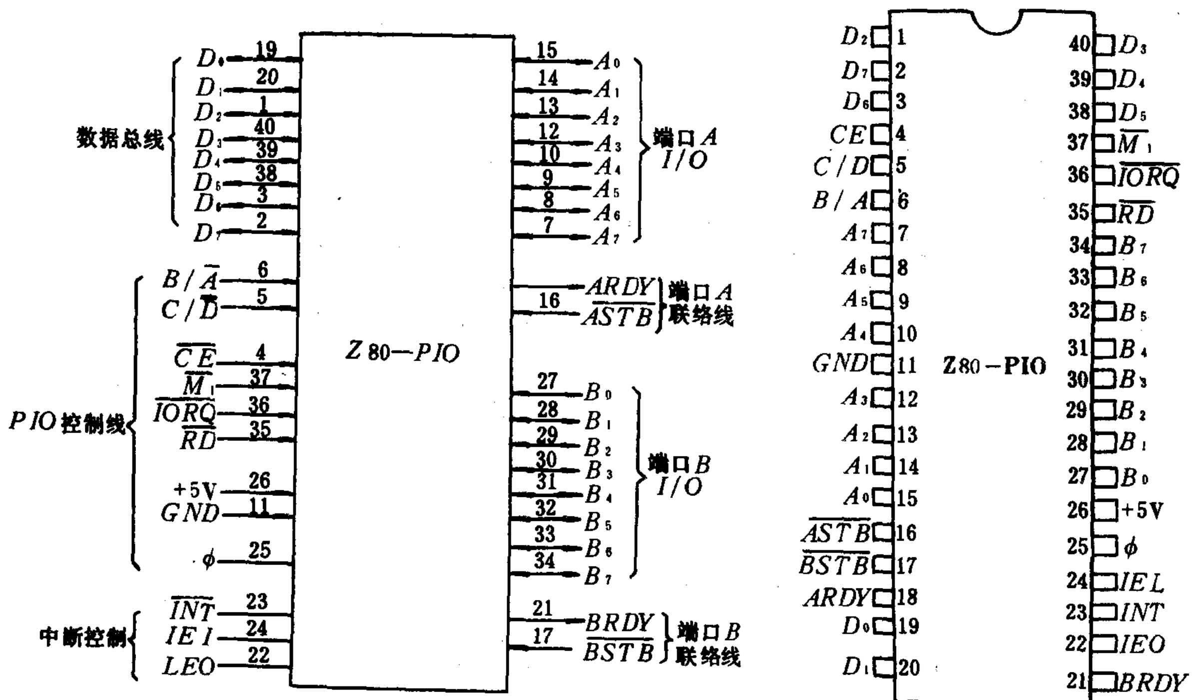


图 8.2.6—14 PIO 引脚布置图

PIO 有两个独立的 I/O 端口,每个端口可由编程方法设定工作方式(方式 0—字节输出接口方式;方式 1—字节输入接口方式;方式 2—双向控制接口方式(只有端口 A);方式 3—位控接口方式),图 8.2.6—15 为 PIO 端口结构。它分数据端口和控制端口,其数据输入和输出寄

存器共用一个数据端口，用 IN 和 OUT 指令来区别；而存放控制信号的控制寄存器共用一个控制端口，用送入控制寄存器的特征码区别。Z80 PIO 端口各寄存器地址的选择见表 8.2.6—7 及 Z80 PIO 控制寄存器的寻址特征位见表 8.2.6—8。

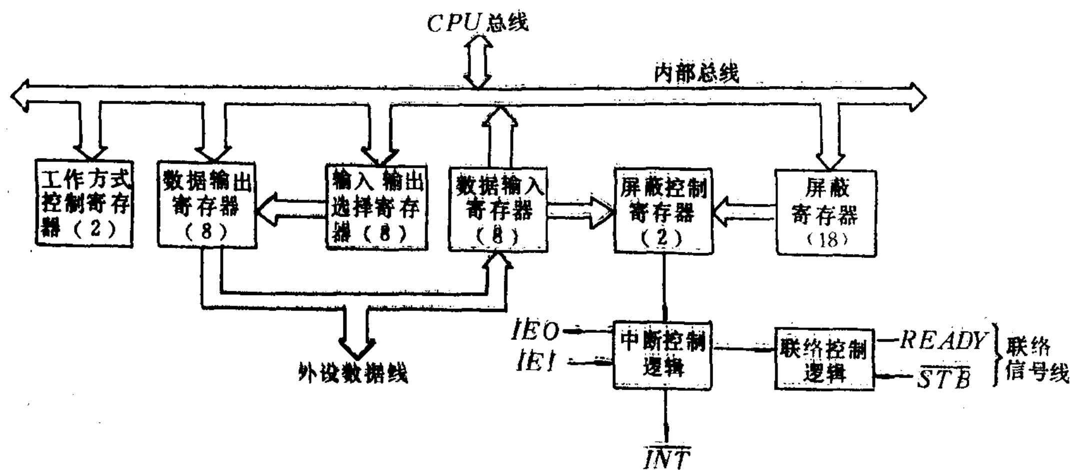


图 8.2.6—15　Z80 PIO 端口结构

表 8.2.6—7　**Z80—PIO 端口各寄存器地址的选择**

引脚			选中的寄存器	口地址
$\overline{CE}$	$C/\overline{D}(A_1)$	$B/\overline{A}(A_0)$		
0 ($A_{7\sim2}=100000$)	0	0	端口 A 的数据寄存器	80H
0 ($A_{7\sim2}=100000$)	1	0	端口 A 的控制寄存器	82H
0 ($A_{7\sim2}=100000$)	0	1	端口 B 的数据寄存器	81H
0 ($A_{7\sim2}=100000$)	1	1	端口 B 的控制寄存器	83H
1 ($A_{7\sim2}\neq100000$)	x	x	PIO 芯片未选中	

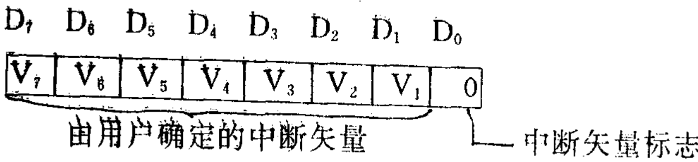
表 8.2.6—8　**PIO 控制寄存器的寻址特征**

寄　存　器	寻址特征位
方式控制寄存器	$D_3=D_2=D_1=D_0=1$
I/O 选择控制寄存器	方式控制选为方式 3 之后的第一个字
屏蔽控制寄存器	$D_3=0$；$D_2=D_1=D_0=1$
中断屏蔽控制寄存器	$D_4=1$ 之后第一个字访问
中断允许寄存器	$D_3=D_2=0$，$D_1=D_0=1$
中断矢量寄存器	$D_0=0$

2.2.2　Z80—PIO 编程

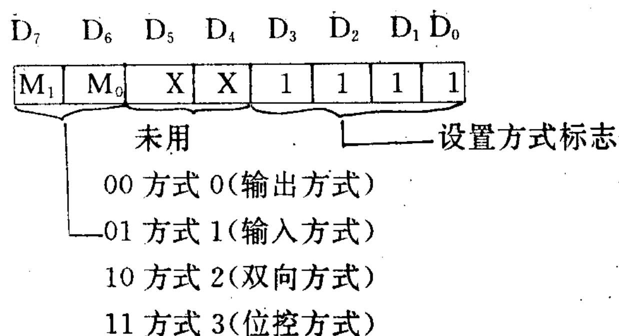
1)装入中断矢量

中断矢量控制字



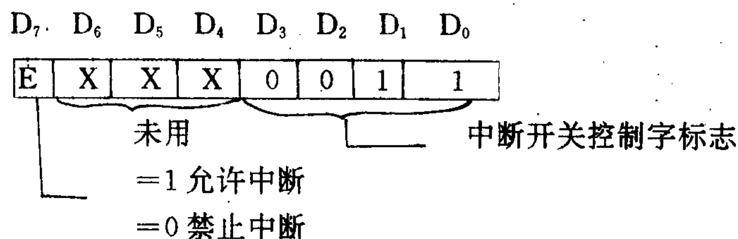
2)选择工作方式

方式选择控制字



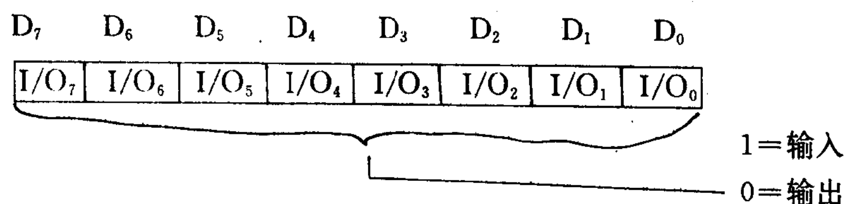
3)设置中断开关控制

中断允许控制字



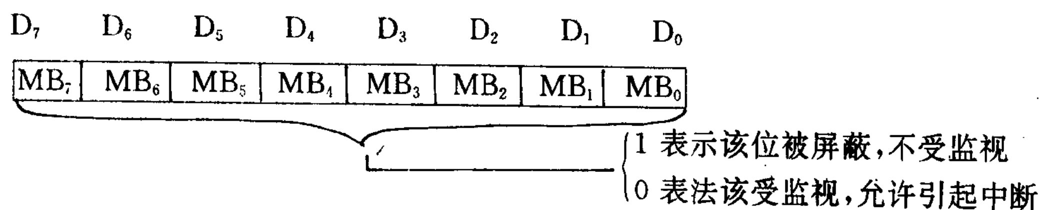
4)I/O 选择设置

I/O 选择控制字

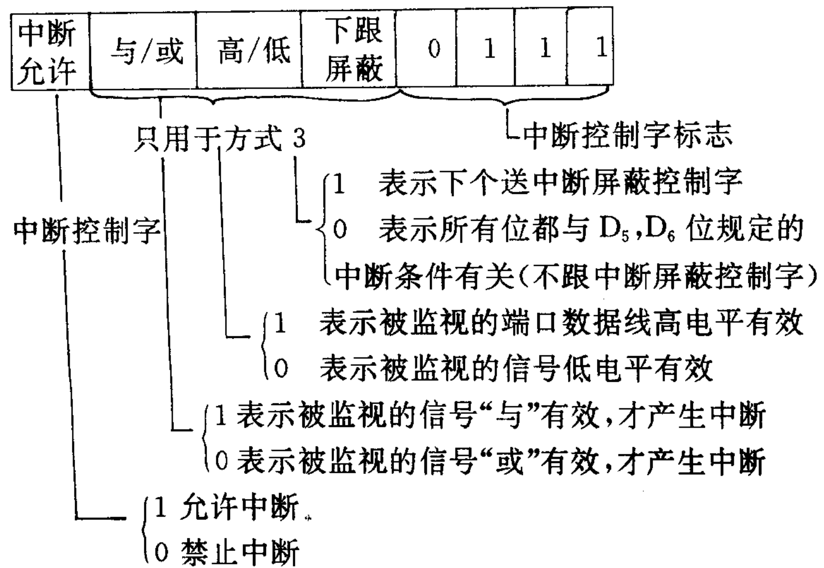


5)设置中断屏蔽

中断屏蔽字



6)设置中断控制字



2.3 可编程序计数器/定时器电路(CTC)

2.3.1 Z80—CTC 的结构

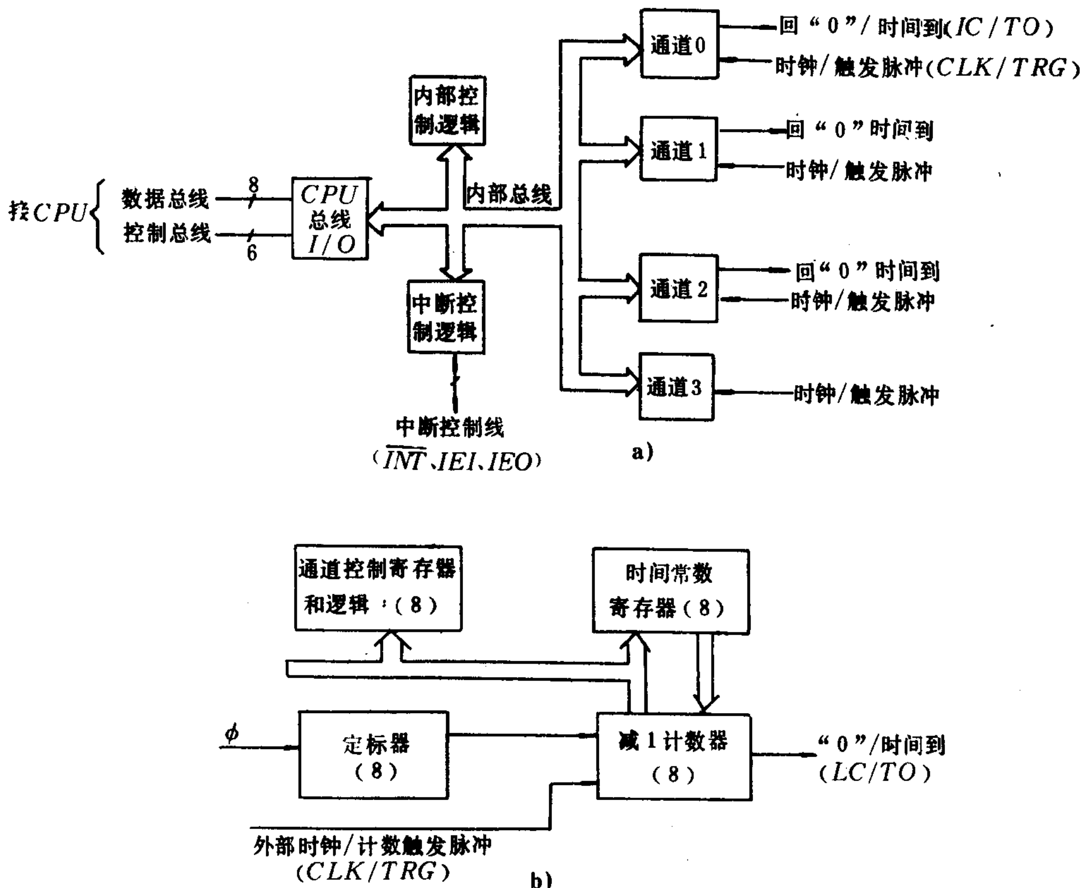


图 8.2.6—16 Z80—CTC 结构框图

a)CTC 结构方框图;b)CTC 通道内部结构图

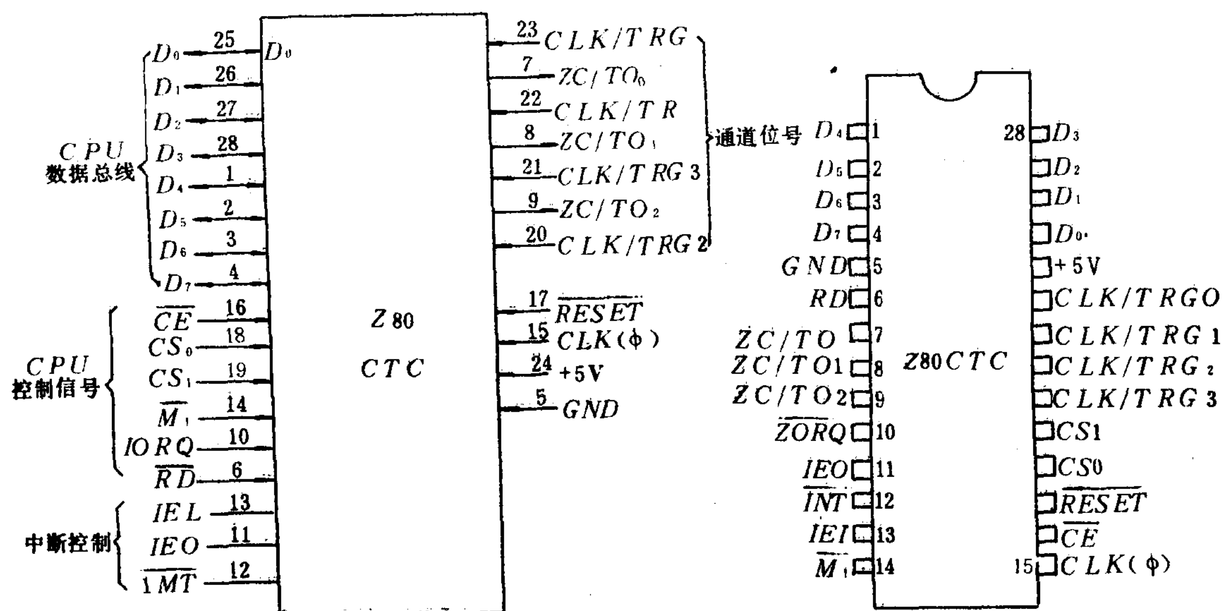


图 8.2.6—17 Z80—CTC 引脚图

Z80—CTC 是一种具有四个独立通道，可编程器件，每个通道均能起计数和定时的作用，并利用计数和定时方式可进行程序中断，结构框图见图 8.2.6—16，引脚图如图 8.2.6—17 所示。

当作定时器时，将存入时间常数寄存器中的定时时间输出到减 1 计数器，然后由定标器对系统时钟 φ 进行 16 或 256 分频，控制减 1 计数器的值减 1，直到为"0"时，从 ZC/TO 端输出一个正脉冲信号，表示时间已到；也可以用来提供中断请求。如作计数器时，把计数值送入时间常数寄存器，由 CLK/TRG 有效边沿后的第一个系统时钟上升沿，使减 1 计数器减 1，直到减到 0 时，从 ZC/TO 输出一个正脉冲；同样可向 CPU 发出中断请求。

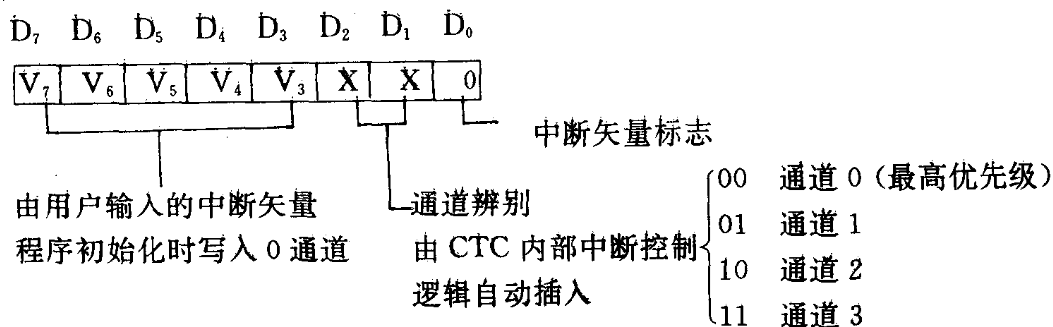
2.3.2 Z80—CTC 编程

CTC 通道选择 CS_0，CS_1 一般接到地址总线 A_0、A_1 上，$\overline{CE}$接到 $A_{7\sim2}$（根据外设多少而定），由这三个信号配合确定通道地址，如 TP801 单板机通道地址形成见表 8.2.6—9。

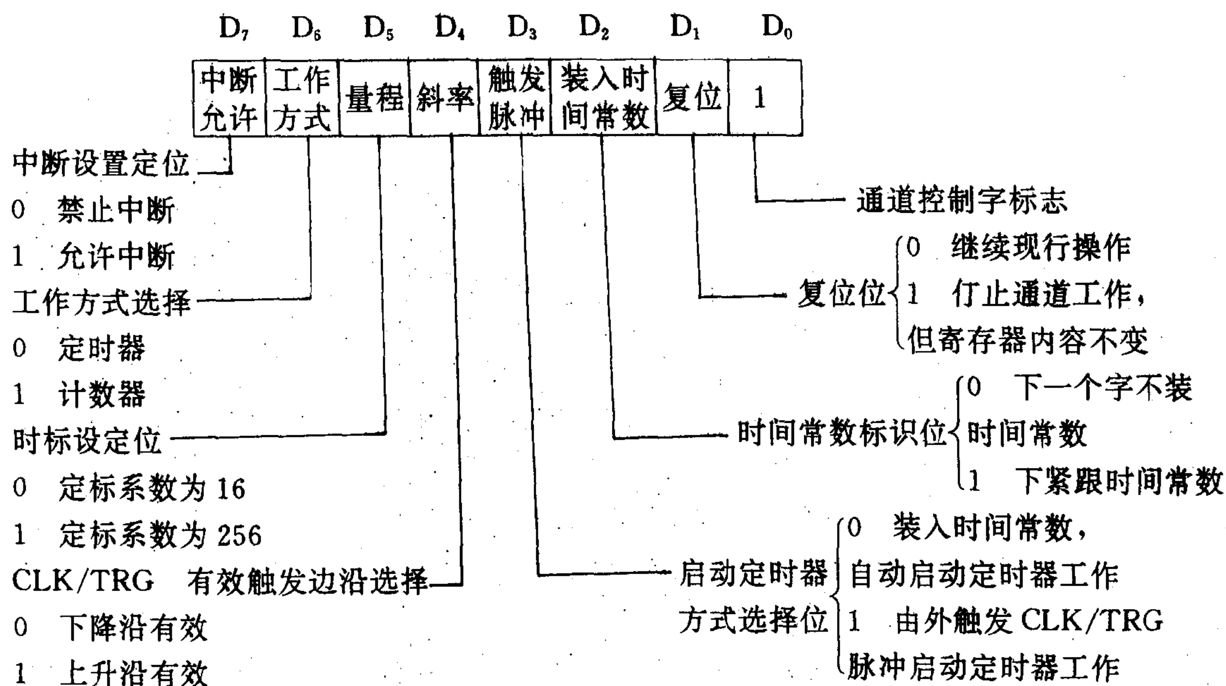
表 8.2.6—9 **CTC 通道寻址信号**

引 脚			选中的通道	口地址
$\overline{CE}$	CS_1 (A_1)	CS_0 (A_0)		
0($A_{7\sim2}$=100001)	0	0	通道 0	84H
0($A_{7\sim2}$=100001)	0	1	通道 1	85H
0($A_{7\sim2}$=100001)	1	0	通道 2	86H
0($A_{7\sim2}$=100001)	1	1	通道 3	87H
1($A_{7\sim2}\neq$100001)	x	x	芯片未选中	

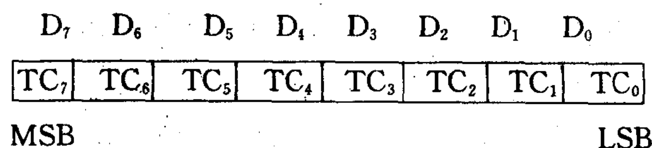
1)装入中断矢量控制字



2)写入通道控制字



3)输入时间常数



2.4 可编程序串行数据通讯的I/O接口电路(SIO)

2.4.1 异步通讯和同步通讯(见表8.2.6—10及图8.2.6—18至19)

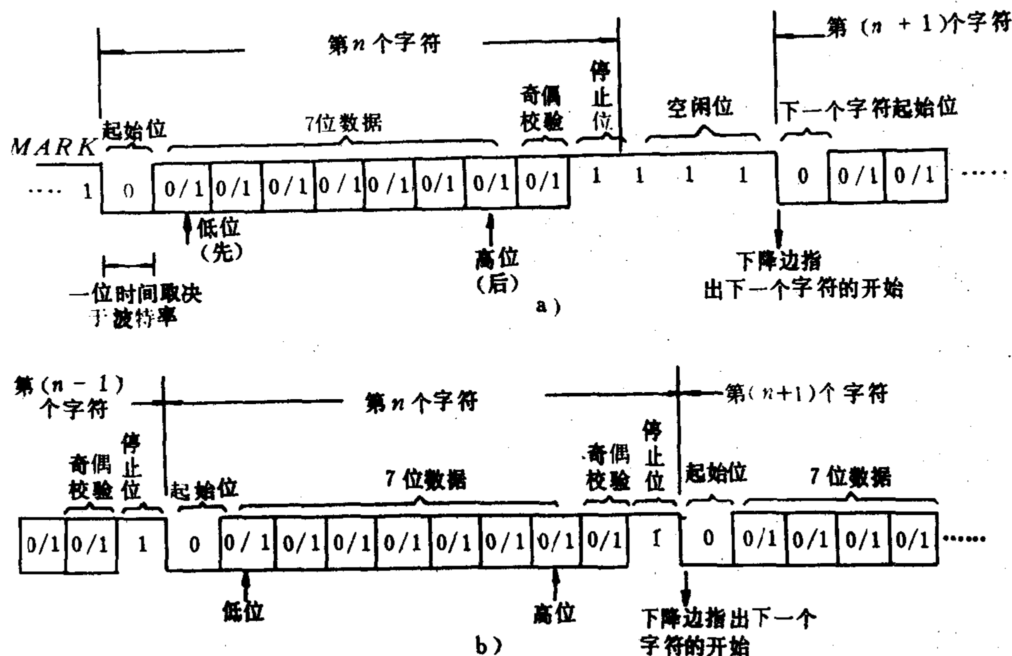


图 8.2.6—18　异步通讯格式

a)有空闲位时；b)无空闲位时

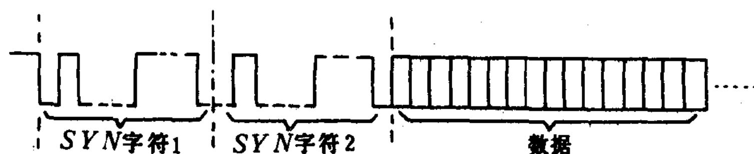


图 8.2.6—19　同步通讯字符

表 8.2.6—10

通讯方式比较

通讯方式	含　　义	说　　明
并行通讯	同时将数据各进行传送	
串行通讯	数据依次一位一位的传送	
异步通讯	数据和同步时钟脉冲不是同时发送，用起始位和停止位作标志构成一帧	见图 8.2.6—18
同步通讯	数据开头用同步字符起同步作用，并用时钟脉冲实现发送端与接收端之间同步	见图 8.2.6—19

2.4.2　Z80—SIO 结构

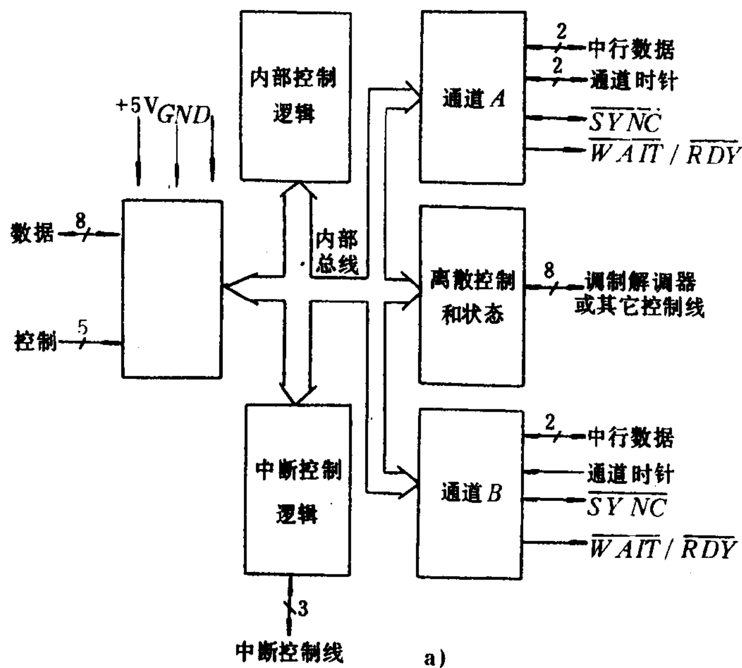
SIO 有两个通道，可用来进行异步、同步、SDLC、HDLC 等通讯方式。其结构图，引脚图分别见图 8.2.6—20 及 8.2.6—21。SIO 通道控制部分有 8 个写寄存器，用于向 SIO 写命令字，以选择通道工作方式。3 个读寄存器，用于提供通道工作状态。

2.4.3　SIO 编程

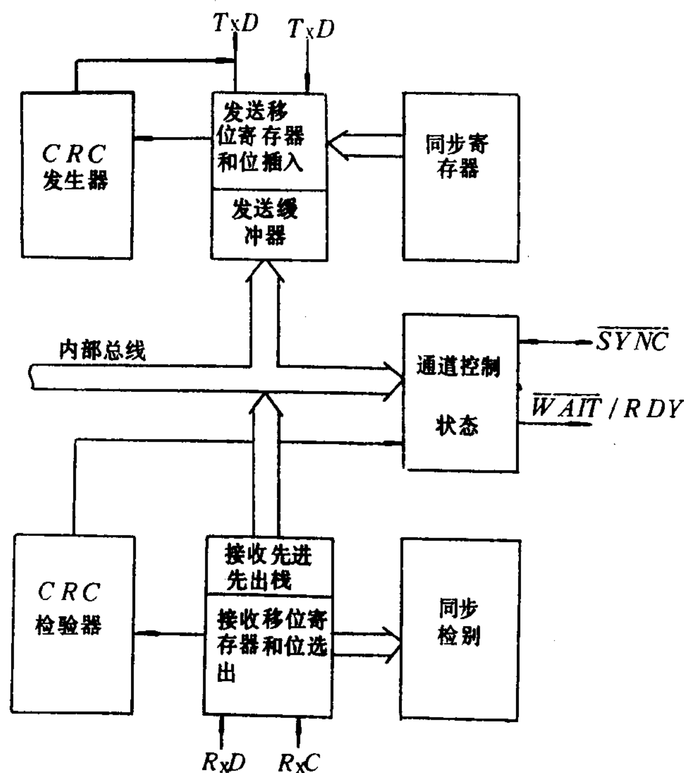
由 B/$\overline{A}$，C/$\overline{D}$选择通道，并与 SIO 片选信号 CE 配合决定 SIO 接口地址，如表 8.2.6—11。

表 8.2.6—11　　　　　　　　　　　　**SIO 通道地址**

引	脚		所寻址通道	口地址
$\overline{CE}$	$C/\overline{D}(A_1)$	$B/\overline{A}(A_0)$		
$A_{7\sim2}=100101$	0	0	通道 A 数据	94H
$A_{7\sim2}=100101$	0	1	通道 O 数据	95H
$A_{7\sim2}=100101$	1	0	通道 A 控制	96H
$A_{7\sim2}=100101$	1	1	通道 B 控制	97H



a)



b)

图 8.2.6—20　SIO 结构图

a)SIO 方框图;b)通道框图

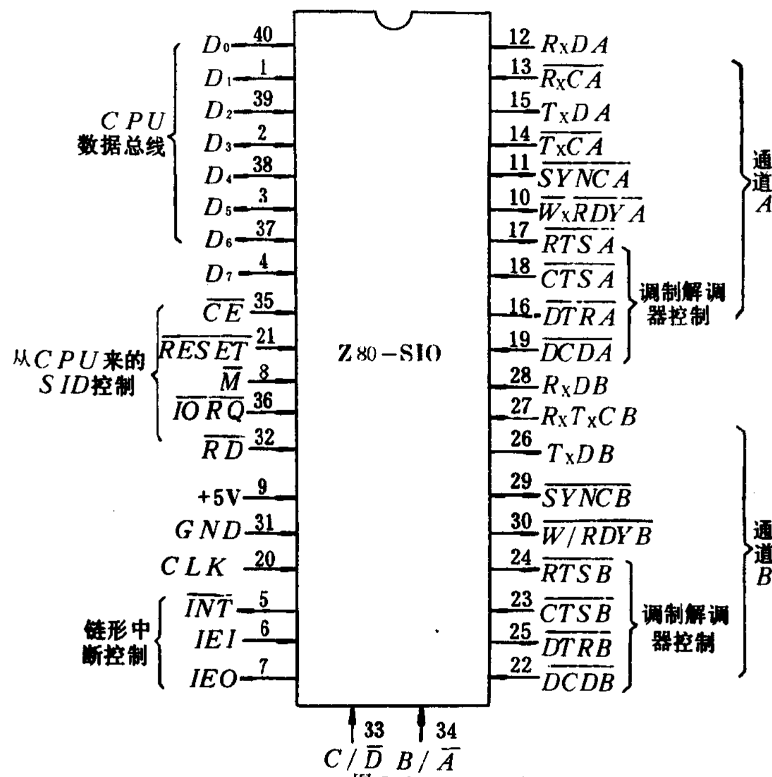
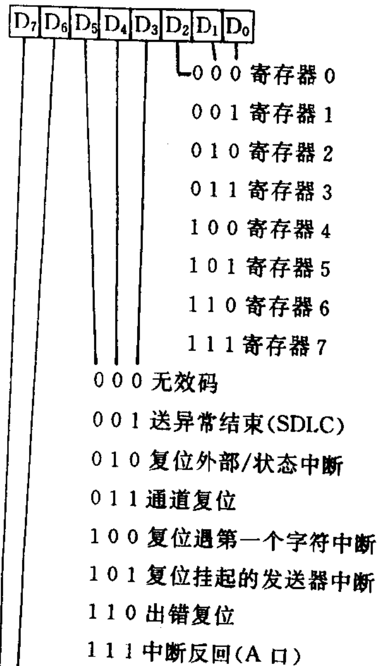


图 8.2.6 21 引脚图

1)SIO 写入命令字。向 8 个寄存器写命令字。

写寄存器 0(WR_0)



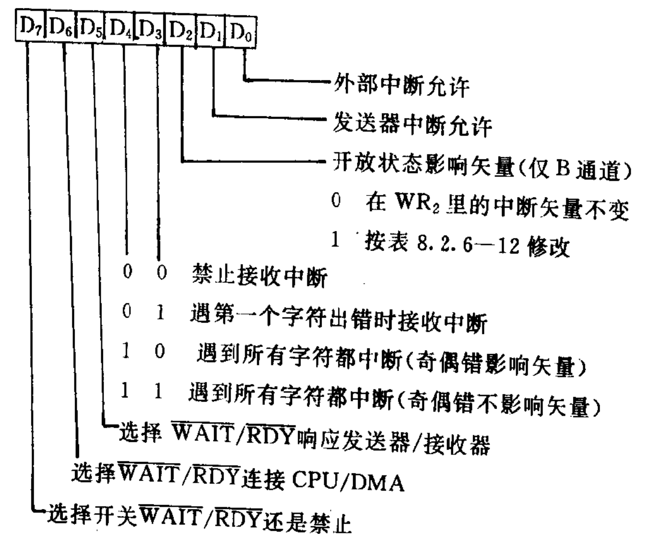
0 0 无效码

0 1 复位接收 CRC 校检器

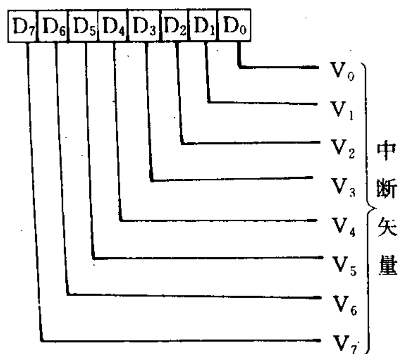
1 0 复位发送 CRC 发生器

1 1 复位空白/消息结束中断

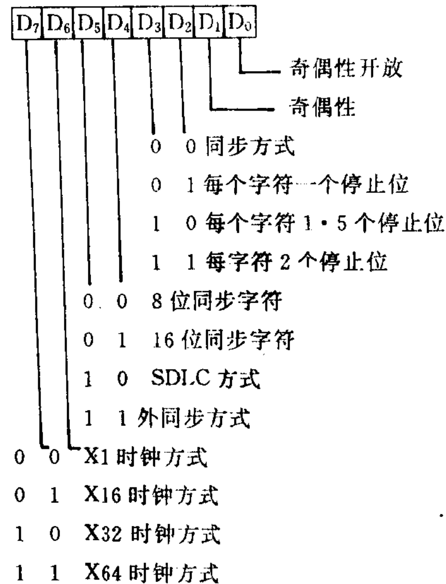
写寄存器 1(WR_1)



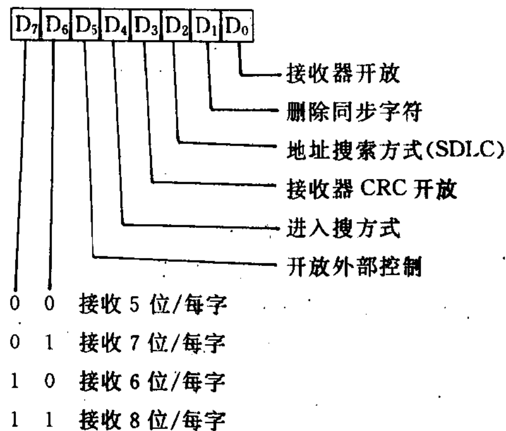
写寄存器 2（WR_2）仅由通道 0 写入



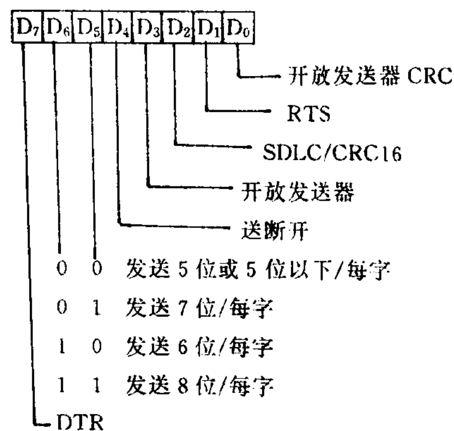
写寄存器 4（WR_4）



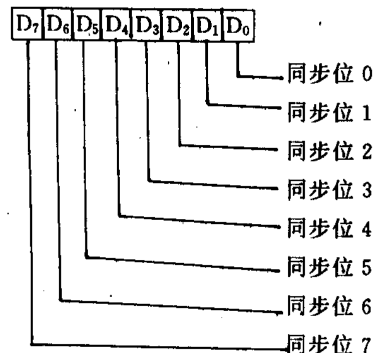
写寄存器 3（WR_3）



写寄存器 5（WR_5）



写寄存器 6（WR_6）



写寄存器 7（WR_7）

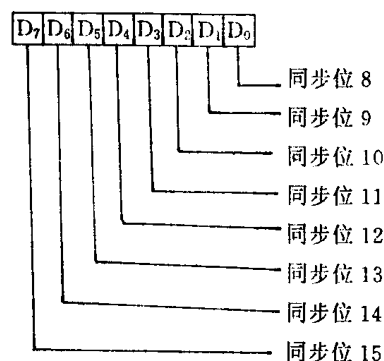


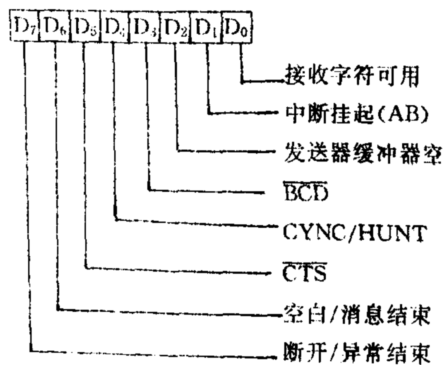
表 8.2.6-12　**矢量修改表**

中断矢量 $V_3\ V_2\ V_1\ V_0$	中断分类
0 0 0 0	通道 B 发送器中断
0 0 1 0	外部中断
0 1 0 0	字符可用
0 1 1 0	“特定条件”中断
1 0 0 0	通道 A 发送器中断
1 0 0 1	外部中断
1 1 0 0	“字符可用”中断
1 1 1 0	“特定条件”中断

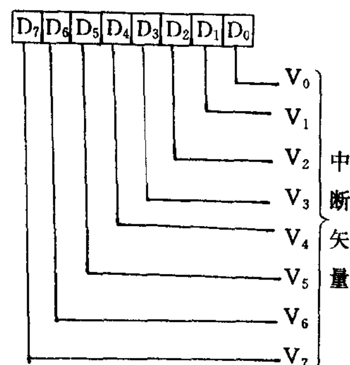
2)SIO 读出状态。RR_0 可直接由控制口读取，而 RR_1、RR_2 必须先向 WR_0 写入寄存器编号才能读取。

SIO 各通道有三个读出寄存器。

读寄存器 0 (RR0)



读寄存器 2(RR_2)（仅能被 B 口读出）



读寄存器 1(RR_1)

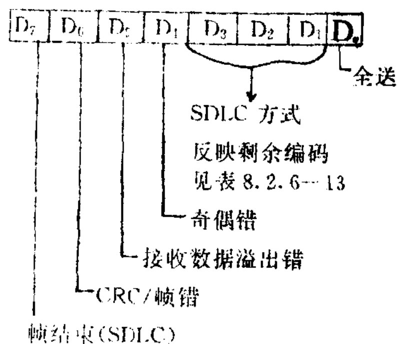


表 8.2.6—13　　SDLC 工作方式剩余码编码状态表

RR₁ $D_2D_1D_0$	8		7		6		5	
	L	S	L	S	L	S	L	S
1 0 0	0	3	0	1	0	5	0	2
0 1 0	0	4	0	2	0	6	0	3
1 1 0	0	5	0	3	1	6	0	4
0 0 1	0	6	0	4	2	6	0	5
1 0 1	0	7	0	5	3	6	1	5
0 1 1	0	8	0	6	4	6	X	X
1 1 1	1	8	0	7	X	X	X	X
0 0 0	2	8	X	X	X	X	X	X

L 是倒数第一个字，S 是倒数第二个字。

3　数/模转换

3.1　D/A 转换电路的性能指标(表 8.2.6—14)

表 8.2.6—14　　D/A 转换技术指标

参数名称	含　义	说　明
分辨率	对输入量微小变化反应灵敏度，用数字量的位数表示	8 位，10 位等分辨率，能对满量程的 2^{-8}，2^{-10}输入作出反应
建立时间	从开始送入数字量到输出电压(或电流)达到稳态值所需的时间	常常用上升到满刻度的某一百分数所需的时间，当输出电压时，主要是输出运算放大器所需时间
绝对精度	用数字量的位数作度量单位，实际输出与理论值之间误差	如精度为最低位的 $\pm\frac{1}{2}$ 位
相对精度	在整个刻度范围内，某一数码的模拟量输出与理论值之差	用偏差相对满刻度的百分比表示
线性误差	相邻两个数码之间差应是 1 LSB	
温度系数	在满刻度输出范围内，温度每升高一度，输出变化的百分数	
电源抑制比	输出电压变化与相对应的电源电压变化之比	
功耗		

3.2　DAC 0832 组成及主要特点

DAC 0832 是一个双列直插式单片 8 位数模转换器件，采用 R—2RT 型电阻网路，其结构框图如图 8.2.6—22，主要特性见表 8.2.6—15。

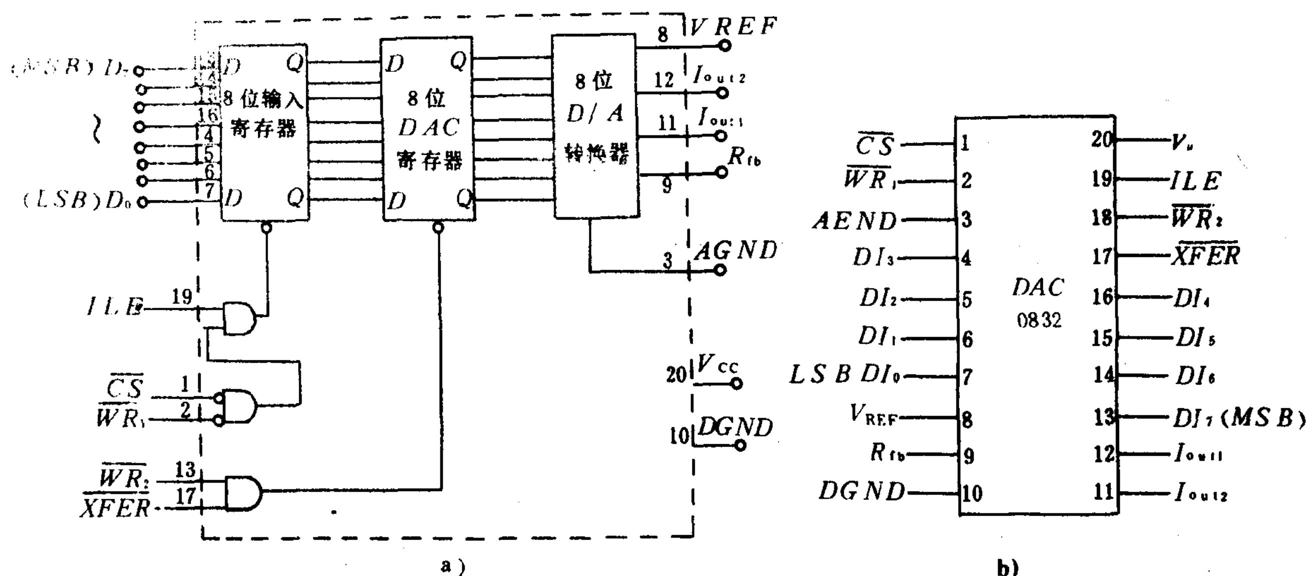


图 8.2.6—22 DAC0832 结构框图

a)结构框图;b)引脚图

表 8.2.6—15 **DAC 0832 芯片主要特性表**

名 称	性 能
输入数字量编码	8 位二进制码
引脚逻辑电平	与 TTL 兼容,可与微处理器直接相连,不需另外加接口逻辑
电流稳定时间	1 μs
线性度	可调
增益温度补偿	0.002% FS/℃
电源	单种电源 5～15V
功耗	20mW

3.3 DAC 0832 使用方式(见表 8.2.6—16)

表 8.2.6—16 **DAC 0832 工作方式**

工作方式	接 8 线图例	说 明
二级缓冲方式	输入数据经 8 位输入寄存器后锁存到“DAC 寄存器”中,下一个数据则装入“8 位输入寄存器”。从输入寄存器传到 DAC 寄存器方法有:①程序控制,用一个地址分别进行写操作,见图 8.2.6—23。②由外部控制电路提供选通脉冲 ③由 I/O 接口发出控制传送信号	可防止更新输入数据期间,模拟量输出不稳定;可提高转换速度;可快速修改输出
单缓冲方式	两个寄存器任一个为常通或同时选通,锁存如图 8.2.6—24	当电源为 5V 时,最小 $\overline{WR}$ 选通脉冲≥500ns;当 V_{CC} = +15V 时,则 WR 脉宽应≥100ns,并要保持数据有效时间≥90ns
直通方式	由输出跟随数字输入变化如图 8.2.6—25	
双极性输出方式	由输入数据的符号位控制基准电压的极性如图 8.2.6—26	

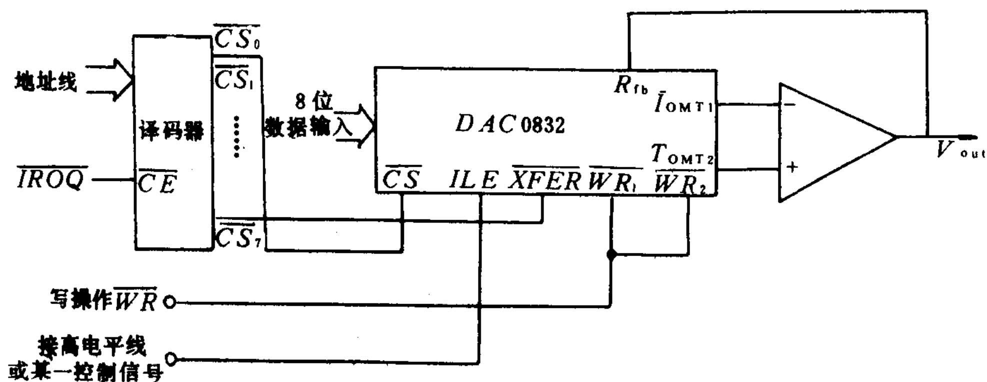


图 8.2.6—23 二级缓冲方式连接图

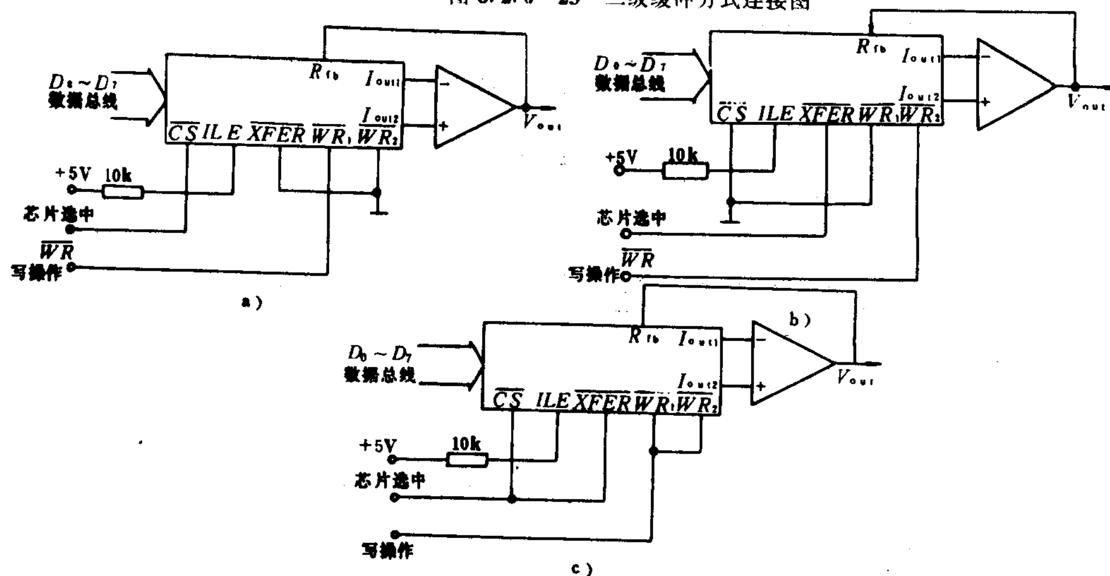


图 8.2.6—24 单缓冲方式连接图

a)DAC 寄存器常通；b)输入寄存器常通；c)两寄存器同时选通、锁存

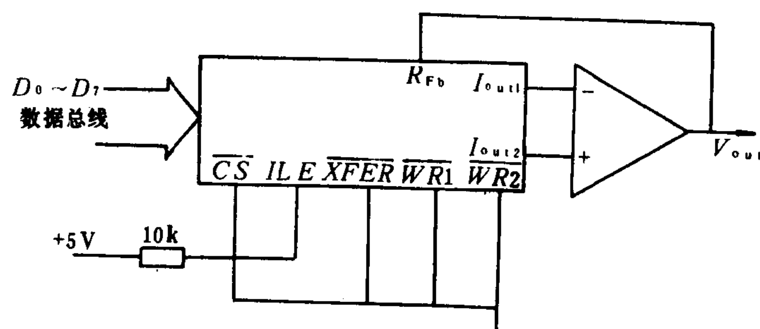


图 8.2.6—25 直通工作方式连接图

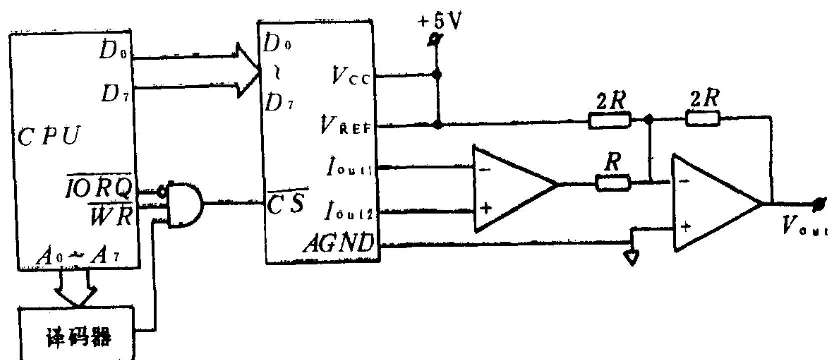


图 8.2.6—26 DAC 双极性电压输出连接图

4 模/数转换

4.1 A/D 转换电路的性能指标(表 8.2.6—17)

表 8.2.6—17 **A/D 转换技术指标**

参数名称	含义	说明
分辨率	同 D/A	n 位转换器,其分辨率为$\frac{1}{2^n}$
转换时间	从接到转换控制信号开始,到输出端得到稳定的数字输出信号所属要的时间	如转换时间是 200ns
转换率	完成一次 A/D 转换所需时间的倒数	如转换率为 500MHz
绝对精度	对应于某给定的数字量的实际模拟量输入与理论模拟量输入之差	用数字量的位数作为绝对精度的单位,如精度为$\pm\frac{1}{2}$LSB
相对精度	在整个转换范围内,任一数字量所对应的模拟输入量实际值与理论值之差	用百分比表示满量程的相对误差,如精度为 0.05%
量程	指满刻度的范围即能转换的电压范围	如 FSB=10V,5V 等
温度系数	当输入不变时,在允许的温度变化范围内,温度每改变一度时输出的相对变化	
输出逻辑电平	多为与 TTL 兼容,在考虑数字量与 CPU 总线关系时,还要注意是否用三态逻辑输出,是否对数据进行锁存	

4.2 ADC 0809 的组成及主要性能

ADC0809 是一个双列直插式单元 8 位模数转换器件,采用逐次逼近型原理。其结构框图如图 8.2.6—27,引脚说明及芯片主要性能分别见表 8.2.6—18 和表 8.2.6—19。

表 8.2.6—18　　　　　　　　　　　　　　引脚说明

符　号	含　义	符　号	含　义
$IN_{7\sim0}$	模拟量输入	2^{-1}(MSB) ~2^{-8}(LSB)	A/D 转换器的数字输出
START	转换启动控制端	EOC(END OF ENABLE)	转换结束脉冲输出端
CLOCK	时钟输入	OE(OVTPUT ENABLE)	输出允许控制端
ADDA,B,C	8 路模拟开关的 3 位地址线	ALE	地址锁存控制端
V_{CC}	电源输入+5V	$R_{EF}^{(+)}R_{EF}^{(-)}$	参考电源输入端

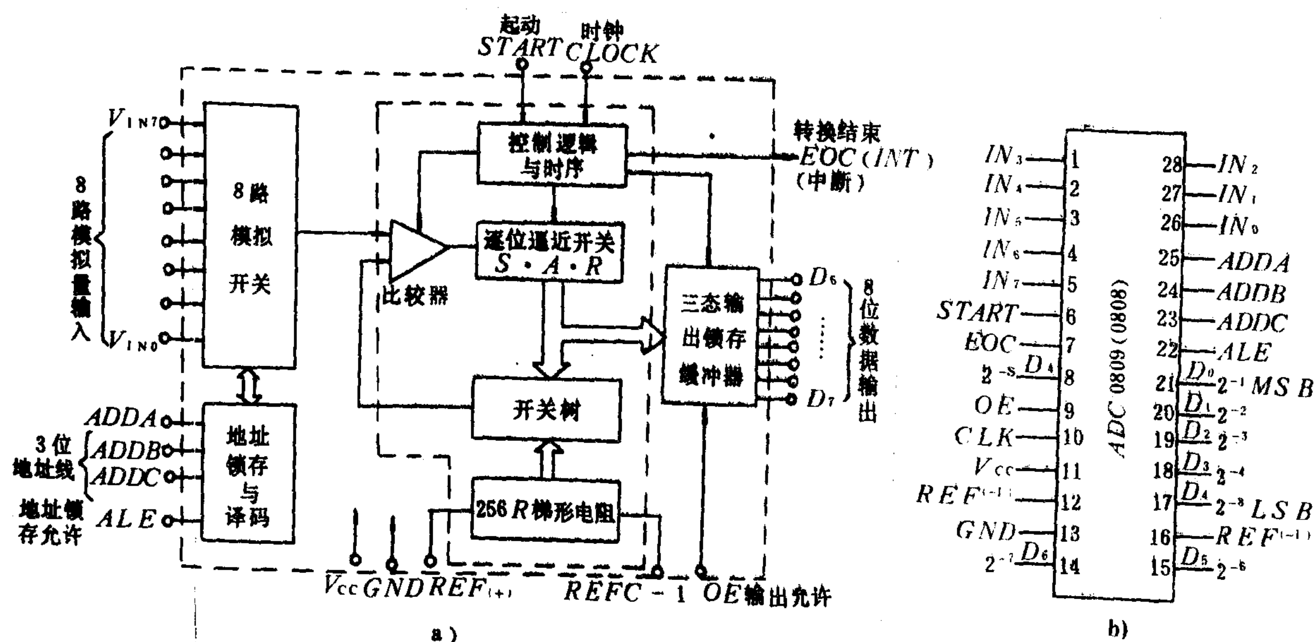


图 8.2.6—27　ADC 0809 结构图

a)结构图;b)引脚图

表 8.2.6—19　　　　　　　　　　ADC 0809 芯片主要性能表

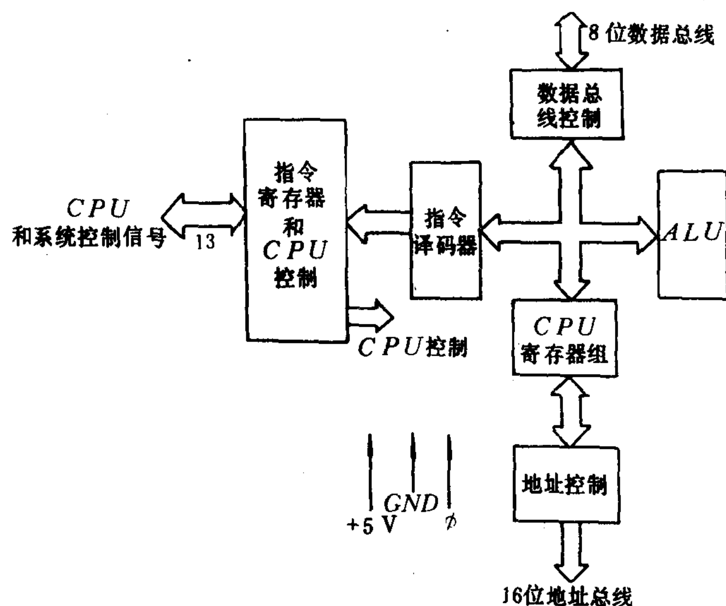
分辨率	8 位,总的不可调误差为$\pm\frac{1}{2}$ LSB 和 1 LSB
转换时间	10 μS
输入电压范围	0~5V 时,可使用单电源±5V
输出	与 TTL 兼容
参考电压	以比例工作方式或以 5V,或模拟量作可调参考电压
温度范围	−40℃~85℃或−55℃~+125℃
功耗	15mV
可直接与微机系统相连,亦可独立使用	
无须外部调零和满量程调整	
具有锁存控制的 8 路多路开关,可输入 8 个模拟信号,也可锁存三态输出	

5　主要类型的微型计算机简介

5.1　Z80 CPU

5.1.1　Z80 CPU 的结构

它是一个双列直插式 8 位微处理器，在一片上具有 40 条引脚的大规模集成电路，其内部结构见图 8.2.6—28。它主要由 CPU 寄存器组、算术逻辑部件（ALU）、控制部件（指令寄存器、指令译码器，系统控制，CPU 控制，总线控制，定时状态控制，ALU 控制和寄存器控制等），堆栈结构和内部总线组成。与外部的联结通过总线缓冲器，实现三态控制及增加驱动能。



主寄存器组		备用寄存器组		
累加器 A	标志 F	累加器 H'	标志 F'	
B	C	B'	C'	通用寄存器
D	E	D'	E'	通用寄存器
H	L	H'	L'	通用寄存器

暂存寄存器 W	暂存寄存器 L	
中断向量 I	存贮器刷新 R	专用寄存器
变址寄存器 IX		专用寄存器
变址寄存器 IY		专用寄存器
堆栈指示 SP		专用寄存器
程序计数器		专用寄存器

图 8.2.6—28　Z80CPU 结构框图

5.1.2　Z80CPU 引脚功能（见表 8.2.6—20）

表 8.2.6—20 **Z80 CPU 引脚功能**

管脚符号	信号名称	输入/输出	有效状态	功　　能
$D_7 \sim D_0$	数据总线	入/出,三态	高电平	用于与存贮器,接口交换数据
$A_{15} \sim A_0$	地址总线	出	低	用于存贮器,I/O 寻址及刷新 RAM 地址
$\overline{M}$	第一机器周期	出	低	指明当前机器周期是取指令操作码周期
$\overline{MREQ}$	存贮器请求	出,三态	低	表明地址总线存贮器读,写的有效地址
$\overline{IORQ}$	输入/输出请求	入/出,三态	低	表示地址总线低 8 位保存有 I/O 端口地址
$\overline{RD}$	存贮器读	出,三态	低	表明 CPU 要求从存贮器或 I/O 进行读操作
$\overline{WR}$	存贮器写	出,三态	低	表明 CPU 对存贮器或 I/O 进行写操作
$\overline{RFSH}$	刷新	出	低	表示地址总线低 7 位 $A_6 \sim A_0$ 为动态 RAM 刷新地址,可作为刷新控制电路的启动信号
$\overline{HALT}$	暂行状态	出	低	CPU 处于暂停状态,在此期间 CPU 执行 NOP 指令,以维持对动态 RAM 的刷新,直到接到中断请求后才退出暂停状态
$\overline{WAIT}$	等待状态	入	低	表明存贮器或 I/O 尚未准备就绪,要求 CPU 进入等待状态,可使慢速的存贮器与 I/O 与 CPU 同步
$\overline{INT}$	可屏蔽中断请求	入	低	表示由 I/O 设备发出中断请求
$\overline{NMI}$	非屏蔽中断请求	入	低	它也是中断请求信号,但$\overline{NMI}$中断请求优先权高于$\overline{INT}$,且不受 CPU 内 IFF1,IFF2 状态影响,以无$\overline{BUSRQ}$,当现行指令执行完后 CPV 即响应$\overline{NMI}$中断请求
$\overline{RESET}$	复位	入	低	初始化 CPU 即复位 IFF1,IFF2=0,I,R 寄存器置 00H、PC 置 0000H;CPU 置中断方式 0,地址总线,数据总线呈高阻状态,所有输出控制信号处无效状态
$\overline{BUSRQ}$	总线请求	入	低	外设请求占用数据总线,地址总线,控制总线和三态输出控制信号呈高阻状态
$\overline{BUSAK}$	总线响应	出	低	表示 CPU 响应总线请求后送出$\overline{BUSAK}$信号,系统可直接使用总线
Φ	时钟			单相 TTL 电平时钟
+5V	电源			与 TTL 兼容
GND	地线			引脚图见图 8.2.6—29

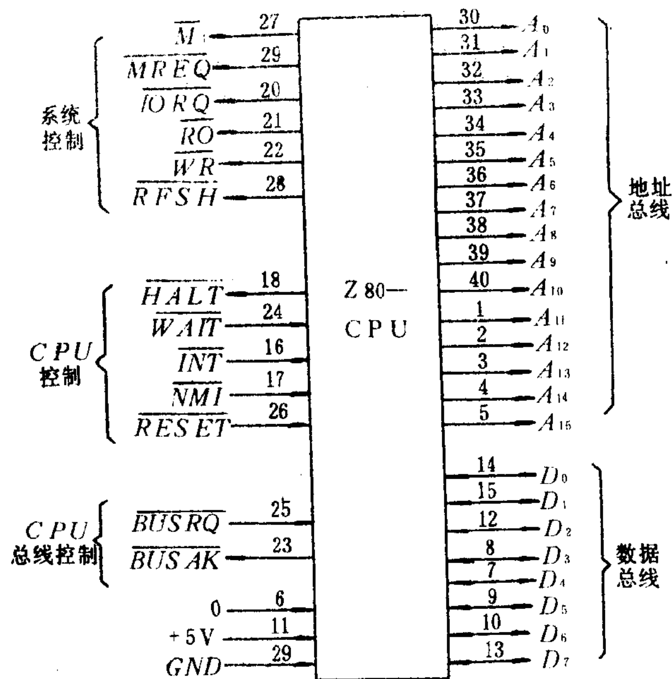


图 8.2.6—29 Z80CPU 引脚图

5.2 8085 A—CPU

5.2.1 8085 A—CPU 的结构

8085 A—CPU 是一种 8 位 40 引脚的微处理器，其内部结构框图如图 8.2.6—30。

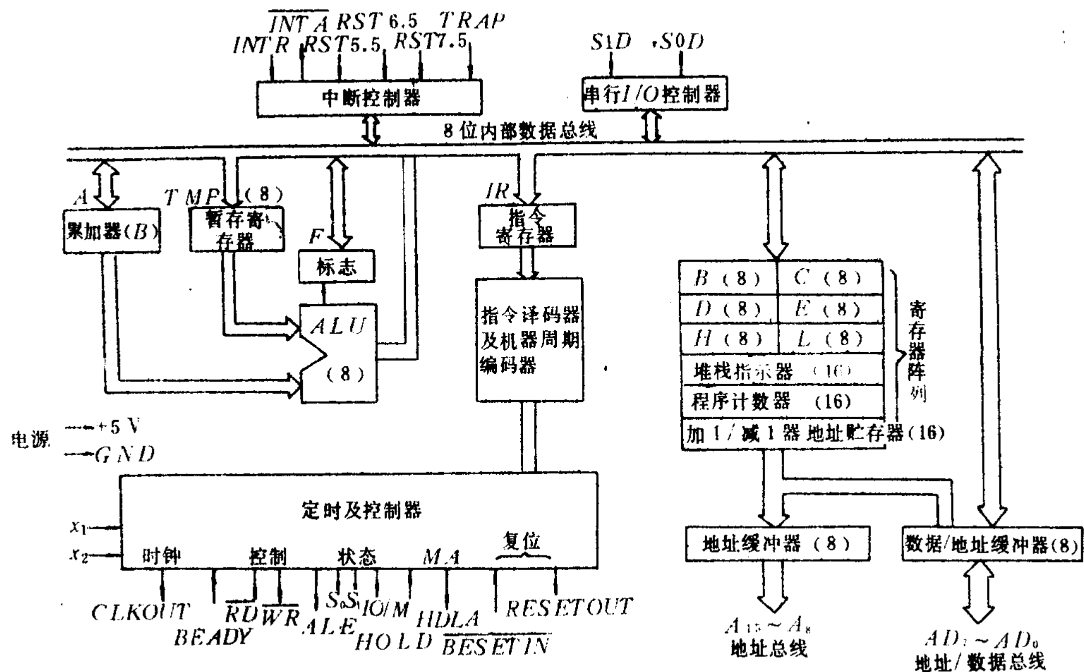


图 8.2.6—30 8085A—CPU 结构框图

5.2.2 8085A 主要特点

有 74 条基本指令；只要单一的＋5V 电源；采用单相时钟，工作频率 3MHz，时钟周期

330ns；16 条地址总线中，由低 8 位 $AD_7 \sim AD_0$ 作为地址/数据总线，按时间差别区分总线上的信息是 8 位数据还是地址；还设置一条允许地址锁存线 ALE 信号，用来表示总线上的信息是低 8 位地址码而不是数据。

5.2.3 8085A 引脚功能。它的引脚见图 8.2.6—31，其功能见表 8.2.6—21。

表 8.2.6—21 **8085A 引脚功能表**

管脚符号	信号名称	输入/输出	有效状态	功能
$AD_7 \sim AD_0$	地址/数据总线	入/出，三态	高	在每个 M 周期的第一个 T 周期，存贮器（或 I/O）地址低 8 位出现在该总线上，其余的 T 则为数据总线
$A_{15} \sim A_8$	地址总线	出	高	存贮器（或 I/O）高 8 位地址
ALE	允许地址锁存	出	高	每个 M 周期的第一个 T 周期产生，允许地址锁存到外部电路中的地址锁存器里
S_0, S_1	总线，M 周期编码状态	出	高	指示总线状态，机器周期编码状态，见表 8.2.6—22
$\overline{RD}$	读控制	出，三态	低	表示从存贮器（或 I/O）中读出数据，数据总线用于传送数据
$\overline{WR}$	写控制	出，三态	低	表示数据可写入存贮器（或 I/0）
READY	准备就绪	入	高	当读（或写）周期时，READY 有效，表示存贮器或外设准备好传送或接收数据
HOLD	请求保持	入	高	表示系统总线上其它设备需要占用数据或地址总线，CPU 接收保持
HLDA	保持响应	出	高	表示 CPU 已接受保持，并在下一个 T 周期放弃总线
INTR	中断请求	入	高	
$\overline{INTA}$	中断响应	出	低	
RST5.5 RST6.5 RST7.5	重新启动中断	入	高	中断优先权高于 INTR
TRAP	不可屏蔽中断	入	高	不受任何屏蔽或允许中断信号的影响，中断优级最高
$\overline{RESET\ IN}$	复位输入	入	低	将 PC 置 0，允许中断和 HLDA 复位
RESET 00T	复位输出	出	高	表示 CPU 复位，可用作系统总清
X_1, X		入		晶体或 RC 振荡器通过 X_1, X_2 连到片内时钟发生器，也可作外部时钟
CLK	时钟	出		时钟脉冲发生器输出信号用作系统的时钟脉冲信号
IO/M		出，三态		表示对存贮器（或 I/O）进行读或写
SID	串行输入数据线	入		当执行 RIM 指令时，此线上数据打入累加器的第 7 位
SOD	串行输出数据线	出		用 R1M 指，可把累加器位 7 的信息锁存，并送到 SOD 输出线上
V_{cc}	电源			+5V
V_{ss}	地线			基准地线

表 8.2.6—22 **机器周期的编码状态表**

$IO/\overline{M}$	S_1	S_0	状态
0	0	1	存贮器写
0	1	0	存贮器读
1	0	1	I/O 写
1	1	0	I/O 读
0	1	1	取操作码
三态	0	0	暂停
三态	X	X	保持
三态	X	X	复位

5.3 Z8000CPU

5.3.1 Z8000 的结构

它有两种类型的结构 Z80001、Z80002，分别为 48 条引脚和 40 条引脚，16 位的微处理器，图 8.2.6—32 表示 Z8000 功能框图。它有 16 个 16 位的通用寄存器，见图 8.2.6—33。

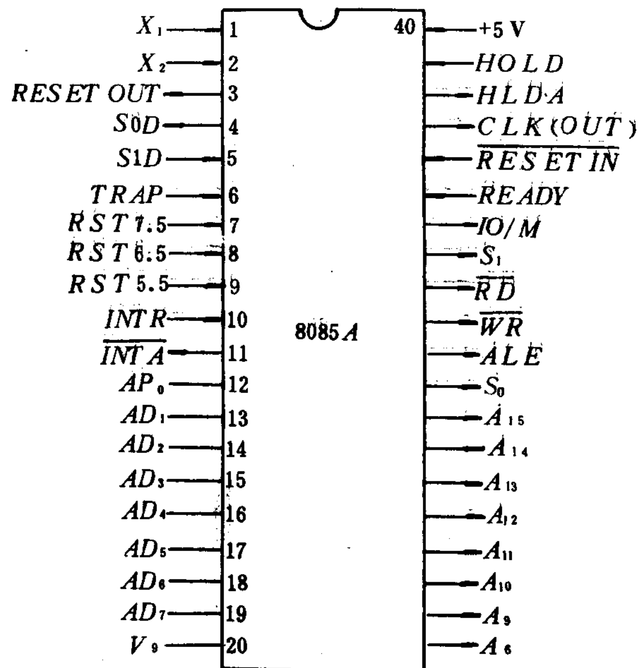


图 8.2.6—31　8085A 引脚图

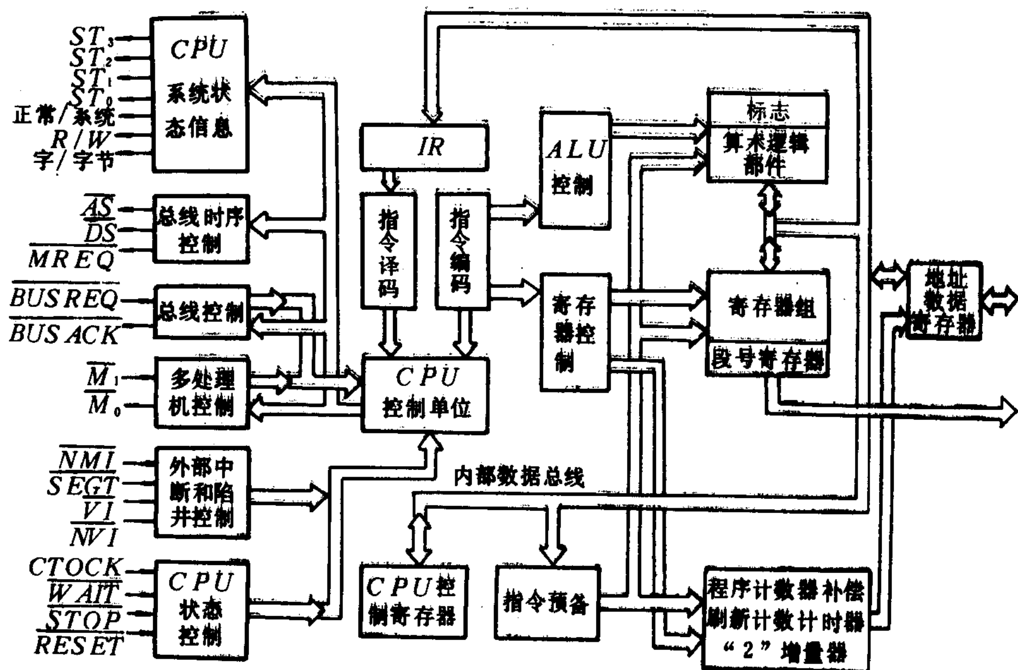


图 8.2.6—32　Z8000 功能图

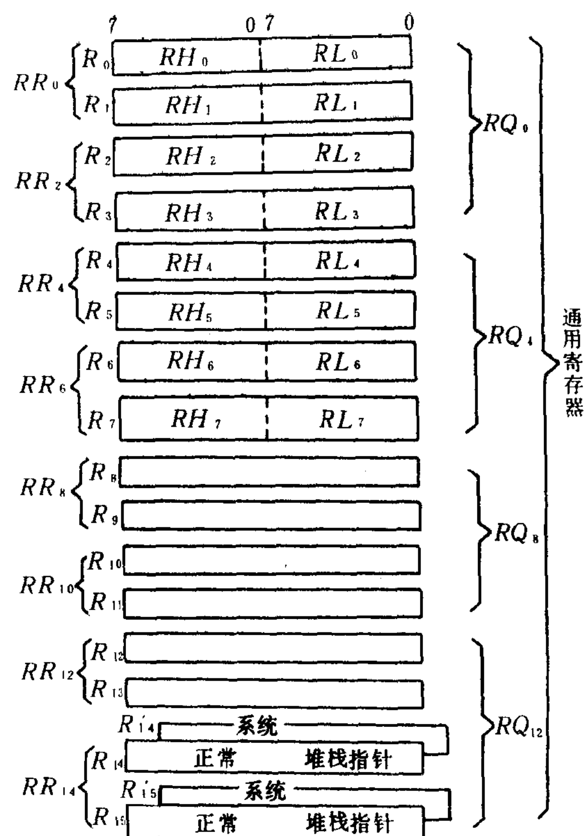


图 8.2.6—33 通用寄存器

5.3.2 Z8000CPU 引脚功能。它的引脚见图 8.2.6—34，引脚功能见表 8.2.6—23。

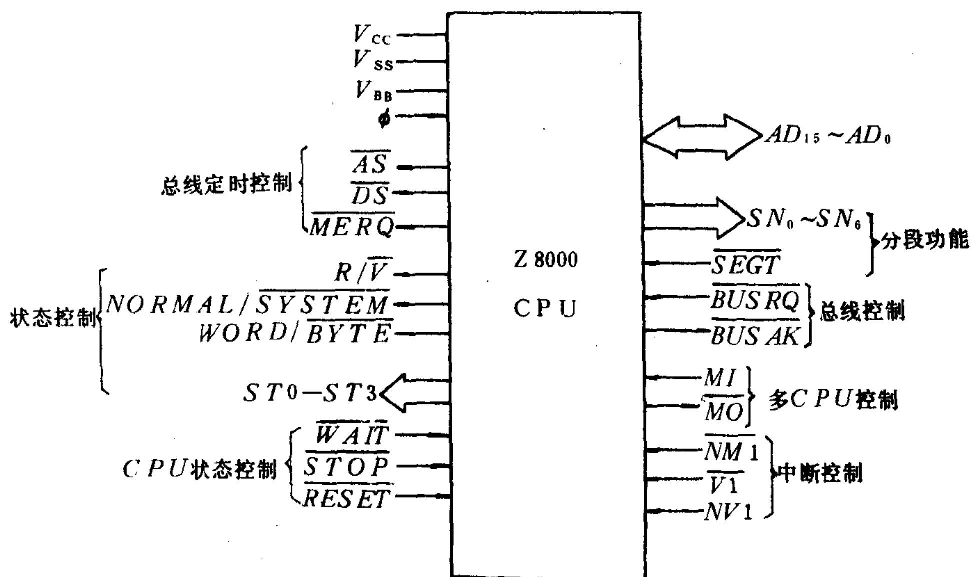


图 8.2.6—34 Z8000CPU 引脚图

表 8.2.6—23　**Z8000引脚功能**

管脚符号	信号名称	输入/输出	有效状态	功　　能
$AD_{15\sim0}$	地址/数据线	入/出,三态	高	多路转换数据/地址
$\overline{AS}$	地址选通	出 三态	低	地址有效
$\overline{BUS\ REQ}$	总线请求	入	低	DMA 请求
$\overline{BUSACK}$	总线请求响应	出	低	CPU 响应 DMA 请求
$\overline{DS}$	数据选通	出,三态	低	决定数据入/出 CPU 的时间
$\overline{MREQ}$	存贮器请求	出,三态	低	表示 AD 线上存贮器地址有效
$\overline{MI}$	多处理机输入	入	低	其它 CPU 请求分享资源
$\overline{MO}$	多处理机输出	出	低	允许其它 CPU 分享资源
$\overline{NMI}$	非屏蔽中断请求	入	低	非屏蔽中断请求输入
$\overline{NVI}$	非向量中断请求	入	低	非向量中断请求输入
$\overline{RESET}$	复位	入	低	复位 CPU
$R/\overline{W}$	读写信号	出	高读,低写	CPU 读写存贮器(I/O)
$SN_0\sim SN_6$	段号	出,三态	高	通过 MMU 可寻址 128 段
$\overline{SEGT}$	分段陷阱	入	低	MMU 检测为低时中断 CPU
$ST_0\sim ST_3$	CPU 状态	出	高	表明 CPU 处于内部操作 I/O 操作等,15 种操作类型之一
$\overline{STOP}$	停止	入	低	停止 CPU 运行
$\overline{VI}$	向量中断请求	入	低	向量中断请求输入
$\overline{WAIT}$	等待请求	入	低	请求 CPU 插入等待周期 T_V
$B/\overline{W}$	字/字节	出,三态	高:字节,低:字	确定访问存贮器方式
$N/\overline{S}$				
$\overline{CLK}$				

5.3.3　Z8000 指令系统

Z8000 指令系统的指令可以分成九组。在介绍具体指令以前,先作以下注释:

1)指令可以对字节(8 位)、字(16 位)、长字(32 位)进行操作。这些不同的数据类型在助符中指出;B 表示是字节指令;L 表示长字指令;如无标记表示时,是字指令。

2)SrC 表示源操作数(SrC1 和 SrC2 用来区分一条指令中的两个操作数)。

3)dst 是目的操作数。

4)r 是寄存器操作数,它一般用作计数器

5)num 是一个数,这就是立即数的值

6)CC 是一个条件码。

7)flag 是标志状态,C, Z,S,P 和 V 的组合

8)int 是向量中断(VI)和非向量中断(NVI)控制位的任意组合。

下面列出 Z8000 的九组指令:

1)输入和交换指令

指　令	操作数	指令名字	指　令	操作数	指令名字
CLR CLRB	dst	清除	LDM	dst,src,num	输入倍数
EX EXB	dst,src	交换	LDR LDRB LDRL	dst,src	输入相对地址
LD LDB LDL	dst src	输入	POP POPL	dst,src	弹出
LDA	dst,src	输入地址	PUSH PUSHL	dst,src	推入
LDAR	dst,src	输入相对地址			
LDK	dst,src	输入常数			

2)算术运算指令

指　令	操作数	指令名字	指　令	操作数	指令名字
ADC ADCB	dst,src	带进位加	EXTS EXTSB EXTSL	dst	扩充符号
ADD ADDB ADDL	dst,src	加	INC INCB	dst,src	增量
CP CPB CPL	dst,src	比较	MULT MULTL	dst,src	乘
DAB	dst	十进位调整	NEG NEGB	dst	取负
DEC DECB	dst,src	减量	SBC SBCB	dst,src	带进位减
DIV DIVL	dst,src	除	SUB SUBB SUBL	dst,src	减

3)逻辑指令

指　令	操作数	指令名字	指　令	操作数	指令名字
AND ANDB	dst,src	与	TCC TCCB	CC,dst	测试条件码

COM COMB	dst	取补	XOR XORB	dst,src	异或
OR ORB	dst,src	或			
TEST TESTB TESTL	dst	测试			

4)程序控制指令

指　令	操作数	指令名字	指　令	操作数	指令名字
CALL	dst	调用过程	JP	cc,dst	转移
CALR	dst	调用相对过程	JP	cc,dst	转移相对
DJNZ DBJNZ	r,dst	减量并非零转移	RET	cc	从过程返回
IRET		中断返回	SC	src	系统调用

5)按位处理指令

指　令	操作数	指令名字	指　令	操作数	指令名字
BIT BITB	dst,src	按位测试	SET SETB	dst,src	置数位
RES RESB	dst,src	复位位	TEST TESTB	dst	测试和置数

6)循环移位和移位指令

指　令	操作数	指令名字	指　令	操作数	指令名字
RL RLB	dst,src	循环左移	SDA SDAB SDAL	dst,src	动态算术移位
SDL SDLB SDLL	dst,src	动态逻辑移位	SLA SLAB SLAL	dst,src	算术左移
RLC RLCB	dst,src	带进位循环左移	SLL SLLB SLLL	dst,src	逻辑左移
RLDB	dst,src	循环左移数字			
RR RRB	dst,src	循环右移	SRA SRAB SRAL	dst,src	算术右移
RRDB	dst,src	循环右移数字			

RRC RRCB	dst,src	带进位循环右移	SRL SRLB SRLL	dst,src	逻辑右移

7)成组传送和串处理指令

指　令	操作数	指令名字	指　令	操作数	指令名字
CPD CPDB	dst,src,r,cc	比较并减量	LDDR LDDRB	dst,src,r	输入,减量,重复
CPDR CPDRB	dst,src,r,cc	比较、减量、重复	LDI LDIB	dst,src,r	输入并增量
CPI CPIB	dst,src,r,cc	比较并增量	LDIR LDIRB	dst,src,r	输入,增量、重复
CPIR CPIRB	dst,src,r,cc	比较、增量、重复	TRDB	dst,src,r	翻译并减量
CPSD CPSDB	dst,src,r,cc	比较串并减量	TRDRB	dst,src,r	翻译、减量、重复
CPSDR CPSDRB	dst,src,r,cc	比较串、减量、重复	TRIB TRIRB	dst,src,r dst,src,r	翻译并增量 翻译、增量、重复
CPSI CPSIB	dst,src,r,cc	比较串并增量	TRTDB	src_1,src_2,r	翻译、测试、减量
CPSIR CPSIRB	dst,src,r,cc	比较串、增量、重复	TRTDRB TRTIB	src_1,src_2,r src_1,src_2,r	翻译、测试、减量并重复翻译、测试并增量
LDD LDDB	dst,src,r	输入并减量	TRTIRB	src_1,src_2,r	翻译、测试、增量并重复

8)输入输出指令

指　令	操作数	指令名字	指　令	操作数	指令名字
IN INB	dst,src	输入	SIN SINB	dst,src	特别输入
IND INDB	dst,src,r	输入并减量	SIND SINDB	dst,src,r	特别输入并减量
INDR INDRB	dst,src,r	输入、减量、重复	SINDR SINDRB	dst,src,r	特别输入、减量并重复
INI INIB	dst,src,r	输入增量	SINI SINIB	dst,src,r	特别输入并增量
INIR INIRB	dst,src,r	输入、增量、重复	SINIR SINIRB	dst,src,r	特别输入、增量并重复

OTDR OTDRB	dst,src,r	输出、减量、重复	SOTDR SOTDRB	dst,src,r	特别输出、减量并重复
OTIR OTIRB	dst,src,r	输出、减量、重复	SOTIR SOTIRB	dst,src,r	特别输出、增量和重复
OUT OUTB		输出	SOUT SOUTB	dst,src	特别输出
OUTD OUTDB	dst ,src,r	输出并减量	SOUTD SOUTDB	dst,src,r	特别输出并减量
OUTI OUTIB	dst,src,r	输出并增量	SOUTI SOUTIB	dst,src,r	特别输出并增量

9)CPU 控制指令

指　令	操作数	指令名字	指　令	操作数	指令名字
COMFLG	flag	标志求补	LDPS	src	输入程序状态
DI	int	禁止中断	MBIT		多微处理器按位测试
MREQ		多微处理器请求	MSET		多微处理器置数
MRES		多微处理器复位	NOP		空操作
EI	int	允许中断	RESFLG	flag	复位标志
HALT		暂停	SETFLG	flag	置数标志
LDCTL LDCTLB	dst,src	输入控制寄存器			

第 7 章　微型计算机的外部设备及接口

1 键　　盘

键盘是用来向计算机送入程序和数据或控制命令的输入设备。

1.1　键盘输入操作的过程：

1)按键；

2)查出按下的哪一个键；

3)把此键所代表的信息翻译成计算机能识别的代码。

1.2　非编码键盘

非编码键盘是由软件实现对键盘扫描任务，它通常以 m 行×n 列的矩阵形式排列。识别所按下的键是由 CPU 以程序查询方式实现的。

1.2.1　行扫描法

将行线上送"0"控制信号，如合上键，则测出列线亦为"0"信号；否则，测出为"1"，表示未合上。其过程如下：用输出指令送全"0"到行线；再测试有否键按下。如无键按下，程序循环等待；如有键按下，然后才逐行依次送"0"，再测试列线状态以寻找是哪个键按下，找到后就转入该键的子程序，见图 8.2.7—1，图 8.2.7—2。

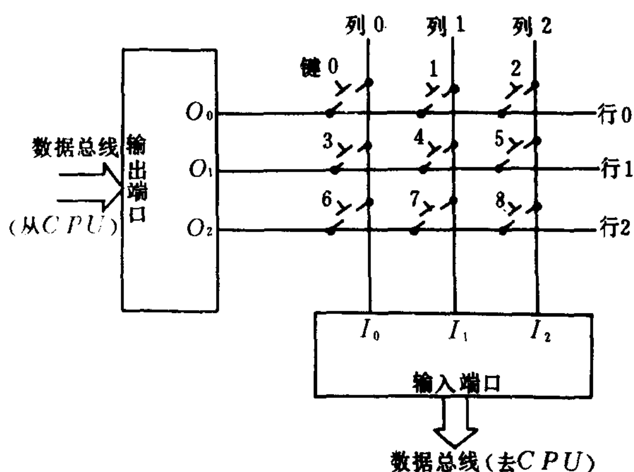


图 8.2.7—1　键盘扫描接口

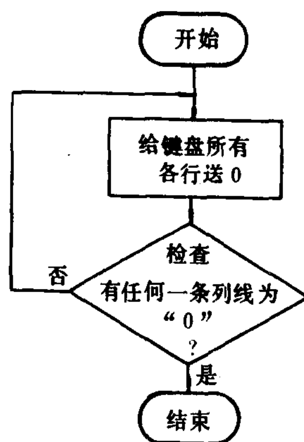


图 8.2.7—2　等待按键闭合程序流程图

识别有否键按下程序：

```
WAIT:LD A,11111000
     OUT(KBDOT),A
     IN A,(KBDIN)
     AND 0000 0111B
```

```
        CP 0000 0111B
        JP Z, WAITK
        HALT
```

程序中 KBDOT 和 KBDIN 是输出端口和输入端的设备号。按键位置判定程序流程图见图 8.2.7—3。对应的程序如下：

```
FROW:LD B,00
     LD C,1111 1110B
     LD D, 03
     LD A,C
     OUT (KBDOT),A
     RLCA
     LD C,A
     IN A,(KBDIN)
     AND 00000111B
     CP 00000111B
     JP NZ,FCOL
     LD A,B
     ADD A,03
     LD B,A
     DEC D
     JP NZ,FROW
     JP DONE
FCOL:RRA
     JP NC,RIGHT
     INC B,
     JP FCOL
DONE:   JP DONE
RIGHT:  JP RIGHT
```

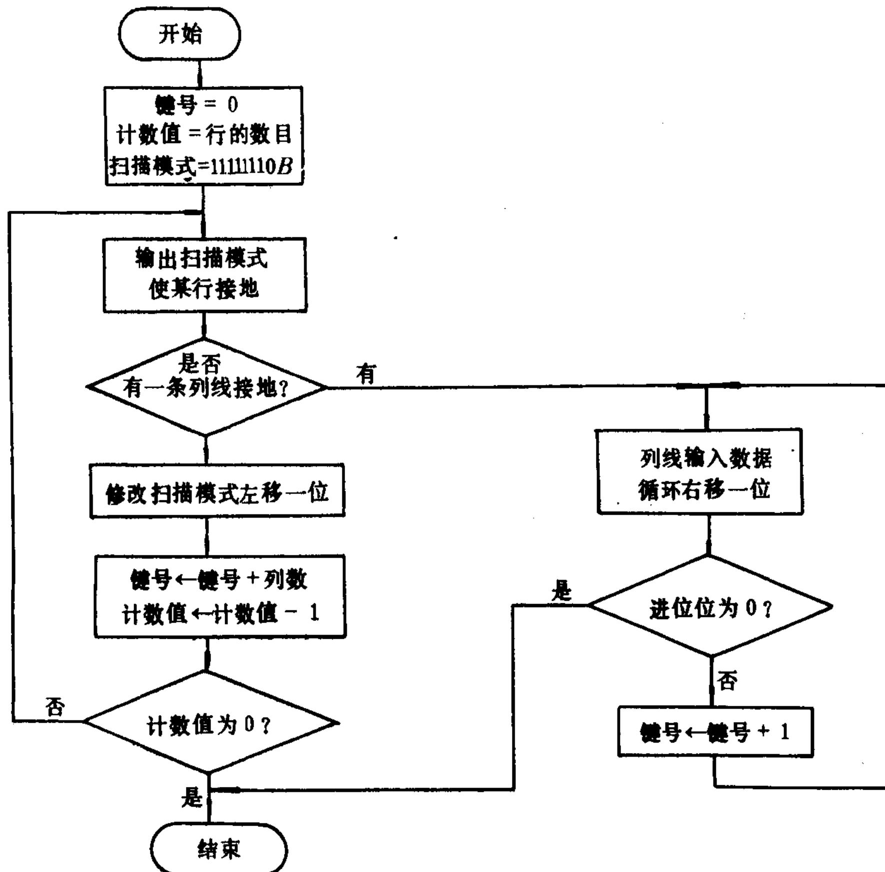


图 8.2.7—3 判定按键号程序流程图

1.2.2 线反向法键盘(LiNE—reversal)

使原来是输入的那些线变为输出，输出的那些变为输入。然后读取并检查数据寄存器的全部内容(行线和列线上内容)组成键识别码。

1.3 编 码 键 盘

编码键盘是由硬件实现键盘编码。键盘多采用矩阵排列，并且需要一个扫描编码器或用扫描程序，见图 8.2.7—4 示出了扫描编码器识别键的工作原理。它用计数器的高 3 位和低 3 位分别对列译码器和行译码器(8 中取 1)进行扫描(其原理同非编码键盘扫描)。当有键按下时，键将输出一个脉冲信号，以中断方式由 CPU 取走计数器中的值，该值是对应于键的 ASC11 码

值，它存放在 ROM 中。同时，为保证 CPv 可靠取数，应立即停止计数器计数，待 CPU 以 ROM 读取键 ASC11 码值后，计数器才重新计数扫描键盘。

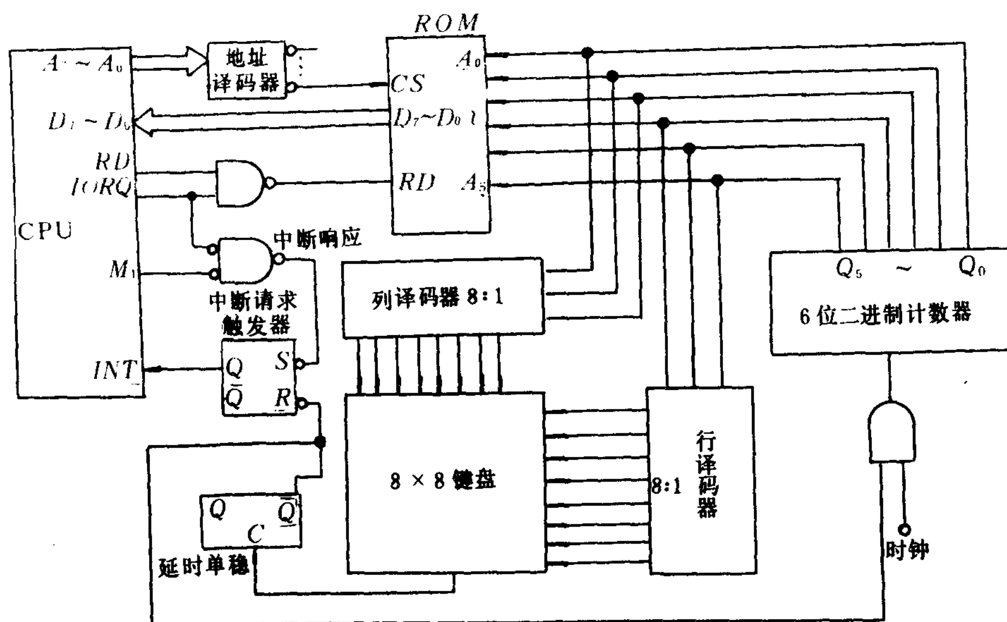


图 8.2.7—4　带 ROM 的硬件扫描键盘

2　盒式磁带机

在微型计算机系统中常用录音机（盒式磁带机）作为外存储器。利用录音磁带作为串行通讯设备，记录 CPU 送来的二进制信息，或把记在磁带上的信息读出。因此，微型计算机与磁带机要通过串行接口电路连接。

2.1　用盒式磁带机记录 0 和 1 的标准（KC 标准）

1）用 8 个周期的 2400Hz 信号表示逻辑 1；

2）用 4 个周期的 1200Hz 信号表示逻辑 0；

3）一个字符组成格式：一个逻辑 0 的起始位，7 或 8 个数据位、2 个或更多的逻辑 1 表示停止位；

4）7 个 ASC11 码数据位，串行传送时，低位在先，高位在后；

5）整个文件（由若干记录组成）开头有 30s 以上的空闲位“1”作为导引段，末尾至少有 5s 的空闲位作结尾段；

6）数据速率为 300 波特（即每位宽 3.33ms）；

7）数据块的格式内容未作规定。

这种记录方式记录 0 和 1 的信号见图 8.2.7—5。

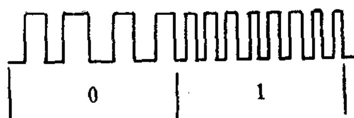


图 8.2.7—5　KC 标准磁带记录方式

2.2　记录数据块格式(Intel Hex 标准)

1)每个记录以冒号(:)开始,用回车 CR 和换行 LF 结束,每个记录所含的 ASC11 码字节最多 32 个。

2)所有信息用 ASC11 码(7 位,无奇偶校验位)记录。

3)数据记录具体格式:

字节数	1	2 3	4 5	6 7	8 9	10(最多 32 个字节)			
开始 40 秒标题	:	记录大小 32 个 ASC11 码	该记录的起始地址高 8 位	起始地址低 8 位	记录类型为 ASC11 码"00"	数据(ASC11 码表示)	校验和	CR	LF

4)文件结束的格式:

字节数 1	2 3	4 5	6 7	8 9	10 11	文件结束
:	ASC11 00	ASC11 00	ASC11 00	记录类型 01	和校验	5 秒结尾

2.3　盒式磁带转贮

2.3.1　Z80—CTC 和录音机接口电路见图 8.2.7—6。

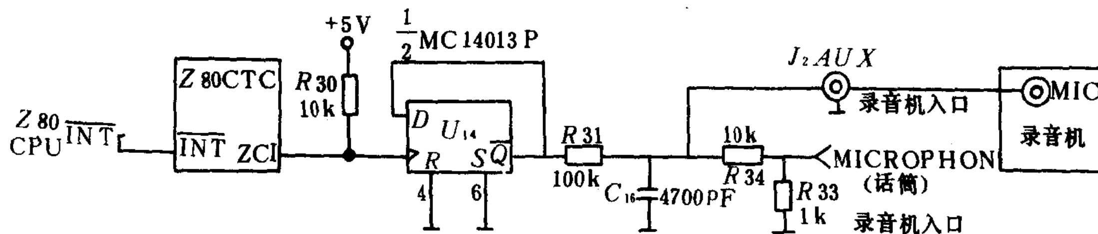


图 8.2.7—6　磁带转贮接口电路

2.3.2　写入磁带

用程序设定 Z80CTCI 通道为定时工作方式,使 ZC/TO1 端产生代表 1 的 2400Hz 的脉冲或产生代表 0 的 1200Hz 的脉冲送到 D 触发器(U_{14}),输出符合 KC 标准的方波序列,经 R_{31} C_{15} 滤去高频分量得到类似音频的正弦信号,由 J_2 送到录音机。而 CTCI 通道送出的数据格式由 Z80 TP801 ZBUG 程序控制。

2.4 盒式磁带装入

2.4.1 CPU 与录音机接口电路见图 8.2.7—7。

2.4.2 CPU 读出磁带的信息

从录音机输出口(J_1)送出数据，通过放大限幅、整形电路 U_7，把磁带上记录的正弦波整形为方波脉冲，再由 U_{15}、U_{14}组成的频率检测器译码电路鉴别出 0 或 1，所以 U_{14}的$\overline{Q}$端可直接和 CPU 的 D_7 相连。并由 ZBUG 程序控制将串行数据变为并行数据，由 ASC11 码转换为二进制数，去掉记录格式中非数据字节后存入内存 ROM 中。

图 8.2.7—7 磁带信息输入 CPU 接口电路

2.5 盒式磁带"转贮"，"装入"操作过程

2.5.1 "转贮"操作过程

1)用转录线将单板板转录输出端 AUX(J_2)与录音机输入口相连，再装入磁带；

2)用"MEM EXAM"键将要转录的信息起始地址和末地址分别送入指定的内存；

3)按下"MON"键，显示出提示符"—"；

4)按下"转贮"键(CASS DUMP)，提示符"—"消失，转录开始；

5)当显示器上再次出现"—"时，表示转录结束，按下录音机的 STOP 键，停止走带，从内存转录至磁带整个过程至少 45s。录制时不需音量调节，因录音机内有自动增益控制。

2.5.2 "装入"操作过程

1)用转录线将单板机的 EAR(J_1)与录音机的"MON ITOR OUT 或 EARPHONE"孔相接；

2)将磁带走到相应位置，把录音机的高音控制调到最大，低音调到最小，音量适中；

3)按下"MON"键，显示出提示符"—"；

4)按下"装入"键(CASS LOAD)，提示符"—"消失，录音机开始放音。在输入过程中，单板

机中有一个表示装入的专用发光二极管应保持常亮，不然就应当增大音量；

5）当再次出现提示符“－”时，表示输入成功，如显示出其他数字，说明输入失败应重新操作。

3 软磁盘接口

软磁盘是一种涂有磁性材料的编码圆盘，是微型计算机系统的大容量外存贮器，用来存放系统软件和用户文件，存贮的数据能随机存贮。

3.1 软磁盘结构

目前软磁盘的两种规格：20.32cm（8in）和13.35cm（5in）盘见图8.2.7—8。图中索引孔为检测磁道起始位置标志；驱动器主轴孔是驱动电机主轴从该孔伸出，使软磁盘在密封盘套中高速旋转；磁头槽供磁头读写时能接触盘片；盘套上的缺口为写保护缺口，它使此盘只准读不准写入，防止误 写破坏了原有文件，与8in盘相反，对5in盘，使用时要把小缺口贴住。

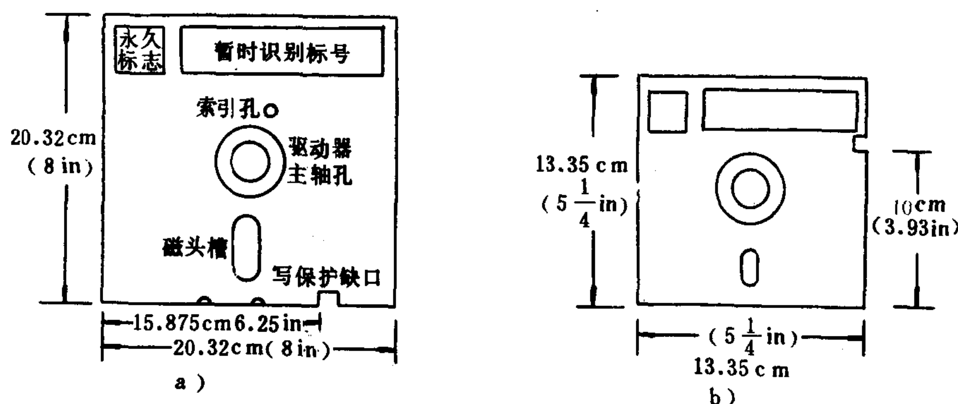


图 8.2.7—8 软磁盘外形

a)标准磁盘；b)小型磁盘

3.2 软磁盘记录数据的方式

在软磁盘上按磁道记录数据。记录格式通常按1BM 3740的格式规定，把一个软盘分成若干磁道，每一磁道又分为若干定长的扇段，每扇记录定长的数据字节，见表8.2.7—1软盘参数表。

表 8.2.7—1 **20.32和13.35cm（8in和5in）软磁盘参数性能表**

软盘种类		每面磁道数	每道扇段数	写保护口
13.35cm 盘双面单密度		35	18	写保护时缺口贴片
20.32cm	单面单密度	77	26	与13.35cm 盘相反
	单面双密度	77	52	

磁盘磁道是以二进制形式记录，采用调频编码方式。FM编码规则：每一数据位都以一个启动时间脉冲开始，而数据在两个时间脉冲之间，即每一位由一个时钟位（始终是“1”）和一个数据位（“0”或“1”）组成见图8.2.7—9。改进的调频制MFM编码规则：只有当相邻两个位单元包含数据位“0”时，才在其间插入时钟位见图8.2.7—10。

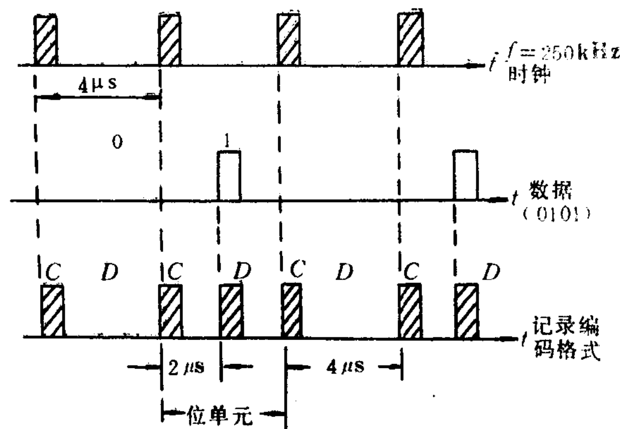
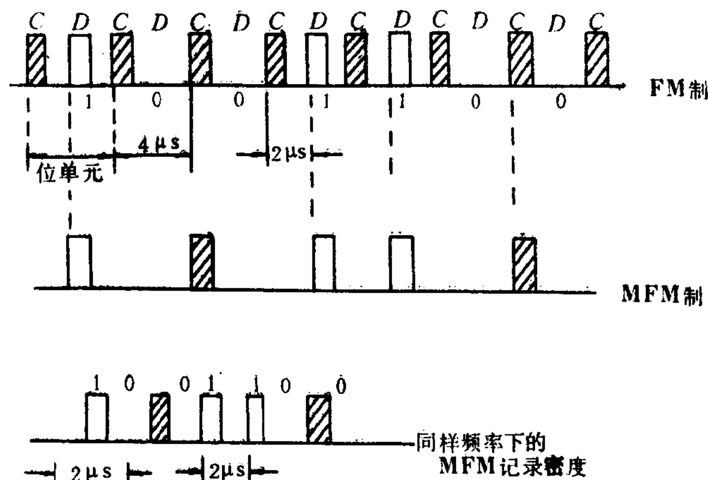


图 8.2.7—9 FM 编码方式



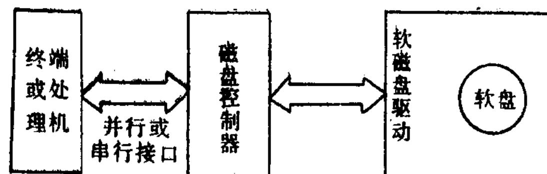


图 8.2.7—10 FM 和 MFM 的比较

3.3 软磁盘与微处理器接口(见图 8.2.7—11)

图 8.2.7—11 软磁盘与微处理器接口

3.3.1 磁盘驱动器

它具有控制磁盘的机械运动,磁头定位和执行处理器的传送命令,以及读写控制等功能,其原理见图 8.2.7—12。

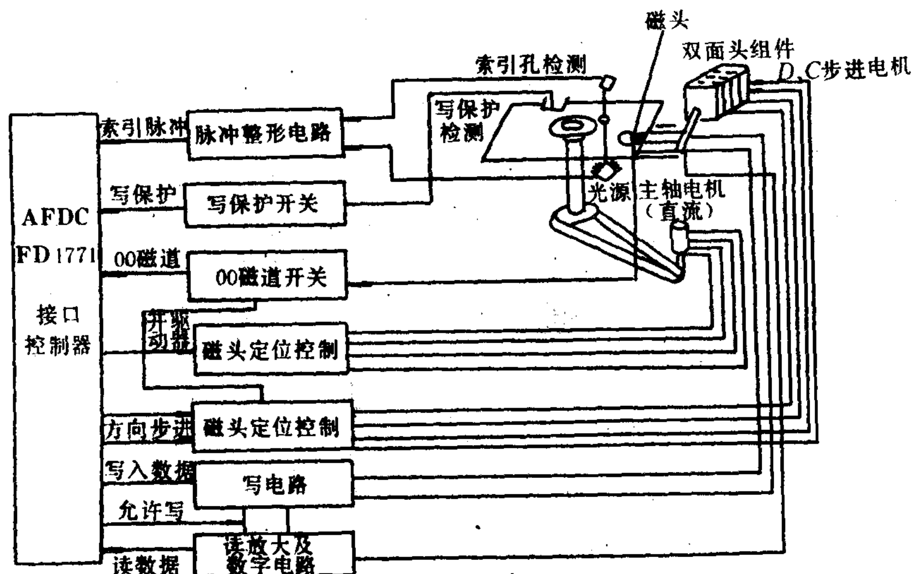


图 8.2.7—12 软盘驱动器简图

3.3.2 软盘控制器

它是处理器与软盘驱动器之间的接口片。具有控制驱器动作和控制软盘上数据格式的功能,如控制磁头自动寻磁道,磁头加载,自动寻读/写命令指定的扇段号,读 写数据的串并转换,同步位(时钟)与数据位的分离,CRC 产生和校验等见图 8.2.7—13。

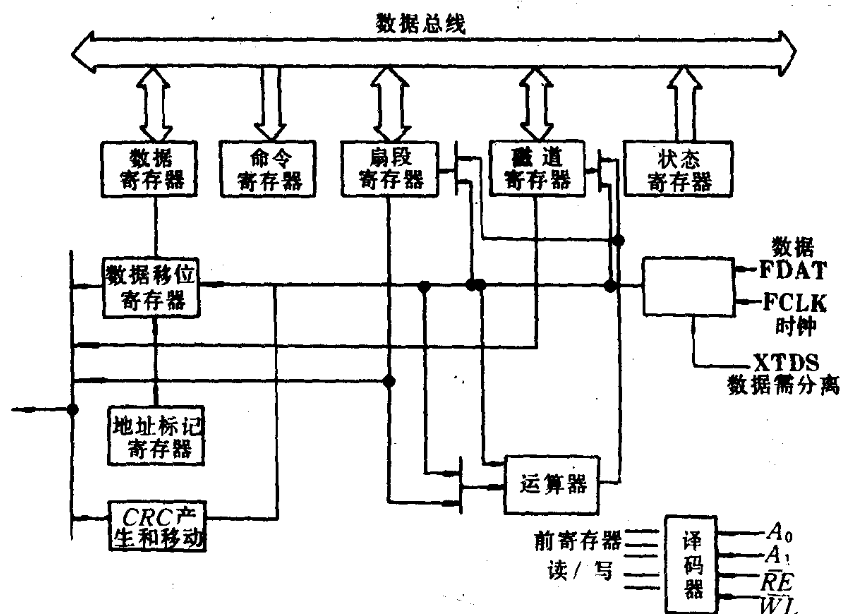


图 8.2.7—13 FD 1771 软盘控制器结构图

第8章　可编程序控制器

1 概　　述

可编程序控制器(programmable Controller 简称PC)。它是由硬布线控制方式发展为存储程序控制方式的一种微机化的控制设备。硬布线控制方式(继电器控制,常规电子逻辑控制)其系统功能是由硬件间的电路联接决定的,若改变它的功能必须改变线路的结构;而存储程序控制方式(PC控制),其系统的功能是通过存储器中的用户程序决定的。如若改变其功能只要改变程序便可实现。因此,近来这种PC控制器逐渐地取代了继电器控制系统,它已成为现代工业自动控制的一种新型的控制设备。

2 PC控制的特点

1)模块化的设计。从硬件看:中央模板,I/O模板为积木式的组合联接;从软件看:各种功能的积序块可方便地建立,调入和使用。

2)独特的编程语言。编程语言简单易学,修改、扩展可在现场进行。

3)通道多、功率大。它的输入,输出结点可达几百个,有开关量和模拟量输入、输出。PC最大的输出电流可达2～4A。

4)标准化的硬件,通用性强。它对不同的控制系统只要编写相应的程序就可通用一种类型的PC。

5)可在工业环境下长期使用。环境温度:0～60℃;存放温度－40～＋70℃。不怕干扰(结构上采用光电隔离),不怕振动。停电记忆可达5年之久(内设锂电池)。

6)无磨损、不用维修,故障诊断简单。维修时只要更换插入式模块即可,这样可使停机时间降低。

7)使用经济。据统计功能相当于100个继电器控制的PC,其价格不超过10个继电器控制的价格总值。

8)比一般微型计算机更适合于工业控制。比一般微机控制功能强,语言简单,I/O接口已按工业上的要求配备好。

3 可编程序控制器系统的组成(见图8.2.8—1)

3.1 可编程序控制器(SIMATICS5)

这是系统的主机,它是用微处理器为基础的模块化技术组合而成。主要有:

1)中心模板

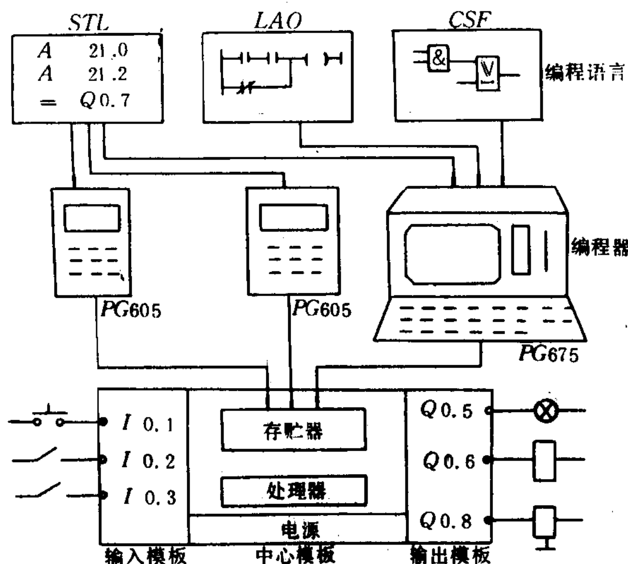


图 8.2.8—1 PC 控制系统图

主要部分：处理器、存储器、定时器、计数器、控制器和标志器等模块。

主要功能：(1)执行用户程序；(2)对输入、输出进行扫描和采样；(3)驱动输出；(4)对辅助存储器模块编程；(5)提供编程器串行接口。

2)I/O 模板

主要包括：(1)数字输入输出模板：开关量控制；(2)模拟量输入输出模板：连续变量控制(压力、温度等)；(3)通讯模板：打印机、调节器、CRT 与 PC 间的数字变换；(4)智能模板：信号快速处理，短时重复处理等。根据自动控制系统的需要。可将一个或多个模板接至中央处理器实现扩展。其实现方法有：集中组合式联接(最多可组合成 2.5m)；分散联接(接远程单元可达 1000m)。

3.2 编 程 器

编程器利用键盘中各种键将用户程序打入 PC 中，并为在显示器上监察程序的编排、调试、修改或诊断。拥有 PROM 编写功能。一般有三种型式：手握在线编程器，手握离线编程器和台式编程器。

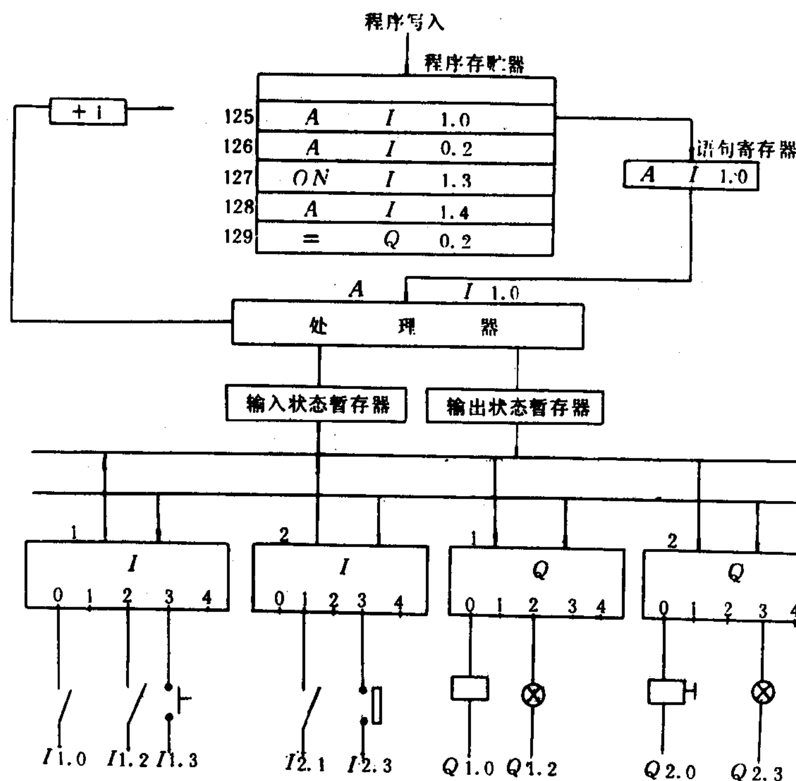


图 8.2.8—2 系统工作原理图

3.3 程序语言

程序语言的编写主要有三种叙述方式：梯形图(LAD)，语句表(STL)和控制系统流程图(CSF)。

4 系统的工作原理

可编程序控制器是循环地执行程序的如图 8.2.8—2 所示。

在一个循环周期中的工作过程是：

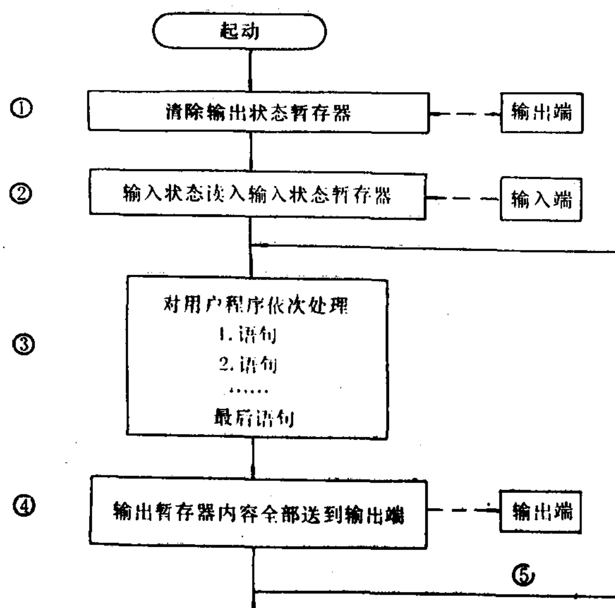


图 8.2.8—3　可编程序控制器工作过程

1)扫描：扫描全部输入模板的状态位，将信号状态存放在输入状态暂存器中。

2)寻址：程序计数器将寻到的语句传送到语句寄存器。

3)处理：处理器执行语句时首先通过地址译码器译出语句寄存器中的语句，并读出输入状态暂存器中的信号状态“1”或“0”。最后处理器执行逻辑操作，将结果送入输出状态暂存器。

4)输出：执行完程序的最后一个语句时，将输出暂存器中的内容传送到实际输出端子上。

上述过程为一个周期的工作情况。每循环一次约 70ms。见图 8.2.8—3。

5 编 程 语 言

程序编写可按三种方式表达：梯形图，语句表及控制系统流程图。梯形图和控制系统流程图是把控制任务所叙述的功能变成以图形所表示的指令方式。而语句表则是用助记符形式表示指令。

5.1 编程规则(以西门子 S5—101U 为例)

图 8.2.8—4 是一个用继电器控制的电路，现 将其编写成 PC 的程序。

1)语句表(见表 8.2.8—1)

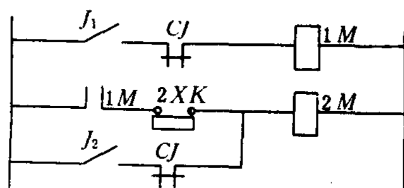


图 8.2.8—4　继电器型控制电路

表 8.2.8—1　　语 句 表

语句表			功　　能
A	I	1·1	执行逻辑“与”，输入地址为 1·1
AN	I	1·2	执行逻辑“与非”输入地址为 1·2
=	Q	2·1	赋值给输出地址 2·1
A	Q	2·1	将输出 2·1 作为输入，执行逻辑“与”
AN	I	1·3	执行逻辑“与非”，输入地址为 1·3
0			执行逻辑“或”
A	I	1·4	执行逻辑“与”，输入地址为 1·4
AN	I	1·2	执行逻辑“与非”，输入地址为 1·2
=	Q	2·2	将结果赋值给输出地 址为 2·2

2)梯形图

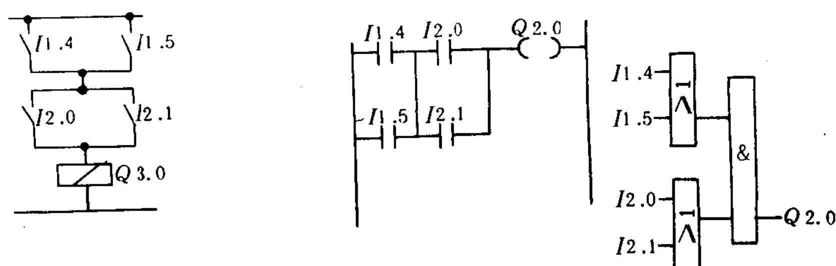


图 8.2.8—5 梯形图

图 8.2.8—5 为所写的阶梯图，由 2 个阶梯所组成，每个阶梯包括 2 种类型的指令，即输入指令和输出指令。每个指令是由指令符号和指令地址所组成的。

阶梯 1 的输入指令是“与”功能；而阶梯 2 的输入指令是“或”功能。在一个阶梯中必须含有输入指令和输出指令。

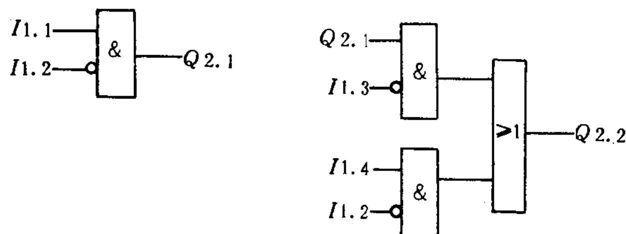


图 8.2.8—6 流程图

3)流程图

流程图见图 8.2.8—6。它是与常规电子逻辑电路的图形符号大体相同。

5.2 典型电路的编程

5.2.1 逻辑“与”电路(见表 8.2.8—2)

表 8.2.8—2 逻辑“与”图表

电路图	语句表	梯形图	流程图	说明
I1.1 I1.2 I1.3 Q1.0	A I 1.1 A I 1.2 A I 1.3 =Q 1.0	I1.1 I1.2 I1.3 Q1.0	I1.1 I1.2 & I1.3 Q1.0	电路中：只有 I 1 · 1 I1 · 2、I1 · 3 都闭合时，继电器线圈 Q1 · 2 才通电。在程序中：只有 I1 · 1 I1 · 2 I1 · 3 都为 1 时，输出 Q1 · 0 才为 1

注：A 执行逻辑与；I 指定输入单元；Q 指定输出单元；二赋值。

5.2.2 逻辑“或”电路(见表 8.2.8—3)

表 8.2.3—3　　**逻辑“或”图表**

电路图	语句表	梯形图	流程图	说明
I1.2 I1.7 I1.5 Q1.2	O I 1.2 O I 1.7 O I 1.5 =Q 1.2	I1.2 Q1.2 I1.7 I1.5	I1.2 I1.7 I1.5 ≥1 Q1.2	在电路中:三个并联的常开触点不管那一个闭合则继电器线圈Q1.2通电。在程序中:输入指令 I1.2 或 I1.7 或 I1.5 为“1”时则输出 Q1.2 为“1”

5.2.3 “与或”电路(见表 8.2.8—4)

表 8.2.8—4　　**“与或”逻辑图表**

电路图	语句表	梯形图	流程图	说明
I1.5 I1.4 I1.6 I1.3 Q1.1	A I 1.5 A I 1.6 O A I 1.4 A I 1.3 =Q 1.1	I1.5 I1.6 Q1.1 I1.4 I1.3	I1.5 I1.6 & I1.4 I1.3 & V Q1.1	在电路中:只有当I1.5与I1.6或I1.4与I1.3常开触点闭合,则继电器线圈才通电;在程序中:只有输入指I1.5与I1.6或I1.4 I1.6为“1”时则输点Q1.1才为“1”

5.2.4 “或与”电路(见表 8.2.8—5)

表 8.2.8—5　　**“或与”逻辑图表**

电路图	语句表	梯形图	流程图	说明
I1.4 I1.5 I2.0 I2.1 Q2.0	AC O I 1.4 O I 1.5) A(O I 2.0 O I 2.1) =Q 2.0	I1.4 I2.0 Q2.0 I1.5 I2.1	I1.4 I1.5 ≥1 I2.0 I2.1 ≥1 & Q2.0	在电路中:只有常开触点 I1.4 或 I1.5 闭合与 I2.0 或 I2.1 闭合,则继电器线圈通电。在程序中:只有输入指令 I1.4 或 I1.5 为“1”与 I2.0 或 I2.1 为“1”时则 输出Q2.0才为“1”

5.2.5 具有常闭触点的“与”电路(见表 8.2.8—6)

表 8.2.8—6　**具有常闭触点的“与”电路图表**

电路图	语句表	梯形图	流程图	说明
I1.6 I1.5 Q2.0	AI 1.5 AN I1.6 =Q 2.0	I1.5 I1.6 Q2.0	I1.5 & I1.6 Q2.0	

5.2.6 置位锁定/锁定解除电路(见表 8.2.8—7)

表 8.2.8—7　**锁定置位/复位图表**

电路图	语句表	梯形图	流程图	说明
I1.4 I1.7 Q1.5	A I1.7 S Q 1.5 A I 1.4 R φ 1.5 NOP Φ	I1.7 S I1.4 RQ Q1.5	I1.7 S I1.4 RQ Q1.5	S 置位锁定 R 锁定解除 在电路中:I1.7 常开触点闭合时则继电器通电并被锁存,I1.7 再断开时,继电器线圈仍通电。只有当 I1.4 闭合时继电器线圈 Q1.5 才断电。在程序中:输入指令 I1.7 为“1”时,则输出 Q1.5 才为“1”并锁定,当 I1.7 变为“0”时 Q1.5 仍为“1”;只有当输入指令 I1.4 为“1 ”时输出 Q1.5 才为“0”

5.2.7 接通延时电路(见表 8.2.8—8)

表 8.2.8—8 **接通延时电路图表**

电 路 图	语 句 表	梯 形 图	流 程 图	说 明
I1.5 T3 Q1.2	A I 1.5 L KT 9.2 SR T 3 NOPφ NOPφ NOPφ AT 3 =Q 1.2	T3 I1.5 KT9.2 BT TV DG R Q Q1.2	T3 I1.5 KT9.2 BT DG R Q Q1.2	在电路中:由接通延时的时间继电器 T3 控制继电器 Q1.2,常开触点 I1.5 闭合时,T3 通电,其常开触点延时闭合,继电器 Q1.2 线圈通电。在程序中:SR 为接通延时指令,LKT 为定时间指令;T3 为地址是 3 的定时器。当输入指令 I1.5 为"1"时,则延时 9.2 秒后输出 Q1.2 为"1"复位时 R 端量"1"

5.2.8 断开延时电路(见表 8.2.8—9)

表 8.2.8—9 **断开延时电路图表**

电 路 图	语 句 表	梯 形 图	流 程 图	说 明
I2.1 T5 Q1.3	AN I 2.1 LKT 5.1 SP T 5 NOP φ NOPφ NOPφ A T 5 =Q 1.3	T5 I2.1 KT5.1 TV RQ Q1.3	T5 I2.1 KT5.1 RQ Q1.3	在电路中:断开延时的时间继电器 T5 控制继电路 Q1.3,当常闭触点闭合时 T5 触点瞬时闭合,则继电器线圈 Q1.3 通电,当 I2.1 触点断开时,T5 延时打开,Q1.3 线圈断电;在程序中:SP 表示断开延时,当输入指令 I2.1 不为"0"则输出点 Q1.3 瞬时为"1"。当输入指令由"1"变"0"时,则输出点 Q1.3 给 5.1S 延时由"1"变"0",复位时 R 端置"1"

5.2.9 增量计数(见表 8.2.8—10)

表 8.2.8—10 **增量计数图表**

电路图	语句表	梯形图	流程图	说明
I1.1 KC018 R S CI I1.1 Q1.0	A I 2.1 CU C 1 NOP φ A I 1.1 LK C φ18 S C 1 NOPφ NOPφ NOPφ A C 1 =Q 1.0	CI I2.1 Cu I1.1 S KC018 R Q Q1.0	CI I2.1 Cu I1.1 S KC018 R Q1.0	电路是按增量计数的。按此电路可编出增量计数的程。CU 为增量计数指令，每次加 1。LK 为计数设定值。当输入指令 I2.1 I1.1 为“1”时，计数器 CI 计数，由输出端 Q1.φ 输出

5.2.10 减量计数(见表 8.2.8—11)

表 8.2.8—11 **减量计数图表**

电路图	语句表	梯形图	流程图	说明
I2.0 KC025 R S CI I1.0 F10.0	A I 10 CD C 1 NOP 0 A I 2.0 LK C φ25 S C 1 A I 2.1 R C 1 NOPφ NOPφ A C 1 =F10.0	CI I1.0 CD I2.0 S KC025 CV I2.1 R Q F10.0	CI I1.0 CD I2.0 S KC025 CV I2.1 R Q F 10.0	由减量计数器电路所写的程序：CD 为减量计数指令，当 I1.0，I2.0 为“1”时，计数器计数，由输出端F10.0输出，计数个数为 25

5.3 编程举例

一个 Q2.4 的接触器由控制系统来的指令 I1.2 和 I1.3 进行通断控制(见图 8.2.8—7)。键开关 I1.1 允许进行手动“点动”。在点动期间，连至输出 Q2.4 的接触器仅仅在按钮 I1.4 被压下期间才能接通。当限位开关 I1.0 动作时接触器释放。

表 8.2.8—12　　语　句　表

AN	I	1.1	=	F	0.2	A	I	1.1
A	I	1.2	A	I	1.1	AN	I	1.4
=	F	0.1	A	I	1.4	AN	I	1.0
AN	I	1.1	O	F	0.2	O	F	0.1
A	I	1.3	S	Q	2.4	R	Q	2.4

编写出 PC 的程序：梯形图，语句表和流程图见图 8.2.8—8a)，b)和表 8.2.8—12。

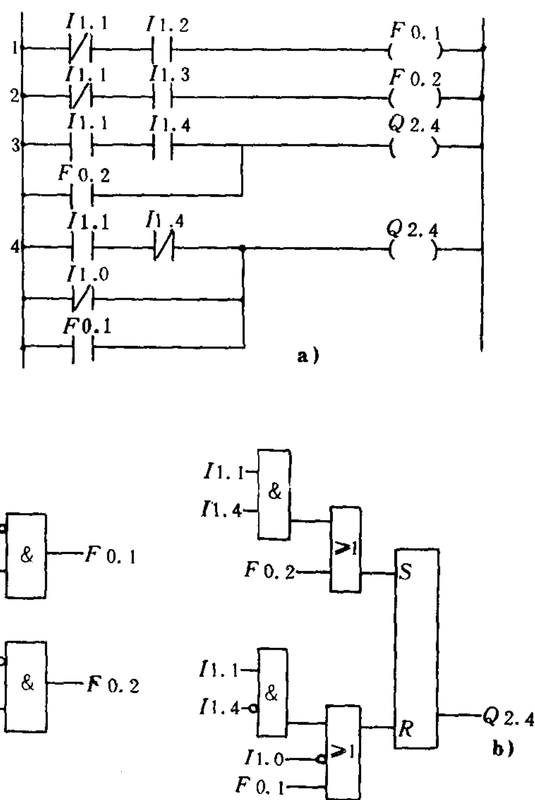


图 8.2.8—7　接触器控制图

图 8.2.8—8　程序编制图
a)梯形图；b)流程图

参 考 文 献

[1]　周明德 微型计算机硬件，软件及应用清华大学出版社 1982.10

[2]　李三立 微处理器与微计算机
国防工业出版社 1981.1

[3]　王沛民 微型计算机原理及接口技术
西北电讯工程学院出版社 1985.6

[4]　胡宗藻 微型计算机外围设备
科学出版社 1987.11

[5]　王秀玲 微型计算机 A/D，A/D 转换接口技术及数据采集系统设计

清华大学出版社 1984.8
[6] 中国科学技术情报研究所重庆分所 Z80 汇编语言程序设计
科学技术文献出版社重庆分社 1980.12
[7] 王月霞 微型计算机汇编语言程序设计
电子工业出版社 1985.11
[8] 谭浩强 BASIC 语言 科学普及出版社 1980.12
[9] 汪燮华BASIC 语言 和应用基础
华东师范大学出版社 1987.6
[10] （美）威廉·L·享特，CMOS 实用手册，上海翻译出版公司，1984 年

第3篇　船舶电气系统

第1章　船舶电站

1　概　　述

船舶电站是船舶的重要组成部分，电站运行的可靠性经济性对保证船舶安全经济运行具有重要意义，随着船舶的大型化和自动化对船舶电站提出更高要求，为此本章着重介绍有关电站的电气设备和自动化装置工作原理和技术性能等。

1.1　船舶电力系统的组成

船舶电气系统主要有四部分组成；电源，配电装置，电力网和负载。其单线图见图 8.3.1—1 所示

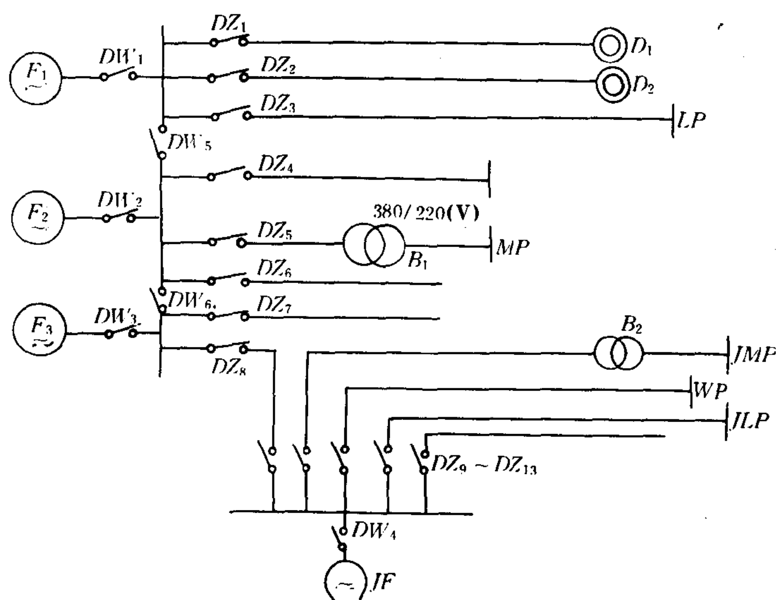


图 8.3.1—1　船舶电力系统简图

LP—电力分配电盘；MP—照明分配电盘；JMP—应急照明分配电盘；JF—应急发电机 WP—无线电配电盘；D_1，D_2—电动机负载；DZ_1～DZ_{13}—装置式自动开关；F_1～F_3—主发电机 B_1，B_2—照明变压器；DW_1～DW_3—发电机主开关；DW_4—应急发电机主开关；DW_5，DW_6—母线分段开关

1.1.1　电源

电源是将其它形式的能源(如机械能、化学能)等转变为电能的装置,船舶上常用的电源有发电机和蓄电池。

1.1.2 配电装置

配电装置是对电源和用户进行保护监视测量和分配转换的控制装置,根据控制对象不同,又分为总配电板、应急配电板、动力分配电板、照明配电板和蓄电池充放电板等。

1.1.3 船舶电网

船舶电网是全船电缆电线的总称,其作用是将电能输送给负载。根据负载性质不同可分:动力电网、应急电网、照明电网、低压电网和弱电网等。

1.1.4 负载

船舶负载大体上可分为如下四类,见表8.3.1—1。

表8.3.1—1 **负载分类**

电力拖动负载		电气照明	通信及电航设备	其它用电设备
甲板机械	舱室机械			
舵机	油泵	航行信号灯具	无线电收发报机	电热器
锚机	水泵	各种照明灯具	电话	电风扇
铰缆机	空压机		广播	电视机
起货机	冷冻机		声光报警装置	
电力推进	通风机		电车钟	电影机
生产机械	空调设备		舵角指示器	蓄电池

1.2 船舶电力系统特点和基本要求

1.2.1 船舶电站的容量和型式

船舶电站只供一条船上负载的需要,因此单机容量和系统容量都比陆上电站容量小得多,一般单机容量不超过1000KW,装机总功率不超过5000KW。根据原动机的种类不同,船舶发电机组型式可分如下几种;柴油发电机组,汽较机发电机组,轴带发电机组和核发电机组。当今柴油发电机组用得最为普遍,这是由于其效率高,机动性强,起动快等优点所决定的。为了便于维护管理,在一条船上发电机组的型式大多采用相同类型。

1.2.2 船舶电站基本要求

由于船舶电站容量小,当大的电动机起动时对电网造成较大冲击,因而要求船舶发电机调压器的动作时间要快,具有强行励磁能力和发电机具有较大承受过载能力。船舶工况变动频繁,要求并车装置简单可靠。另外船用电气设备必须满足“船用条件”的要求见表8.3.1—2。

表8.3.1—2 **船用条件**

序号	工作条件	要求
1	周围温度	—25 ～+45℃
2	相对湿度	95%
3	凝露	有
4	盐雾	有

续上表

序号	工作条件		要求
5	油雾		有
6	霉菌		有
7	倾斜	周期横倾	22.5°
		长期横倾	15°(应急设备 22.5°)
		长期纵倾	10°
8	振动		有
9	冲击		有

若无船用产品时可考虑采用陆用产品加三防(防湿热、防盐雾、防霉菌)来代替。

1.3 船舶电站的基本参数

船舶电站的基本参数是指电流种类,额定电压和额定频率的等级。根据我国"钢质海船入级与建造规范"规定频率为50HZ,电压等级见表8.3.1—3。

8.3.1—3 **船用额定电压**

类别 \ 电压	电源设备额定电压(V)	受电设备额定电压(V)
直流电气设备	28,115,230	24,110,220
交流电气设备	115 ,230,400	24 ,110, 220,380

2 电站参数50Hz 380V电设备用在60Hz 440V时应注意事项

2.1 白炽灯和电加热器系统

电源频率变化对白炽灯影响不大,有影响的是440V电源,这时可将白炽灯设计为两个灯串联,也可将440V经变压器变成220V后供电,对常用的电加热管、加热器,它与频率也无关。有影响的也是440V电源,可以将每两个220V的电热元件串联,然后组成三相三角形系统,这正好适用于线电压为440V的三相系统。

2.2 荧光灯照明系统

荧光灯镇流器的阻抗是随电源的频率而变化的,若把国产P=40W,U=220V cosφ=0.49,I=0.42A的荧光灯用在60Hz的电源上,其整套荧光灯所需电压为254V。因254V电压正好是60Hz,440V三相线电压系统的相电压值,则可用一个照明变压器接成Y/Y。其电压为440/440/254V,尽管铁损有所增加,但对整个荧光灯的影响不大。

2.3 变压器

2.3.1 变压器损耗

将 50Hz，380V 的变压器，用于 60Hz，440V 电源时，其磁通量的比值为：$\Phi_{50}/\Phi_{60}=0.956$ 变压器磁通量比原来用于 50Hz：380V 时下降 3.5%，铁损增加 18%，若设变压器容 量不变，其电压由 380V 升至 440V，其升值为 1.158，其电流相应下降至原值的 0.846，其铜损下降至 74.6%，即 $P_{cu_{60}}=0.746P_{cu_{50}}$ 也就是铜损可减少 25%左右。

2.3.2 变压器效率

目前船舶用变压器主要用于照明，其容量约为 50～100kVA，这一等级的变压器其满载时效率约(96～97)%，若取 96.5%计算，在 60Hz 电源时变压器在满载情况下其效率约可提高 0.6%。

2.3.3 变压器容量

若保持变压器用于 60Hz 时，使变压器总损耗仍保持不变，则它的温升不会变，即不会影响变压器的工作寿命，由于电压和频率变化，其铁损会增加，以总损耗相等折算，其铜损亦增大。欲使其损耗不变时，其电流则减少 2%，但因电压已提高 440/380＝1.158 倍，所以其容量增至 1.134 倍，即在使用时可增大变压器容量 13.4%。

2.3.4 短路阻抗电压降和变压器阻抗压降

变压器在同功率使用情况下，60Hz 时的电流 $I_{60}=0.846I_{50}$ 因线圈电阻不变，则电阻上短路电压降为：

$$U_{KX_{60}}=I_{60}\cdot R=0.864I_{50}\cdot R=0.864U_{Ka_{50}}$$

变压器短路感抗与频率成正比，即 $X_{K_{60}}=1.2X_{K_{50}}$ 则短路感抗压降为：

$$U_{kx_{60}}=I_{60}\cdot X_{k_{60}}=0.864I_{k_{50}}\cdot 1.2X_{k_{50}}=1.0368U_{kx_{50}}$$

则短路阻抗压降为：

$$U_{k_{60}}=\sqrt{U_{ka_{60}}^2+U_{kx_{60}}^2}$$

对于 50～100kVA 的变压器其 U_{kx}/U_{ka} 之比值约 1.8～2.2，若取 2 值代入计算；$U_{k_{60}}=2.246U_{ka_{50}}$

同理 50Hz 时 $U_{k_{50}}=2.23U_{ka_{50}}$，即 $U_{ka_{50}}=0.477U_{k_{50}}$。所以 $U_{k_{60}}=2.24U_{ka_{50}}=2.24\times0.447U_{k_{50}}=1.0044U_{k_{50}}$。则其短路阻抗压降比 50Hz 时增大了约 0.44%，由于 60Hz 时电压为 440V，其占额定电压的百分值为 $0.867U_{k_{50}}$ 计算结果表明，在变压器后面所接的终端负载上的电压降落的百分值，60Hz 时会比 50Hz 时小 13.26%，效率可增加约 0.44%其它方面影响不大。

2.4 异步电动机

2.4.1 同步转速

同步转速为 $n_0=60f/P$，对某极对数的电动机而言，n_0 正比于频率，因而同步转速在 60Hz 时上升 20%，对泵和风机电动机来讲其转速上升，增加了它们在单位时间内送油，送风和送水量，从而使电动机输出功率提高，除使其零件磨损加剧外，当电动机负载系数接近 1 时还应注意其过载问题。

2.4.2 实际转速

由于频率提高后，在恒定负载功率时其转差率有所减小，实际转速的增加值略大于 20%，从异步电动机的机械强度来考虑这些超速运行是允许的。

2.4.3 起动电流

当 50Hz380V 电动机用于 60Hz440V 电源时，其电压升至 1.158 倍，频率增大会增大集肤

效应，一般要比 50Hz 时增大 10%左右，其总漏抗增加；$X_{60}=1.2X_{50}$，由于起动电流比正常额定电流大 4～7 倍，在大电流时其漏磁通使铁磁材料部分饱和，其漏抗值下降，所以 $\Phi_{60}=0.965\Phi_{50}$使主磁通路的饱和度下降，必然使原来饱和时某些磁链不走主磁路，而走旁路的仍走主磁路，其结果漏磁通数量下降至 85%，由分析计算得；取其起动电流比值；$I_{g_{60}}/I_{g_{50}}=1.125$，由此知 60Hz 时起动电流比 50Hz 时增大 125%，据国产 Y—H 系列电动机的设计数据 60Hz 及 50Hz 的起动电流平均值之比；$I_{g_{60}}=(1.13\sim1.2)I_{g_{50}}$，起动电流增大在(0～20)%范围内。

2.4.4 起动力矩

50Hz380V 电动机用于 60Hz440V 电源时其起动力矩；$M_{g_{60}}=1.19M_{g_{50}}$，若转子导体的槽形不深，则转子电流在起动时的集肤效应不大，据 Y—H 系列电机数据得：$M_{g_{60}}=(1.08\sim1.2)M_{g_{50}}$，一般可认为 60Hz 时其起动力矩增加(5～20)%，这对电动机易于在较大负载下起动是有利的。

2.4.5 最大力矩

取其不同频率最大力矩的比值为：$M_{m_{60}}/M^2_{m_{50}}1.102$，其最大力矩增大 10%左右，当然由于电动机的参数 X/r 的比值和设计的饱和度的不同都会影响其结果，一般可以认为增加(10～20)%，这说明电动机工作时的过载能力是有所提高的。

2.4.6 最大力矩时的转差率

最大力矩时的转差率分别为：$S_{M_{60}}$和 $S_{M_{50}}$。取其比值，则有 $S_{M_{60}}/S_{M_{50}}=0.982$。根据运行特性，相应的最大力矩点所在的转速与同步转速仅差 10%左右，转子速度已很高，转子导体中的电流频率已很低，因而导体电阻的集肤效应可略不计。

2.4.7 负载力矩

负载力矩为：$M_e=9550P_e/n_e$，式中，P_e 为电动机额定输出功率(kW)；n_e，电动机额定转速(r/min)。

当电动机输出功率为恒定时，其频率由 50Hz 变为 60HZ 时同步转速上升至 60/50=1.2，则：$M_{e_{60}}/M_{e_{50}}=0.833$，其结果说明电动机的力矩可以下降 16%左右，所以电动机转子和转轴的强度完全满足。在一般情况下某些负载随转速的上升其功率也上升，如：泵、风机等。对于这类负载应从恒力矩来考虑。

2.4.8 转差率

1)恒功率负载时，当电源由 50Hz 变为 60Hz 时据 Y—H 系列电机数据其转差率下降 30%。

2)恒力矩负载时，当电流由 50Hz 变为 60Hz 时据 Y—H 系列电机数据其转差率下降 11.6%。

2.4.9 输出功率

输出功率为：$P_2=\sqrt{3}UI\cos\varphi$。假定 1，cosφ 不变，则有 $P_{2_{60}}/P_{2_{50}}=1.158$，由此可知 50Hz 的异步机用于 60HZ 时，在电流不变情况下可以增大输出功率约 16%左右。

2.4.10 效率

对于国产 Y 系列电机，额定频率为 50Hz 的用于 60Hz 时，一般铁损为铜损的 1.2 倍，机械损耗为 1.5 倍，其效率增加(0.5～2)%，对于 JQ_2 系列电机效率约增加(0.5～2)%。

2.4.11 功率因数

一般对国产 Y—H 系列电机，维持功率不变时，其功率因数要下降(2～7)%，由于船舶电站是独立的，因此对其经济运行影响不大。

2.4.12 重量

1)对恒功率负载，由于频率增加其转速上升，力矩下降，电流减少，在未发热情况下电机可以增加(15～20)%。的输出功率，如功率不增大可选用较小一个系列级尺寸的电机，则电机重量就会下降，一般讲50Hz电机用于60Hz时可选用较小一级的电机，其重量约可减轻(8～20)%

2)对恒力矩负载，频率的升高使转速升高，而力矩不变，此时电流为额定，所以负载所需功率也随转速而上升，因此不能减轻电动机的重量。

2.4.13 寿命

电动机的寿命主要是绝缘寿命，由于50Hz异步电动机用于60Hz电源时其效率提高，电流下降，总损耗减少，则温升就不能上升。又其是转速升高后冷却会更好，可以认为寿命不会下降。此外由于最高的异步机转速也低于3600r/min，而滚动轴承的转速允许高至5000r/min，因而提高20%的转速对轴承的寿命是无影响的。但对滑环，整流子和电刷的磨损加快，但磨损的主要是电刷，这可通过更换电刷来解决，而对无刷鼠笼式异步电动机而言其影响是很小的。

2.5 电器设备

2.5.1 电磁吸力

对同一个电器，电源频率由50Hz改为60Hz，电压由380V改为440V，则电磁机构中的磁通值为$\Phi_{60}=0.965\Phi_{50}$。因电磁引力与磁感应强度成正比，由于磁路截面不变，因而也与磁通成正比，$F_{60}/F_{50}=(\Phi_{60}/\Phi_{50})^2=0.931$。由计算知其吸力下降7%。由于一般电器的吸力都有裕量，不会引起工作的不正常，改用60Hz后其铁耗要增大18%，而铜耗可下降25%左右，其总损耗不会增大，温升也不会增加。

2.5.2 开关及接触器的灭弧能力

灭弧能力从电弧能量上和消弧能力上来分析，60Hz与50Hz电源比较即有有利的一面，也有不利的一面。目前尚无确切的看法。

2.6 电子仪器及自动化仪表

电子仪器及自动化仪表的内部线路电源往往是220V，关键是供电电源要正确，由50Hz改为60Hz时仍要保持供电电压为220V，由于电压不变，电源变压器功率不变，其电流也不会改变仍与50Hz时一样，而不同的是由于频率的增加20%则要保持电势不变，由$E=4.44fW\Phi$式看出，60Hz时磁通量要下降，即铁损可下降12%左右，而变压器效率可提高，其温升会下降，可以保证仪器正常工作。50Hz380V电器用于60Hz440V电源比较见表8.3.1—4。

表8.3.1—4　**50Hz380V电气设备用于60Hz440V电源比较**

设备 \ 比较	优　点	缺　点	与50Hz时相比
白炽灯	可　用	最好照明变压有220V输出	略增费用
荧光灯	可　用	增加变压器接成Y/Y。	略增费用
电热系统	可　用	电热管接成串联组或变压器抽头	
电源变压器	可增加输出功率提高效率		增加输出13%

续上表

比较 / 设备	优点	缺点	与50Hz时相比
异步电动机	可用：起动力矩，过载能力效率等有提高，较差率下降	起动电流增大，cosφ下降	增加输出16%
电子仪器与仪表	可用	保证变压器有220V抽头输出	效果一样

3 60Hz、440V电制船舶接50Hz、380V岸电时注意事项

供给船用的岸电电源，除了要保证一定容量之外，还必须保证如下两点；

1)使船舶电气设备可靠工作而不过热。

2)使船用电动机能顺利起动并稳定运行。

3.1 白炽灯和电热器系统

船舶电制为60Hz、440V，当接用在电制为60Hz、380V时，其电压下降了14%，频率下降了17%。实际由于线路压降在用电设备处的实际电压值在370V以下，因而电压下降与频率下降基本相等，在这种情况下白炽灯的照度有所下降，电热器的功率有所下降。

3.2 荧光灯照明系统

荧光灯照明系统具有镇流器，启动时所产生的电势大小主要决定于铁芯线圈的电感和电流变化率的乘积。电压和频率的同时降低，使镇流器两端的电压降低，而灯管两端的电压有所升高，大约上升8V左右，所以这种灯具可以正常工作，照度不会降低。

3.3 电磁吸力

对交流接触器，继电器都具有电磁线圈，当忽略线圈上电阻压降时，则 $U=4.44fW_{\Phi m}$，因为电压U与频率f变化相同，故 Φ_m 基本不变，因而激磁电流不会增大，温升也不会增加绝缘不会损坏，从电器学可知电磁吸力为；

$$F=\frac{1}{2}(B_m/5000)^2\cdot S \qquad (8.3.1\text{—}1)$$

在磁路系统不变情况下，当电压U与频率f变化相同时，磁通 Φ_m 不变，因而 B_m 不变，故吸力F不变，所以接触器，继电器等可以正常工作。

3.4 电动机起动力矩

电动机起动力矩为：$M_q=KU_1^2/f_1^2$，由此式不难看出电 动机的起动力矩 M_q 与电网电压 U_1^2 成正比。因为电压 U_1 与频率 f_1 变化相同，因而起动力矩 M_q 近似于不变。而 U_1，f_1 则由供电电网所决定。

3.5 异步电动机最大力矩

异步电动机最大力矩为：$M_m=CU_1^2/f_1^2$，式中C为常数。这样在电压与频率变化相同的情况

下，起动力矩与最大力矩均不变，可以保证电机的顺利起动和稳定运行。

当异步电动机拖动的负载 M＝常数，且 U/f＝常数时，其磁通 Φ，负载电流 I_2，功率因数 cosΦ 转差 S 以及过载能力基本保持不变。在实际应用中，$U_1/f_1=440/60=7.3$，$U_1'/f_1'=380/50=7.6$。考虑线路压降和定子电阻 r 的影响，$U_1'/f_1'\approx7.3$，故 $U_1/f_1\approx U_1'/f_1'=7.3$。因为起重机，盘车机，回转泵，空压机等其 M＝常数，所以它们的运行条件是可以允许的。

对于离心泵与通风机其力矩 M&n^2，随频率的下降其转速也下降，其力矩下降更多因而容易起动。

由船舶辅机可知；当转速变动不太大时，泵的排量和压头与转速有如下关系：

排量：$Q'=Qn'/n=Q(60f_{50}'/P)/(60f_{60}/P)=Qf_{50}'/f_{60}=0.83Q$ 故排量 Q' 减少了 17％。

压头：$H'=H(n'/n)^2=H(50/60)^2\doteq0.69H$ 所以转速随频率的下降，则排量与压头均有所下降，当泵运转后需要通过对压头或排量进行工况调节来改变泵的工作点才能满足实际的需要。

3.6 同 步 转 速

由电机学可知；其同步转速 $n_0=60f/P$ 因而 n 正比于频率 f，对某一定极对数的电动机而言，当频率由 60Hz 电源变为 50Hz 时其转速下降 17％。

3.7 电压相等频率不等的危害

若设法将岸电升至 440V；使之与船电电压相符，但频率仍为 50Hz 其后果如何？若有一台额定电压 $U_1=440V$，额定频率 $f_1=60Hz$ 的异步电动机，当对其所施的电压为 440V 而频率仍为 $f_1'=50Hz$。因为电压为额定时，电机的磁通 Φ 与频率成反比，即 $\varphi\propto1/f$，要维持电机出力不变必然要增加磁通（$\Delta\varphi=\varphi_1'-\varphi/\varphi_1=1/50-1/60/1/60=20\%$），要增加磁通量 Δφ 只有增加磁通密度 B_m，这就使激磁电流增加。由于设计时磁通密度已至磁化曲线饱和部分如图 8.3.1—2，激磁电流增加远超过 20％。激磁电流大量增加必然导致铜损增加，B_m 密度增加使铁损增加，由于铁损铜损增加，使电动机温升增加，尤其转速的减低使风量减小使温升更上升，导致电动机过热使绝缘寿命下降，甚至在短期内将电动机烧坏。

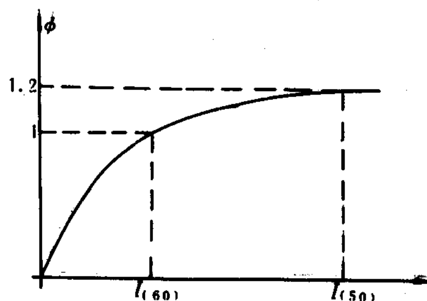


图 8.3.1—2 磁通增加引起激磁电流增加情况

对于船舶照明变压器，交流接触器，继电器以及磁力起动器的线圈，由于频率降低，同理磁通 φ 要相应增加，由图 8.3.1—2 所示，激磁电流显著增大，其温升增加使铁芯过热有损坏绝缘的危险。对荧光灯而言，由于频率的降低其镇流器感抗减少，因而镇流器两端电压降低，而灯管两端电压升高，其灯管工作电流增大，时间稍长其灯管将发黑而报废。综上所述只将电压提高到 440V 而频率仍为 50Hz 会危及电气设备的寿命，应该引起注意。

3.8 两种电制实测数据比较

1）某船动力装置均为异步电动机所拖动，实测数据比较见表 8.3.1—5。

表 8.3.1—5 **某船两种电制实测比较表**

名称＼数据	设备额定值	实测值		辅机种类
		船电	岸电	
分油机	5.5(kW)440(V) 60(Hz)10(A) 1720(r/min)	435(V) 7(A)	380(V) 6(A)	
冰机	8.2(kW)440(V) 60(Hz) 15(A) 1730(r/min)	435(V) 8.2(A)	350(V) 8.4(A) 1480(r/min)	活塞式
锅炉给水泵	29(kW)440(V) 60(Hz) 4.8(A) 3500(r/min)	435(V) 4.6(A)	350(V) 3.5(A)	离心泵
锅炉鼓风机	13.2(kW) 440(V) 60(Hz) 25(A)	435(V)20(A)	355(V) 19.5(A)	
转车机	11(kW) 440(V) 60(Hz)30(A)		350(V) 24.5(A)	恒转矩
卫生泵	1.84(kW) 440(V) 60(Hz)3.8(A)	435(V) 3.2(A)	350(V) 3(A)	螺杆泵
空压机	62.5(kW)440(V) 60(Hz)105(A)	430(V) 106(A)	350(V) 100(A)	活塞式
主机机油泵	50(kW)440(V) 60(Hz)80(A)	435(V) 75(A)	355(V) 90(A)	齿轮泵
主冷却水泵	35(kW)440(V) 60(Hz)57(A)	435(V) 58(A)	350(V)40(A)	离心泵

2)电机空载实测数据比较，一台鼠笼异步电动机其参数为：8.2kW，440V，60Hz，$\cos\varphi=0.8$ 见表 8.3.1—6。

表 8.3.1—6 **空载电机实测比较表**

实测值	440(V) 60(Hz)	360(V) 50(Hz)
空载电流(I_o)	6.5(A)	6.5(A)

3)控制电器实测数据比较，一只交流磁力起动器其线圈额定值：440V，60Hz 见表 8.3.1—7。

表 8.3.1—7 **控制电器实测比较表**

船电 60(Hz)		岸电 50(Hz)	
电压 (V)	电流 (A)	电压 (V)	电流 (A)
310	0.0205	270	0.021
400	0.027	350	0.028
440	0.0305	380	0.0315
450	0.0315	400	0.0335
500	0.040	440	0.045

4)照明实测数据比较表，见表 8.3.1—8。

表 8.3.1—8　　**照明实测比较表**

40W 荧光灯	额定值	船电　220(V) 60(Hz)	岸电 172(V)50(Hz)
灯管电压	108±9(V)	102 (V)	120(V)

从以上各实测比较表可看出：440V60Hz 的电机接于 380V50Hz 的电源时其速度均降低了，这是因为频率下降了 17%，而转差率基本不变故电机转速亦下降了 17%。

当电动机所拖动的负载如通风机等其功率随转速的立方而变化，其功率与转速关系为：$N'=N(n'/n)^3$ 故电机的负荷随转速 n 的下降而减轻，电流减小。

当电动机拖动的辅机是恒力矩特性时，如回转泵，活塞泵等，在一定的工况下，它们的负载力矩是一定的。由于转速下降使得泵的流量降低，故电机不会超载。有时拖动主机机油泵电机的电流超过了额定值，其原因可能是由于停机时间较长泵内油液过粘。另外齿轮泵不宜在超过额定压力下工作，因为这会增加泵的输入功率。以上两点均会造成原动机过载。同时可看出电动机拖动的各负载均能顺利起动并稳定运行而不过热。各种电器 亦能正常吸合，荧光灯正常起辉其亮度不减，总之与理论分析一致。

根据实测和计算，加在船舶电气设备两端的电压以(370±5)V，50Hz 为宜，同时要考虑供电线路的压降。

4　电站容量选择

4.1　确定船舶电站容量的目的和方法

正确地计算电站容量直接影响着船舶的生命力和运行的经济指标，其计算方法有多种。目前用得较多的是负荷系数法。负荷系数法又分为两种：需要系数法和三类负荷法。电站容量计算出来后可查产品目录选用发电机。船舶用电设备的工况与船舶运行工况有关，计算电站容量要按不同工况分别进行。

4.1.1　船舶工况的划分

1)航行工况，指满载全速航行状态；

2)进出港工况，指港内低速航行以及起抛锚时的工作状态(机动状态)；

3)停泊工况；

4)装卸货工况；

5)应急工况，指船舶失火或破舱时状态。

应注意，类型不同的船舶其工况划分也不尽相同。

4.1.2　用电设备分类

1)动力装置辅机：燃油泵、滑油泵、海水冷却泵、分油机、空压机、鼓风机等；

2)甲板机械：舵机、锚机、绞缆机、起货机等；

3)舱室辅机：生活用水泵、消防泵、压载泵、辅锅炉的各种泵等；

4)冷藏通风机械：冷藏货舱和伙食冷库风机空调等；

5)机修机械：车床，电焊机等；

6)无线电通信设备：通信和导航设备；

7)照明及生活设备：照明、信号灯、强光灯、电灶等；

8)其它特种船需要的设备和电力推进等。

划分工况，设备分类，选定计算方法后即可求出各工况下的计算功率，再据统计规律可求出同类船舶各种工况占全年的百分数，见表 8.3.1—9。

表 8.3.1—9 各工况占全年百分数表

船舶工况 \ 船舶种类	干货船	油轮
航行工况	41%	64%
停泊不装卸货	40%	28%
停泊装卸货	18%	7%
机动	1%	1%

4.1.3 电站容量的确定和发电机台数选择原则

1)电站机组最长工况内负载应不少于电站总容量 的 70%～75%；

2)要保证停泊装卸作业的发电机功率，建议其储备量不超过 10%；

3)不许过分分散电站功率；

4)必须考虑柴油发电机与主机的寿命比，不使相差过大；

5)必须采用型号容量相同的机组，这有利于并联运行的稳定性和减少维修保养工作量；

6)备用机组功率，应保证船上最大发电机故障停机后仍能满足船舶航行工况用电的需要。

4.2 按三类负荷法确定电站容量

在设备具有充分的数据时，大多采用三类负荷法进行全船电力负荷计算。这可获较准确的负荷系数，同时用电设备按其使用情况分类，并考虑其同时系数便可得到较准确的计算结果。

4.2.1 负荷分类

负荷分类时，按使用情况可分为三类：

1)第Ⅰ类负荷：指连续使用的负荷；

2)第Ⅱ类负荷：指短时或重复短时使用的负荷；

3)第Ⅲ类负荷：指偶然短时使用的负荷以及按操作规程可以在电站尖峰负荷时间以外使用的负荷。三类负荷具体分法见表 8.3.1—10。

表 8.3.1—10　万吨级柴油机远洋货船的电气设备

第Ⅰ类负荷	第Ⅱ类负荷	第Ⅲ类负荷
舵机、起货机、起锚机、 绞盘缆机， 主机海淡水泵 主机滑油泵 主机喷油嘴冷却泵 排气涡轮滑油泵 主机燃油循环泵 透平发电机凝水泵 锅炉燃油泵，锅炉鼓风机 救火总用泵，救火泵，货油泵 冷藏货舱压缩机 冷却泵，盐水接力泵 货舱通风机，CO_2 室抽风机 冷藏机舱送风机 冷藏机舱抽风机 厨房送风，抽风机 浴室，厕所抽风机 照明，助航通信设备	燃油离心分油机 轻柴油离心分油机 滑油离心分油机 燃料油驳运泵 轻柴油输送泵 滑油输送泵，舱底泵 压载泵，日用淡水泵 卫生水泵，饮水泵 热水循环泵 蒸发器凝水泵 蒸发器给水泵 主空气压缩机 油灶鼓风机 空调压缩机 空调淡水泵，空调送风机 伙食冷库压缩机 电动锅炉给水泵 电动锅炉强制循环泵 充电机组 无线电 雷达	主机盘车机 机舱起吊机 车床、砂轮 钻床 电焊机 救生艇吊艇机 舷梯起吊机 探照灯

4.2.2　电动机负荷系数的计算

船舶上大部分电能为电动辅机所消耗，因此在计算全船电力负荷时电动机负荷应特别注意。

1) $K_1=P_2/P_1$　　(8.3.1—2)

式中：P_1——每台辅机配用电动机的额定功率 kW；

P_2——每台电动机最大轴功率 kW；

K_1——利用系数。

2) $K_2=P_3/P_2$　　(8.3.1—3)

式中：P_3——每台辅机实际使用功率 kW；

K_2—— 机械负荷系数。

3) $K_3=K_1\cdot K_2=P_3/P_1$　　(8.3.3—4)

K_3——电动机负荷系数。

4) $P_4=P_1/u_e$　　(8.3.1—5)

式中：u_e——电动机在额定功率时的效率；

P_4—— 电动机以额定功率运转时从电网所吸收的功率 kW。

5) 电动机实际消耗功率 P_5：

$$P_5=P_3/\eta'=K_3P_1/\eta'=K_3\,P_4'$$　　(8.3.1—6)

式中：η'——电动机相当于 P_3 功率时的效率，$\eta'\neq n$。

η 可从电机特性曲线上查得，设计计算时可参考表 8.3.1—11。

表 8.3.1—11

异步电动机效率及功率因数

转速 r/min	功率 kW	负荷系数（效率%） 0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	负荷系数（功率因数） 0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1
2000	0.8				72	75	79	79	79	78				0.8	0.83	0.86	0.87	0.89	0.9
	1.5	73	77	80	81	81	81	81	81	80	0.73	0.76	0.79	0.81	0.85	0.86	0.87	0.87	0.87
	4	81	84	85	87	87	87	86.5	86.5	86	0.67	0.72	0.78	0.82	0.84	0.86	0.88	0.89	0.90
	10	81	83	84	81	88	88	88	88	87	0.76	0.80	0.82	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.88
	13	75	78	79	79	81	81	81	81	80	0.77	0.82	0.85	0.86	0.87	0.87	0.89	0.89	0.89
	17	84	86	89	90	90	91	91	91	90	0.77	0.79	0.81	0.81	0.87	0.89	0.9	0.91	0.91
	22		82	84	87	89	90	91	91	91	0.79	0.82	0.84	0.87	0.89	0.9	0.91	0.91	0.91
	55	80	82	84.5	86.5	87.5	89	89	89	88	0.88	0.91	0.93	0.93	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
	100	80	84	87	88	90	90	91	91	91	0.8	0.84	0.88	0.9	0.91	0.93	0.93	0.93	0.93
1500	0.6	60	65	67	68	69	70	71	72	72	0.45	0.53	0.6	0.62	0.7	0.74	0.77	0.8	0.8
	0.8	70	74	76	77	78	79	79	79	78		0.5	0.58	0.60	0.64	0.68	0.73	0.75	0.75
	1.1	68	73	76	77	78	78	78	78	77	0.5	0.56	0.63	0.69	0.73	0.76	0.77	0.78	0.78
	1.5	73	77	80	81	82	82	82	82	81	0.48	0.55	0.61	0.61	0.72	0.74	0.77	0.78	0.80
	2.2	73	78	80	81	82	82	82	83.7	81	0.53	0.61	0.66	0.72	0.77	0.81	0.83	0.84	0.84
	3	78	81	83	84	84.5	84.5	84	84	82.5	0.55	0.62	0.69	0.75	0.78	0.81	0.84	0.86	0.87
	5.5	82	84	86	87	87	87	87	88.5	86	0.65	0.72	0.76	0.78	0.82	0.84	0.85	0.87	0.87
	7.5	87	89	90	90	90	90	90	89	89	0.68	0.75	0.80	0.83	0.84	0.85	0.85	0.85	0.85
	13		91	92	92	92	92	91	90	90									
	17	87	89	90	91	92	93	93	93	93									
	55										0.85	0.87	0.89	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	100	82.5	86	88	90	91	92.5	92	92	92	0.82	0.85	0.88	0.89	0.91	0.92	0.92	0.92	0.92
1000	5.5	80	82	84	85	86	86	86	86	86	0.55	0.6	0.66	0.71	0.76	0.78	0.8	0.81	0.82
	7.5	82	85	86	87	88	88	88	88	87	0.56	0.64	0.70	0.75	0.78	0.80	0.82	0.83	0.83
	10											0.72	0.77	0.82	0.85	0.87	0.89	0.90	0.91
	13		88	88	88	89	89	89	89	88		0.76	0.79	0.83	0.85	0.88	0.90	0.91	0.91
	17	85	88	88	89	89	88	88	88	88	0.7	0.8	0.84	0.87	0.88	0.89	0.9	0.9	0.9
	55	91	92.5	93	93	83.5	93.5	93.5	93.5	91	0.83	0.87	0.89	0.9	0.91	0.91	0.92	0.92	0.92
750	4	0	82	84	85	86	86	86	80	85	0.45	0.5	0.56	0.62	0.65	0.68	0.72	0.74	0.76
	5.5	71	81	84	86	88	86	86	85	85	0.5	0.54	0.6	0.64	0.68	0.72	0.75	0.76	0.76
	7.5	82	84	85	86	86	86	86	87	86	0.56	0.67	0.73	0.75	0.79	0.82	0.84	0.85	0.86
	10	80	82	84	85	86	86	87	87	86	0.55	0.62	0.68	0.72	0.75	0.78	0.8	0.8	
	17	85	87	88	88	89	89	89	88	88	0.54	0.63	0.68	0.74	0.78	0.8	0.84	0.85	0.86
	46	86	89	90	91	92	92	92	92	91	0.7	0.76	0.81	0.84	0.86	0.87	0.87	0.87	0.81

6) $Q_5 = p_5 tg\varphi$ （8.3.1—7）

式中：Q_5——无功功率。

7)同时系数的确定

对Ⅰ类负荷考虑其最大负荷的不同时性，同时系数选0.8～0.9。对Ⅱ类负荷的同时系数可参考表8.3.1—12。

表 8.3.1—12

Ⅱ类负荷同时系数

名称	航行	进出港	靠离码头	停泊	海上停泊	应急
轻柴油驳运泵	0.3	0.3	0.2	—	0.2	—
重柴油驳运泵	0.3	0.3	0.2	—	0.2	—
滑油驳运泵	0.2	0.2	0.2	—	0.2	—

续上表

名　称	航　行	进　出　港	靠离码头	停　泊	海上停泊	应急
滑油离心分油机	0.3	0.3	—	—	0.3	—
燃油离心分油机	0.3	0.3	—	—	0.3	—
主空气压缩机	—	0.4	0.4	—	—	—
辅锅炉给水泵	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	—
蒸发器给水泵	0.3	0.3	—	—	0.3	—
舱底泵	—	—	0.5	—	—	—
污水泵	0.2	—	—	0.2	—	—
卫生水泵	0.5	—	—	0.5	0.5	—
淡水泵	0.5	—	—	0.5	0.5	—
热水循环泵	0.5	—	—	0.6	0.5	—
冷藏机	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	—
空调冷却水泵	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	—
厨房用电	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2
回转起货机	—	—	—	0.5	0.5	—
回转起货机	—	—	—	0.3	0.3	—
回转起货机	—	—	—	0.3	0.3	—
绞车	—	—	—	0.4	0.4	—

对Ⅲ类负荷一般不考虑，但注意高峰负荷时发电机和原动机是否可能过载。

4.2.3　负荷表的编制

负荷表编制步骤如下：

1)根据有关专业提供的数据，选择电动机和电设备并计算其额定所需功率。

2)根据船舶类型确定各工况下所需使用的电设备并进行分类。

3)确定负荷系数，计算各用电设备的实际使用功率。

4)计算每一工况下各类负荷的总功率。按其同时系数计算总负荷。对交流电制尚需计算无功功率和平均功率因数。

5)考虑5%的网路损失得出发电机的功率。

6)根据上述计算，选择发电机组并核算各工况下发电机的负荷百分率。一般发电机应有10%～20%的储备功率。由于异步电动机的功率因数随电动机负荷降低而下降，因此相当于P_3的$\cos\varphi$亦需从表8.3.1—11查出。

4.2.4　系数的确定

负荷系数和同时系数的确定对计算准确度有直接关系，一般只能根据大量资料进行比较分析求得近似值。

负荷系数的确定，一般机械轴功率可由产品样本查得，机械负荷系数根据有关专业提供的设备实际使用数据来确定，亦可参考表8.3.1—13加以选择。

表 8.3.1－13 负荷系数变化范围

	用 电 设 备	负荷系数
柴油机船	主机冷却泵(淡水、海水)	0.6～0.9
	主机滑油循环泵	0.6～0.9
	排气涡轮滑油泵	0.7～1.0
	喷油嘴冷却泵	0.7～1.0
	辅锅炉给水泵	0.85～1.0
	辅锅炉燃油泵	0.65～0.9
	辅锅炉鼓风机	0.6～0.85
	主空气压缩机	0.75～1.0
	燃油离心分油器	0.65～1.0
	滑油离心分油器	0.65～1.0
	轻柴油输送泵	0.65～1.0
	重柴油输送泵	0.7～1.0
汽油机船	主机循环水泵	0.7～0.9
	主凝水泵	0.65～0.75
	燃油泵	0.75～0.85
	主机滑油循环泵	0.6～0.9
	货船给水泵	0.65～0.7
	客船给水泵	0.75～0.8
	自动燃烧装置	0.8～0.9
	总用空气压缩机	0.8～0.9
	总用泵	0.65～0.75
	舱底压缩泵	0.85～1.0
	舱底泵	0.75～1.0

	用电设备	负荷系数
	救火泵	0.75～1.0
	燃油驳运泵	0.75～1.0
	滑油驳运泵	0.65～1.0
	淡水泵	0.6～1.0
	卫生水泵	0.8～1.0
	热水循环泵	0.8～1.0
	主机盘车机	0.8～1.0
	货油泵	0.8～0.85
	机修设备	0.5～0.7
	机舱通风机	0.6～1.0
	泵舱通风机	0.7～0.9
	货舱通风机	0.6～0.8
	电热器(包括电灶)	0.5～0.9
	消磁装置	1.0
	变流机	0.35～0.8
	充电机	0.4～1.0
	锚机	0.6～0.9
	舵机	0.2～1.0
	起货机	0.3～0.65
	绞盘	0.3～0.8
	无线电	0.3～0.8
	探照灯	0.8～1.0
	工作灯	0.8～1.0
	照明	0.6～1.0

4.2.5 负荷计算书

沿海客货船全船电力负荷计算书见表 8.3.1—14。

表 8.3.1—14(1)

沿海客货船的全船电力负荷计算书(交流电制)

用电设备名称	数量	最大机械轴功率(kW)	电动机数据					电动机利用系数 K_1	航行状态								进出港状态			
			功率(kW)	转速(r/min)	效率(%)	功率因数 cosφ	所需动率(kW)		机械负荷系数 K_2	电动机负荷系数 K_2	效率(%)	功率因数 cosφ	使用台数 n	所需有功功率(kW)	所需无功功率(kvar)	负荷类别	机械负荷系数 K_2	电动机负荷系数 K_2	效率(%)	功率因数 cosφ
一、机舱辅机																				
1. 备用滑油压力泵	2	6.5	7.5	930	86	0.81	8.73	0.87	1	0.87	86	0.8	1	7.55	5.65	(Ⅰ)				
2. 滑油离心分油器	1	2.4	3	1430	83.5	0.84	3.6	0.8	1	0.8	85	0.8	1	2.9	2.17	Ⅱ				
3. 主机备用海淡水泵	1	8	10	2930	87.6	0.89	11.4	0.8	1	0.8	87.5	0.87	1	9.15	5.18	(Ⅰ)				
4. 辅助锅炉给水泵	1	2.4	3	1430	83.5	0.84	3.6	0.8	1	0.8	83	0.8	1	2.9	2.17	Ⅱ	1	0.8	83	0.8
5. 辅助锅炉鼓风机	1	1.5	1.5	2860	81	0.87	1.85	1									[illegible]	1	81	0.87
6. 消防总用泵	1	13.4	17	2940	88.5	0.9	19.2	0.79									0.4	0.32	81.5	0.75
7. 空气压缩机	2	5.5	5.5	930	85	0.8	6.47	1									1	1	85	0.8
8. 备用舱底泵	1	8.15	10	1450	87.5	0.87	11.4	0.81	1	0.81	87.5	0.87	1	9.26	5.25	(Ⅱ)	1	0.81	87.5	0.87
9. 燃油输送泵	1	0.8	1.5	1410	80.5	0.81	1.86	0.54	1	0.54	79	0.67	1	1.02	1.12	Ⅱ	1	0.54	79	0.67
10. 燃油离心分油器	1	2.4	3	1430	83.5	0.84	3.6	0.8	1	0.8	83	0.8	1	2.9	2.17	Ⅱ	1	0.8	83	0.8
11. 压载总用泵	1	13.4	17	2940	88.5	0.9	19.2	0.79									1	0.79	87	0.86
12. 生活淡水泵	1	8	10	1450	87.5	0.87	11.4	0.8	1	0.8	87.5	0.85	1	9.15	5.68	Ⅱ	1	0.8	87.5	0.85
13. 卫生水泵	2	8	10	1450	87.5	0.87	11.4	0.8	1	0.8	87.5	0.85	1	9.15	5.68	Ⅱ	1	[illegible]	87.5	0.85
14. 热水循环泵	1	1.2	1.5	2860	81	0.87	1.85	0.8	1	0.8	81	0.86	1	1.48	0.88	Ⅱ	1	0.8	81	0.86
二、甲板机械																				
1. 舵机	2	—	4	1000	84	0.79	4.7	1	0.4	0.4	80	0.55	2	4	6.06	Ⅰ	0.6	0.6	83	0.67
2. 锚机	1	—	30/30/22	1500/750/375	75/76/58	0.91/0.81/0.5	40/39.5/38	1									0.8	0.8	0.76	0.79
3. 起艇机	6	—	5	1000	74	0.77	6.75	1												
4. 绞盘	1	—	22/22/16	1340/640/268	73/74/56	0.91/0.81/0.5	30.2/29.8/28.6	1									0.6	0.6	74	0.73

续上表

用电设备名称	数量	最大机械轴功率(kW)	电动机数据					电动机利用系数 K_1	航行状态								进出港状态			
			功率(kW)	转速(r/min)	效率(%)	功率因数 cosφ	所需动率(kW)		机械负荷系数 K_2	电动机负荷系数 K_2	效率(%)	功率因数 cosφ	使用台数 n	所需有功功率(kW)	所需无功功率(kvar)	负荷类别	机械负荷系数 K_2	电动机负荷系数 K_2	效率(%)	功率因数 cosφ
5. 起货机	4	—	26/26/5.5	1500/750/214	82.5/81.7/44.2	0.81/0.56/0.31	31.5/31.8/12.4	1												
三、冷藏通风																				
1. 粮食库风机	1	0.24	0.4	2900	74	0.84	0.54	0.6	1	0.6	70	0.76	1	0.34	0.29	1	1	0.6	70	0.76
2. 机舱通风机	4	3	3	1500	80	0.8	3.75	1	1	1	80	0.8	4	15	11.2	Ⅰ	1	1	80	0.8
3. 首尾货舱通风机	2	0.8	0.8	3000	80	0.8	1	1	1	1	80	0.8	2	2	1.5	Ⅰ	1	1	80	0.8
4. 厕浴洗脸室通风机	2	0.53	0.8	2810	77.5	0.85	1.03	0.66	1	0.66	72	0.78	2	1.47	1.18	Ⅰ	1	0.66	72	0.78
5. 应急发电机室通风机	1	0.4	0.4	3000	80	0.8	0.5	1	1	1	80	0.8	1	0.5	0.38	Ⅰ				
6. 变流机室通风机	1	0.4	0.4	3000	80	0.8	0.5	1	1	1	80	0.8	1	0.5	0.38	Ⅰ	1	1	80	0.8
7. 蓄电池室通风机	2	0.4	0.4	3[illegible]0	80	0.8	0.5	1	1	1	80	0.8	2	1	0.76	2	1	1	80	0.8
8. 旅客舱通风机	4	1.64	2.2	1450	82	0.83	2.68	0.75	1	0.75	81.5	0.79	4	8.1	6.3	1	2	0.75	81.5	0.79
9. 厨房通风机	2	0.96	1.5	1450	80	0.81	1.88	0.64	1	0.64	79	0.75	2	2.43	2.19	Ⅰ	1	0.64	79	0.75
10. 浴厕通风机	2	0.24	0.4	2900	74	0.84	0.54	0.6	1	0.6	70	0.76	2	0.68	0.59	Ⅰ	1	0.6	70	0.76
11. 冷藏机	2	3.2	4	1440	85	0.85	4.7	0.8	1	0.8	85	0.82	2	7.55	5.26	Ⅱ	1	0.8	85	0.82
12. 二氧化碳室通风机	1	0.4	0.4	3000	80	0.8	0.5	1	1	1	80	0.8	1	0.5	0.38	Ⅰ				
13. 舵机舱通风机	1	0.4	0.4	3000	80	0.8	0.5	1	1	1	80	0.8	1	0.5	0.38	Ⅰ	1	1	80	0.8
14. 旅客舱通风机	2	3	3	1500	80	0.8	3.75	1	1	1	80	0.8	2	7.5	5.6	Ⅰ	1	1	80	0.8
15. 会议室通风机	2	0.96	1.5	1450	80	0.81	1.88	0.64	1	0.64	79	0.75	2	2.43	2.14	Ⅰ	1	0.64	79	0.75
四、机修设备																				
1. 砂轮机	1	—	0.25	1400	70	0.74	0.36	1	0.8	0.8	69	0.88	1	0.29	0.32	Ⅲ	0.8	0.8	69	0.68
2. 车床	1	—	3	1430	84	0.74	0.36	1	0.8	0.8	84	0.8	1	2.86	2.12	Ⅲ	0.8	0.8	84	0.8
3. 钻床	1	—	0.8	1380	76.5	0.77	1.05	1	0.8	0.8	75.5	0.71	1	0.85	0.84	Ⅲ	0.8	0.8	75.5	0.71

续上表

用电设备名称	数量	最大机械轴功率(kW)	电动机数据					电动机利用系数 K_1	航行状态								进出港状态			
			功率(kW)	转速(r/min)	效率(%)	功率因数cosφ	所需动率(kW)		机械负荷系数 K_2	电动机负荷系数 K_2	效率(%)	功率因数cosφ	使台用数n	所需有功功率(kW)	所需无功功率(kvar)	负荷类别	机械负荷系数 K_2	电动机负荷系数 K_2	效率(%)	功率因数cosφ
五、无线电导航设备																				
1. 航海雷达	—	—	—	—	—	—	1.5	—	—	—	—	0.8	—	1.5	11.12	Ⅱ	—	—	—	0.8
2. 无线电设备	—	—	—	—	—	—	0.5	—	—	—	—	0.8	—	0.5	0.37	Ⅱ	—	—	—	0.8
3. 导航设备	—	—	—	—	—	—	1.5	—	—	—	—	0.8	—	1.5	1.12	Ⅰ	—	—	—	0.8
六、照明及其它																				
1. 机舱照明	—	—	—	—	—	—	1.2	—					0.8	0.96		Ⅰ				
2. 房舱及室外照明	—	—	—	—	—	—	10	—					0.8	8		Ⅰ				
3. 工作灯及货舱照明	—	—	—	—	—	—	4.2	—												
4. 航行灯及信号灯	—	—	—	—	—	—	1	—					0.5	0.5		Ⅰ				
5. 探照灯	—	—	—	—	—	—	2	—					0.3	0.6		Ⅲ				
6. 电风扇	—	—					4						0.8	3.2		Ⅰ				
7. 燃油沸水器、燃油炉灶	5	—	0.08	2500			0.4						1	0.4		Ⅱ				

项目	航行状态 P	航行状态 Q	进出港状态 P	进出港状态 Q
第Ⅰ类负荷总功率(kW)	P=61.11(16.7)	Q=40.5(10.83)	P=120.04	Q=88.08
第Ⅱ类负荷总功率(kW)	P=39.45(9.26)	Q=26.62(5.25)	P=58.52(9.26)	Q=38.43(5.25)
第Ⅲ类负荷总功率(kW)	P=4.6	Q=3.28	P=4.6	Q=3.28
第Ⅰ类负荷考虑同时系数(K01=0.85)时总功率(kW)	P=52	Q=34.4	P=102	Q=75
第Ⅱ类负荷考虑同时系数(K011=0.4)时总功率(kW)	P=15.8	Q=10.7	P=23.5	Q=15.4
第Ⅰ、Ⅱ类负荷功率总和(kW)	P=67.8	Q=45.1	P=125.5	Q=90.4
考虑网络损失5%时的所需动率(kW)	P=71	Q=47.4	P=132	Q=95
平均功率因数cosφ		0.83		0.81
运用发电机台数及功率(台×kW)		1×100		2×100
发电机负荷率(%)		71		66
备用发电机台数及功率(台×kW)		2×100		1×100

注:1. 船上安装主发电机三台,100kW,应急发生机一台,40kW.

2. 括弧内为备用辅机负荷.

续上表

用电设备名称	进出港状态				停泊状态								应急状态								装卸货状态							
	使用台数 n	所需有功功率 (kW)	所需无功功率 (kW)	负荷类别	机械负荷系数 K_2	电动机负荷系数 K_2	效率 (%)	功率因数 cosφ	使用台数 n	所需有功功率 (kW)	所需无功功率 (kvar)	负荷类别	机械负荷系数 K_2	电机负荷系数 K_3	效率 (%)	功率因数 cosφ	使用台数 n	所需有功功率 (kW)	所需无功功率 (kW)	负荷类别	机械负荷系数 K_2	电动机负荷系数 k_3	效率 (%)	功率因数 cosφ	使用台数 n	所需有功功率 (kW)	所需无功功率 (kvar)	负荷类别
一、机舱辅机																												
1. 备用滑油压力泵																												
2. 滑油离心分油器																												
3. 主机备用海淡水泵																												
4. 辅助锅炉给水泵	1	2.9	2.17	Ⅱ	1	0.8	83	0.8	1	2.9	2.17	Ⅱ									1	1.8	83	6.6	1	2.9	2.17	Ⅱ
5. 辅助锅炉鼓风机	1	1.85	1.05	I	1	1	81	0.87	1	1.85	1.05	I									1	1	81	0.87	1	1.85	1.05	I
6. 消防总用泵	1	6.68	5.88	I									1	0.79	87	0.86	1	15.5	9.15	I								
7. 空气压缩机	1	6.47	4.85	Ⅱ																								
8. 备用舱底泵	1	9.26	5.25	(Ⅱ)									1	0.8	37.5	0.87	1	9.26	5.25	(Ⅱ)								
9. 燃油输送泵	1	1.02	1.12	Ⅱ																1	0.54	79	0.67	1	1.02	1.12	Ⅱ	
10. 燃油离心分油器	1	2.9	2.17	Ⅱ																1	0.8	83	0.8	1	2.9	2.17	Ⅱ	
11. 压载总用泵	1	15.5	9.15	Ⅱ																1	0.79	87	0.86	1	15.5	9.15	Ⅱ	
12. 生活淡水泵	1	9.15	5.68	Ⅱ	1	0.8	87.5	0.85	1	9.15	5.68	Ⅱ								1	0.8	87.5	0.85	1	9.15	5.68	Ⅱ	
13. 卫生水泵	1	9.15	5.68	Ⅱ	1	0.8	87.5	0.85	1	9.15	5.68	Ⅱ								1	0.8	87.5	0.85	1	9.15	5.68	Ⅱ	
14. 热水循环泵	1	1.48	0.88	Ⅱ	1	0.8	81	0.86	1	1.48	0.88	Ⅱ								1	0.8	81	0.86	1	1.48	0.88	Ⅱ	
二、甲板机械																												
1. 舵机	2	5.7	6.27	I																								
2. 锚机	1	31.6	24.5	I																								
3. 起艇机					0.6	0.6	70	0.64	1	4.28	5.14	Ⅱ	0.4	0.4	80	0.55	2	4	6.06	I								
4. 绞盘	1	17.9	16.8	I																								
5. 起货机													0.6	0.6	70	0.64	3	12.8	15.4	Ⅱ					以3			

续上表

用电设备名称	进出港状态				停泊状态								应急状态								装卸货状态							
	使用台数 n	所需有功功率 (kW)	所需无功功率 (kW)	负荷类别	机械负荷系数 K_2	电机负荷系数 K_2	效率 (%)	功率因数 cosφ	使用台数 n	所需有功功率 (kW)	所需无功功率 (kvar)	负荷类别	机械负荷系数 K_2	电机负荷系数 K_3	效率 (%)	功率因数 cosφ	使用台数 n	所需有功功率 (kW)	所需无功功率 (kW)	负荷类别	机械负荷系数 K_2	电动机负荷系数 k_3	效率 (%)	功率因数 cosφ	使用台数 n	所需有功功率 (kW)	所需无功功率 (kvar)	负荷类别
三、冷藏通风																					0.7	0.7	81.7	0.56	合计	66.8	98.5	I
1. 粮食库风机	1	0.34	0.29	I	1	0.6	70	0.76	1	0.34	0.29	I									1	0.6	70	0.76	1	0.34	0.29	I
2. 机舱通风机	4	15	11.2	I																	1	1	80	0.8	1	3.75	2.8	I
3. 首尾货舱通风机	2	2	1.5	I																	1	1	80	0.8	2	2	1.5	I
4. 厕浴洗脸室通风机	2	1.47	1.18	I	1	0.66	72	0.78	2	1.47	1.18	I									1	0.66	72	0.78	2	1.47	1.18	I
5. 应急发电机室通风机													1	1	80	0.8	1	0.5	0.38	I								
6. 变流机室通风机	1	0.5	0.38	I	1	1	80	0.8	1	0.5	0.38	I																
7. 蓄电池室通风机	2	1	0.76	I	1	1	80	0.8	2	1	0.76	I									1	1	80	0.8	2	1	0.76	I
8. 旅客舱通风机	4	8.1	6.3	I	1	0.75	81.5	0.79	2	4.05	3.15	I									1	0.75	81.5	0.79	4	8.1	6.3	I
9. 厨房通风机	2	2.43	2.14	I	1	0.64	79	0.75	1	1.21	1.07	I									1	0.64	79	0.75	2	2.43	2.14	I
10. 浴厕通风机	2	0.68	0.59	I	1	0.6	70	0.76	2	0.68	0.59	I									1	0.6	70	0.76	2	0.68	0.59	I
11. 冷藏机	2	7.55	5.26	Ⅱ	1	0.8	85	0.82	2	7.55	5.26	Ⅱ																
12. 二氧化碳室通风机																												
13. 舵机舱通风机	1	0.5	0.38	I																								
14. 旅客舱通风机	2	7.5	5.6	I	1	1	80	0.8	2	7.5	5.6	I									1	1	80	0.6	2	7.5	5.6	I
15. 会议室通风机	2	2.43	2.14	I	1	0.64	79	0.75	1	1.21	1.07	I									1	0.64	79	0.75	2	2.43	2.14	I
四、机修设备																												
1. 砂轮机	1	0.29	0.32	Ⅱ	0.8	0.8	69	0.68	1	0.29	0.32	Ⅱ																
2. 车床	1	2.86	2.12	Ⅱ	0.8	0.8	84	0.8	1	2.86	2.12	Ⅱ																
3. 钻床	1	0.85	0.84	Ⅱ	0.8	0.8	75.5	0.71	1	0.85	0.84	Ⅱ																

续上表

用电设备名称	进出港状态				停泊状态								应急状态								装卸货状态							
	使用台数 n	所需有功功率 (kW)	所需无功功率 (kW)	负荷类别	机械负荷系数 K_2	电机负荷系数 k_3	效率 (%)	功率因数 cosφ	使用台数 n	所需有功功率 (kW)	所需无功功率 (kvar)	负荷类别	机械负荷系数 K_2	电机负荷系数 K_3	效率 (%)	功率因数 cosφ	使用台数 n	所需有功功率 (kW)	所需无功功率 (kW)	负荷类别	机械负荷系数 K_2	电动机负荷系数 K_3	效率 (%)	功率因数 cosφ	使用台数 n	所需有功功率 (kW)	所需无功功率 (kvar)	负荷类别
五、无线电导航设备																												
1. 航海雷达	—	1.5	1.12	Ⅱ									—	—	—	—	0.8	—	1.5	1.1Z	Ⅱ							
2. 无线电设备	—	0.5	0.37	Ⅱ									—	—	—	0.8	—	0.5	0.37	Ⅱ								
3. 导航设备	—	1.5	1.12	I									—	—	—	0.8	—	1.5	1.12	I								
六、照明及其它																												
1. 机舱照明	0.8	0.96		I					0.8	0.96		I					0.8	0.96		I					0.8	0.96		I
2. 房舱及室外照明	0.8	8		I					0.3	3		I					0.8	8		I					0.3	3		I
3. 工作灯及货舱照明																	0.5	2.1		I					0.5	2.1		I
4. 航行灯及信号灯	0.7	0.7		I													0.5	0.5		I								
5. 探照灯	0.3	0.6		Ⅱ													0.5	1		Ⅱ								
6. 电风扇	0.8	3.2		I					0.3	1.2		I													0.3	1.2		I
7. 燃油沸水器、燃油炉灶	1	0.4		Ⅱ					0.6	0.24		Ⅱ													0.6	0.24		Ⅱ
					P= 24.97				Q=15.14				P=33.06				Q= 16.71				P=105.61				Q=122.85			
					P=30.47				Q= 19.67				P=2(9.26)				Q=1.49(5.25)				P=42.34				Q=26.85			
					P=8.28				Q=8.42				P=13.8				Q= 15.4											
					P=21.2				Q=12.9				P=29				Q=14.2				P=89.5				Q=104			
					P=12.2				Q=7.9				P=0.8				Q=0.6				P=17				Q=10.8			
					P=33.4				Q=208				P=29.8				Q=14.8				P=106.5				Q=114.8			
					P=35				Q=21.8				P=31.3				Q=15.6				P=112				Q=121			
									0.85								0.88								0.68			
									1×100								1×40								2×100			
									35								78.3								56			
									2×100								—								1×100			

4.3 概率论法计算电站容量

4.3.1 概率论法的特点及工况划分

概率论法计算电站容量的特点，是根据统计规律找出发电机功率与船舶吨位和主机功率之间的关系。利用回归分析方法，推导出一些公式，并做出发电机功率，船舶吨位及主机功率的三维图形。这样就可以在用电设备还未肯定时预先确定发电机的容量 。其回归公式；

$$X_3=0.3015+0.006298X_1+0.06306X_2 +0.0000275X_1^2+0.002556X_2^2-0.000633X_1X_2 \quad (8.3.1-8)$$

式中：X_1——载重吨位，10^3t；

X_2——主机功率，10^3kW；

X_3——发电机功率，10^3kW。

例如我国“长辉”轮载重量为 16996t 重，主机功率为 6700kW；利用回归公式计算得：

$$X_3=880\text{kW}$$

上述结果只能估算发电机的装机容量。由于各工况用电量尚未确定，因此尚不能决定每台发电机的功率和台数，而船舶电站功率和发电机台数大都根据计算功率最大工况来确定的。

1)航行工况

$$P_x=18+0.028N \quad \text{kW} \quad (8.3.1-9)$$

$$P_y=52+0.313N \quad \text{kW} \quad (8.3.1-10)$$

式中： P_x ——用电设备所需功率，kW；

P_y ——用电设备装置功率，kW；

P ——主机功率，kW；

P_x/P_y——表示航行工况时，用电设备的同时系数应当选取的值。

计算航行工况下电站功率的最后公式：

$$P_{px}=P_x+P_a(P_a>P_b\text{ 时}) \quad (8.3.1-11)$$

$$P_{px}=P_x+P_b(P_b>P_a\text{ 时}) \quad (8.3.1-12)$$

式中：P_{px}——航行工况下船舶电站的计算功率，kW；

P_a——偶尔工作的最大用电设备功率，kW；

P_b——日常生活用电设备的计算功率，kW，其公式为：

$$P_b=P_1+P_2+P_3 \quad (8.3.1-13)$$

式中：P_1——厨房电气设备的计算功率，kW；

P_2——日常通风电气设备的计算功率，kW；

P_3——空调系统电气设备的计算功率，kW。

2)停泊工况

用统计方法得到停泊工况时电站功率的大小，仅与船舶的排水量有关：

$$P_t=11+0.002D \quad \text{kW} \quad (8.3.1-14)$$

式中：D ——船的排水量，t；

P_t——停泊工况时电站负载平均值，kW。

计算停泊工况船舶电站功率公式为：

$$P_{pt}=P_t+P_a(P_a>P_b\text{ 时}) \quad (8.3.1-15)$$

$$P_{pt}=P_t+P_b(P_t>P_b\text{ 时})\qquad(8.3.1\text{—}16)$$

3)机动工况

机动工况容量可由下式估算：

$$P_{pm}=P_x+0.8(P_4+P_5+P_6)\qquad(8.3.1\text{—}17)$$

式中：P_{pm}——机动工况时电站计算功率；

P_4 ——绞车额定功率，kW；

P_5 ——空压机额定功率，kW；

P_6 ——总用泵额定功率，kW。

4)装卸货工况

从国外资料来看在约有50%的船舶中起货装置消耗的功率影响了发电机功率的选择，因此必须对起货机装置功率进行研究，然后才能确定发电机的功率和台数，这里介绍一种由统计所得出的结论：

$$P_{tz}=(0.53+1.05/n)\sum_{i=1}^{n}0.15G_{ei}\cdot V_{ei}\qquad(8.3.1\text{—}18)$$

$$P_{P_{tz}}=P_{tz}+P_t\qquad(8.3.1\text{—}19)$$

式中：P_{tz}——装卸工况时起货装置所需功率，kW；

P_{ptz}——装卸工况时船舶电站的计算功率，kW；

n ——起货机台数；

G_e——每台起货机的额定起重量，t；

V_e——起货机满载额定提升速度，m/s。

4.3.2 概率论法确定电站功率实例

原始数据：某船主机功率 N=4660kW 排水量 D=12900t，$P_a=35kw$，$P_b=20kW$，$P_4=10kW$，$P_5=20kW$，$P_6=10kW$，n=16，Ge=2t，V_e=m/s。

计算航行工况：$P_x=18+0.028N=148\quad kW$

$P_{px}=P_x+P_a=148+35=183\quad kW$

计算停泊工况：$P_t=11+0.002D=11+25.8=37\quad kW$

$P_{pt}=P_t+P_a=37+35=72kW$

计算机动工况：$P_{pm}=P_x+0.8(P_4+P_5+P_6)$

$=148+0.8(10+20+10)=18\quad kW$

计算装卸货工况：$P_{tz}=(0.53+1.05/n)\sum_{1}^{n}(0.15G_{ei}\cdot V_{ei})$

$=(0.53+1.05/16)\times16\times(0.15\times2\times60)$

$=172\quad kW$

$$P_{ptz}=P_{tz}+P_t=172+37=209kW$$

根据上述各种工况的计算功率，我们可选择由三台各为100kW发电机组成的电站。但从图8.3.1—3看出60%的时间必须使用二台，每台一年内工作200昼夜，而主机工作150昼夜则辅机寿命比主机寿命早消耗 完，操作亦不便故选用二台各200kW的发电机组和一台100kW的停泊发电机组做为电站电源较为理想。

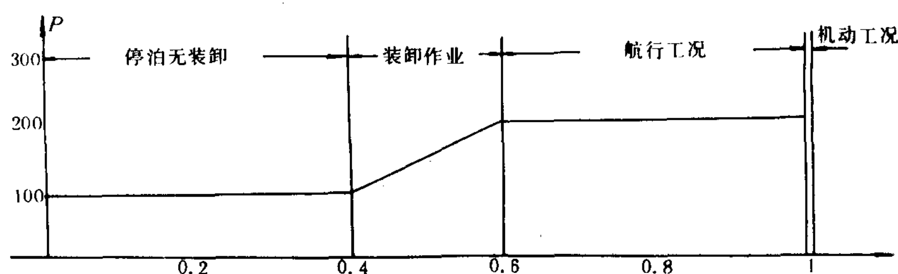


图 8.3.1—3 某船无限航区年度负荷曲线

5 船舶配电装置

5.1 概 述

1)配电装置是用来接受和分配电能的电气装置。它具有电力系统进行控制、保护、测量和调整等功能。按用途可分为：主配电盘、应急配电盘、充放电盘分配电盘和岸电箱等。

2)配电装置内部电器的布置要便于调整，检修和拆换。对仪表指示和转换开关装于面板上便于观察和操作。

3)配电方式与汇流排的识别，交流船舶的配电方式一般分为三种，见图 8.3.1—4。

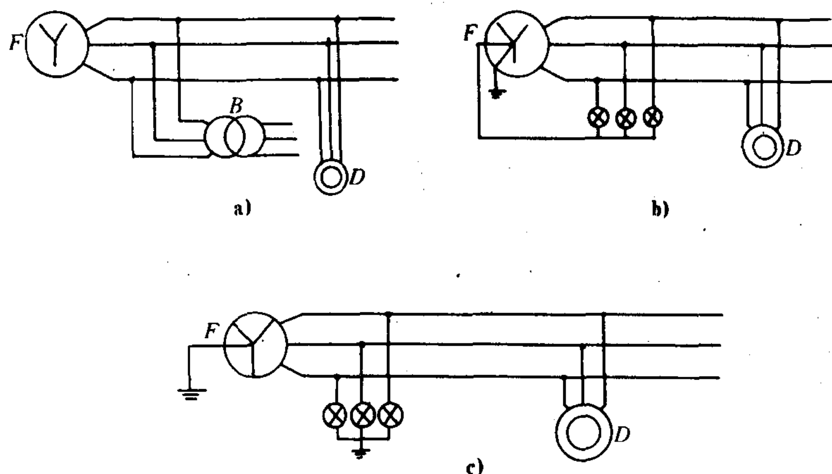


图 8.3.1—4 交流船舶配电方式

a)三相绝缘系统；b)中点接地的四线系统；

c)利用船体作为中性线回路的三线系统

目前大多数船舶是使用三线绝缘系统，但也有些船是使用中点接地的四线系统。三线绝缘系统与中点接地的三相四线制系统比较见表 8.3.1—15。

汇流排的识别；

A 相——绿色；B 相——黄色；C 相 ——褐色；

接地线——黑色；中性线——灰色。

对直流电站常用配电方式，主要有三种，见图 8.3.1—5 所示。

表 8.3.1—15　　**配电方式比较表**

序号	系统方式 / 比较项目	中点接地三相四线制系统		三相三线制系统	
		状态	措施	状态	措施
1	接地电流	均为三相短路电流或更大	要求合理选择分段保护，保证及时切除	有少量对地分布电容，随系统容量和线路的增减而增减	
2	暂时性接地故障的后果	转为短路	要求合理选择分段保护，保证及时切除	可能形成断续电弧	
3	一相接地时，其它相的电压升高	为相电压		等于或略大于线电压	
4	电弧接地过电压	可不考虑		可能很高	提高设备耐压
5	操作过电压	最低		很高	提高设备耐压
6	单相接地延续时间	最短		长	要求迅速查出排除故障
7	单相接地发展到多相短路的可能	最小		最大	要求迅速查出排除故障
8	接地故障的排除	方便		困难	
9	绝缘电阻的检测	困难	要使设备接地回路断开	方便	
10	负载不平衡时中点位移，负载电压不对称	最小		最大	
11	中线电流	有(无危险)		无	
12	发电机并联时的三次谐波环流	有		无	
13	三次谐波对通信干扰	有	报房电源需加装滤波器		

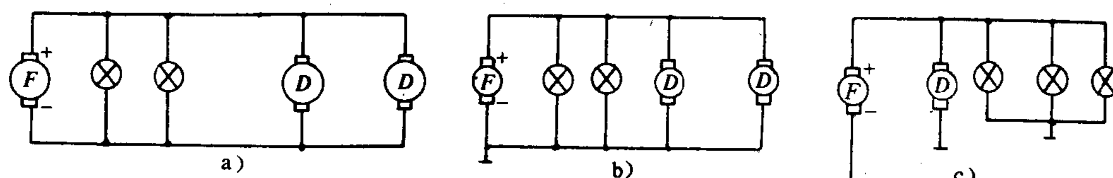


图 8.3.1—5　直流配电方式

a)双线绝缘配电方式；b)负极接地双线配电方式；c)以船体为负极回路的单线配电方式

5.2 配电装置中的自动空气开关

船用自动空气开关有两种形式:装置式和万能式自动开关。它均为接通和断开主电路的开关电器,又可做为保护电路(过载、短路、欠压时自动断开电路)之用。自动开关一般包括;触头系统、灭弧室、过流脱扣器、失压脱扣器、分励脱扣器、自由脱扣机构、电动操作机构和手动操作机构。自动开关方框图见图 8.3.1—6。

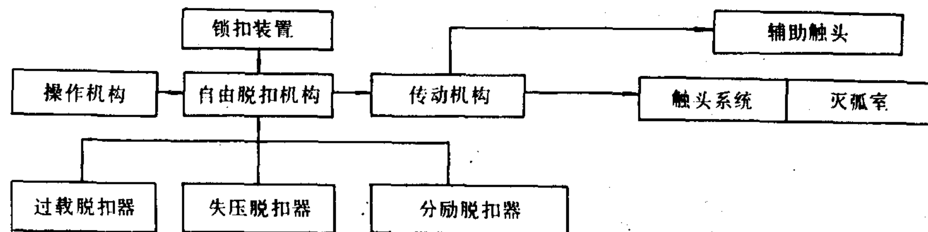


图 8.3.1—6 自动开关方框图

1)开关触头系统。一般由二到三组触头组成。为了避免主触头在断开时被电弧灼伤,除主触头外还设有弧触头。对大容量开关还设有预接触头,在合闸时先接通预接触头最后才接通主触头。分闸时则相反,这样可保证主触头不被电弧灼伤。触头采用银钨合金具有良好的耐磨性和抗熔性。灭弧室通常用复式灭弧。

2)自由脱扣机构见图 8.3.1—7。

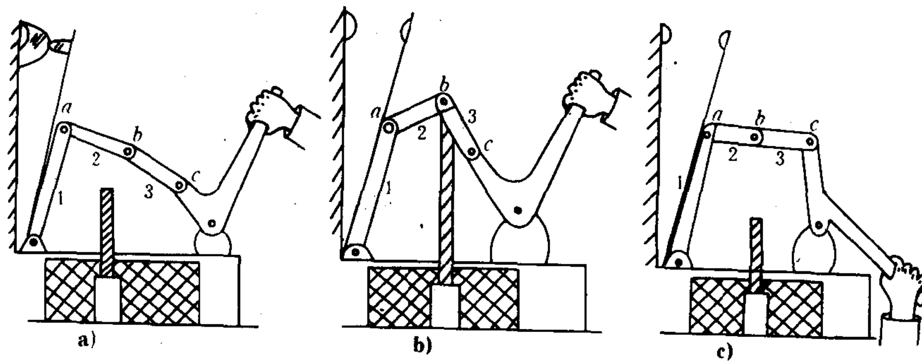


图 8.3.1—7 自由脱扣机构示意图

a)合闸位置;b)自由分闸以后;c)准备合闸

a、b、c—活动支点;1、2、3—连接片

3)短路(过载)失压分励脱扣器见图 8.3.1—8,其中失压脱扣器保证在电压降到额定电压值的 40%或以下时必须动作使自动开关打开,而在额定电压的 75%或以上时必须保证自动开关可靠合闸,因此失压保护可在 40%~75%额定电压范围内整定,为避免在电网电压瞬时波动下产生误动作,即要求在欠压情况下可带有 1~3s 的延时其原理接线见图 8.3.1—8。

分励脱扣器是为远距离控制开关迅速开断电路之用。分励脱扣线圈要在(75~110)%额定电压时断开自动开关。其接线见图 8.3.1—9 所示,其过流脱扣器为了要得到 选择性保护采用了过载长延时、短路短延时、特大短路瞬时脱扣的三段保护特性。

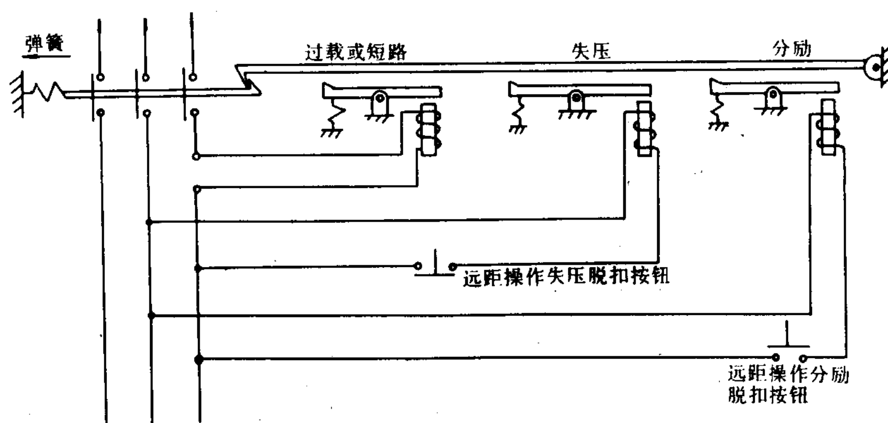


图 8.3.1—8　短路、失压、分励脱扣原理图

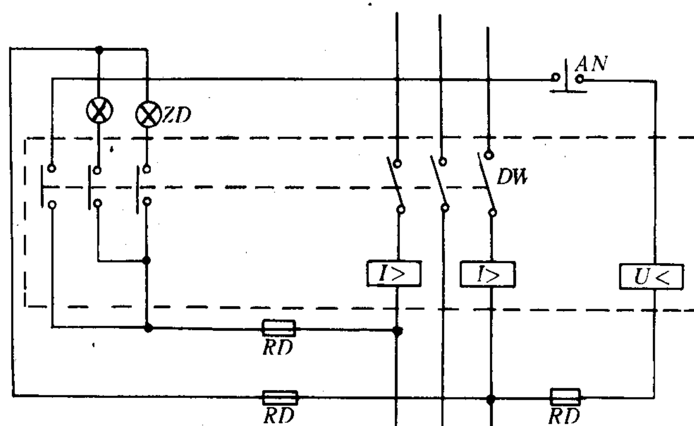


图 8.3.1—9　带失压脱扣器的断路器接线图

4)半导体脱扣器具有如下功能。

以 DW98 为例说明其原理,其方框图和原理图分别为图 8.3.1—10 和 8.3.1—11。

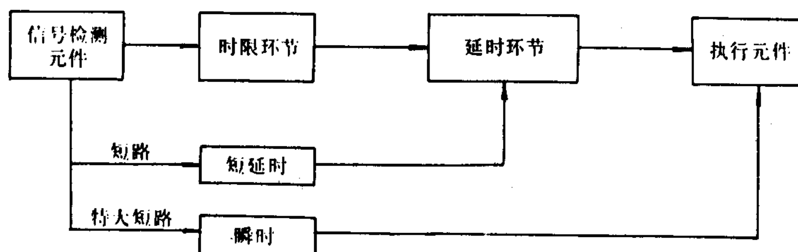


图 8.3.1—10　半导体脱扣器方框图

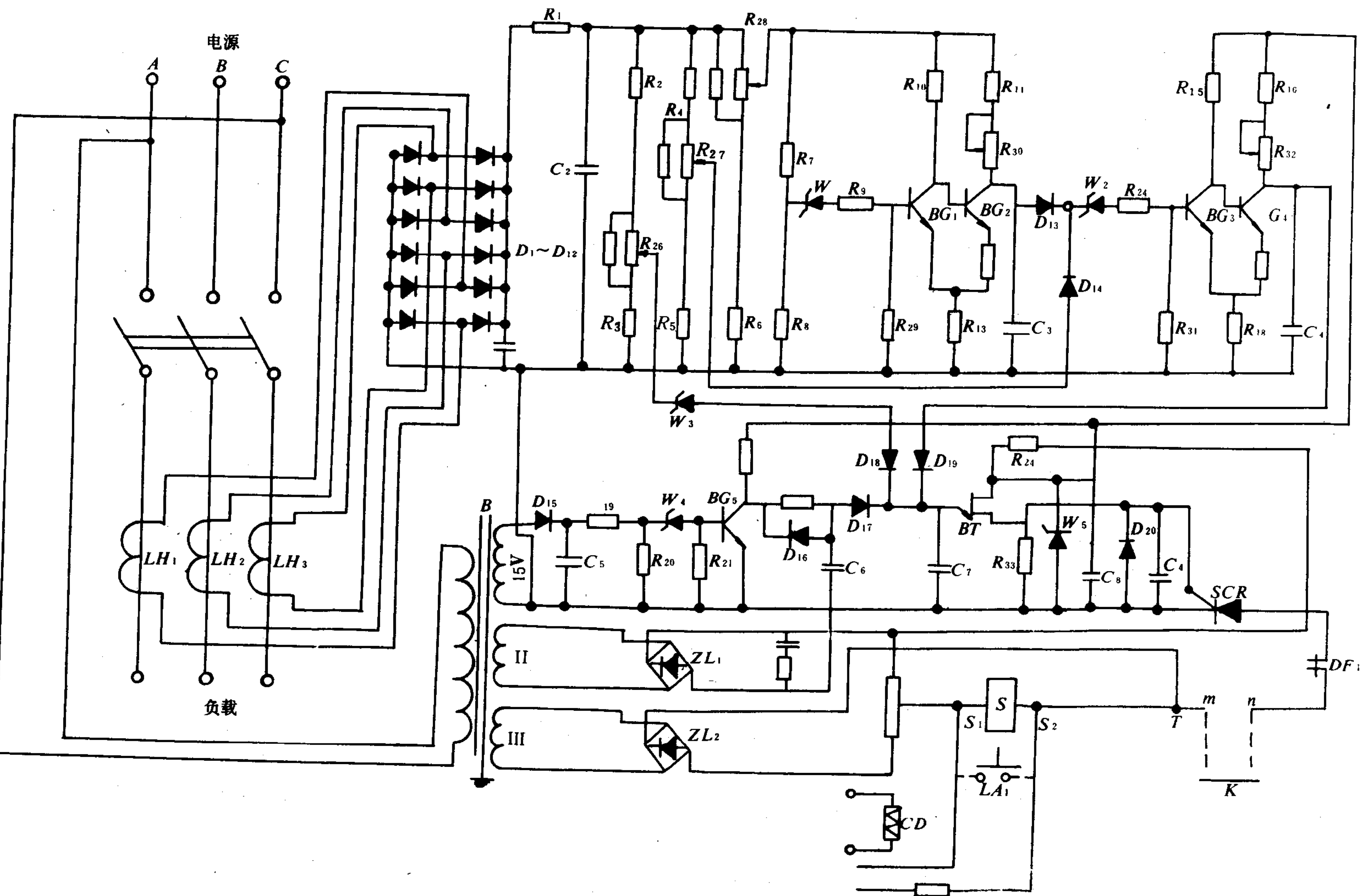


图 8.3.1—11 DW98 半导体脱机器原理接线图

(1)失压瞬时动作。在正常电压时失压脱扣器S线圈 由Ⅱ供电、衔铁吸合、当发电机失压时衔铁被打开撞脱扣轴使开关瞬时跳开。

(2)欠压延时保护。发电机的电压经变压器B的一个副边输出15V电压在R_{20}上电压使W_4击穿,BG_5导通,D_{17}不导通,C_7不能充电,执行元件不动作。若发电机电压低于65%U_{er}时,R_{20}上电压不足击穿W_4,于是BG_5截止,这时工作电源对C_6和C_7充电、当C_7上的电压升到BT的峰值电压时,触发器发出脉冲触发晶闸管导通使开关跳闸。C_6和C_7的充电时间就是欠压保护的延时时间,有0.5S,1S,3S和5S四种可供选择,但选定后欠压动作值和延时时间就不可调了。

(3)特大短路瞬时动作

由于三个互感器LH_1~LH_3检测发电机的三相电流,再经D_1~D_{12}输出直流电压信号给三组并联分压检测电路。其中R_2 R_{26}和R_3组成特大短路信号检测电路。R_4,R_{27}和R_5为短路信号检测电路。而R_{28},R_6为过载信号检测电路。显然发电机的电流越大,检测电路上取得的电压信号值也越高,R_{20}上分得的电压足以击穿稳压管W_3通过D_{18}使C_7迅速充电,BT立即发出脉冲触发晶闸管使开关瞬时动作跳闸从而实现了特大短路瞬时跳闸的保护。同样道理可分析短路短延时和过载长延时保护。此外,该脱扣器还有锁扣装置K和传动装置。

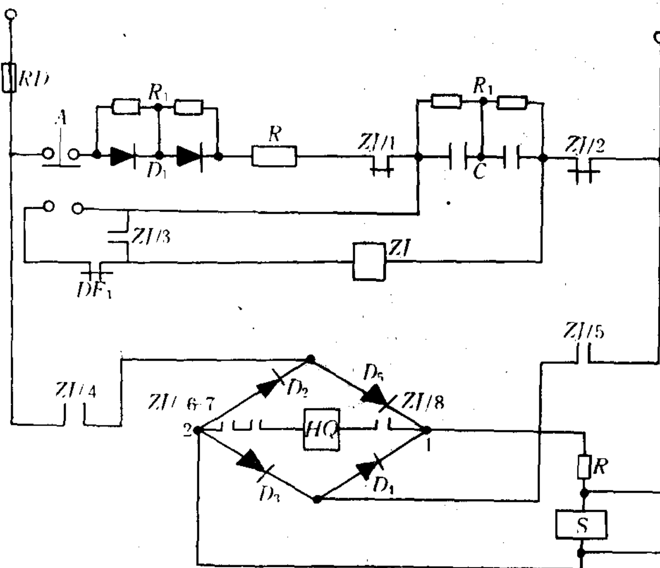


图8.3.1—12 DW—98电磁合闸电路图

(4)DW—98开关电磁合闸操作电路原理图8.3.1—12。

在DW—98开关未合闸之前,当HQ通电时由D_2~D_5给S供电以保证开关可靠地闭合,合闸后S由变压器B的电源Ⅱ供电,参看图8.3.1—11。

5.3 装置式自动空气开关

主配电板及分配电板上的配电开关,通常采用装置式自动开关。它可用于不频繁接通和分断电路,具有过载和短路保护装置用以保护电机,电器和电缆等设备。装置式自动开关的合闸可采用手动亦可采用电磁式或电动机式遥控合闸

5.4 国内外自动空气开关主要类型及型号

近年来国外船用开关从结构上看似乎变化不大,实际上在类型、性能、使用范围及附件种类和安装结构等方面均有很大变化。现介绍国内外自动空气开关主要类型及型号见表8.3.1—16。

表 8.3.1—16 **国内外自动空气开关类型及型号**

制造厂 型号及电流等级 类型	日本三菱	日本寺崎	西德西门子	美国西屋	苏联	中国
标准型	S: 30 50 100 225 400 600 800 1000 1200 1600 2000 2500 3200 4000	TO—B: 30 60 100 225 400 600 800 1000 1200 1600 2000 3200	3YQ: 32 60 100 225 400 600		A 3100: 100 200 600	
经济型	C: 30 50 100 225 400 600	TO—C 50 100 225				DΣ910 或 DZ10: 100 250 600
限流型	R 100 225 400 600 800	TL—E 100 225 400 600 800	3VS 100 225 400 600 800			
带自复熔断器型	V: 100 225 400 600 800			LF: 100 250 400		
选择型	E 400 600 800 1200 2000 3000 4000	TT: 600 800 1600 2000 3200	A3500: 160 250 400 600			

续上表

型号及电流等级 / 制造厂 / 类型	日本三菱	日本寺崎	西德西门子	美国西屋	苏联	中国
分电箱型	M： 30 50 100 225	TM： 30	3VE 16		AC25： 25	DZ5—20 20
高性能型		TG： 30 100 225 400 600				
高限流型		TL： 100 225 400 600 800				
电动机与线路保护型			3YA： 6 16 25 63 100			
电动机，发电机与线路保护型			3VB 160 250 330			
发电机保护型	ABE—S： 200 400 600 800 1000	AM： 200 400 600 800 1000		G： 100 225 400 800		
中频型				H： 100 225 400		

续上表

类型 \ 型号及电流等级 \ 制造厂	日本三菱	日本寺崎	西德西门子	美国西屋	苏联	中国
高整定电流型				M： 250 400 600 800 1000		

表 8.3.1—17 **国外发电机船用框架式自动开关(万能式)**

制造厂	日本三菱	日本寺崎	德国西门子	美国西屋	原苏联	中国			
型　号	AE	A H	3WE	ACB	AM	DW94	DW95	DW98B	DW98
电源等级	1000 1800 3000	600 1000 1600 2000 3200 5000 6000	630 800 1000 1250 1600 2000 2500 3150	640 900 1600 2600 3200 4000	800 1500 3000 5500	800 1500 2500	1000	400 600	400 600

表 8.3.1—18 **国内外框架式自动开关通断能力比较表**

国别	型号	额定电流(A)	分断能力		接通能力		功率因数 COSφ	试验程序
			试验电压(V)	电流(KA)	试验电压(V)	电流(KA)		
日本寺崎	AH—10B	1000	500	40	500	106	0.04 与 0.15	0 1minCO 3minCO
日本三菱	AE 1000	1000	500	35	500	80.5	0.15	0—CO—CO
西门子	3WE32	1000	500	35	500	73	0.25	0—CO—CO
美国西屋	ACB900RC	900	500	50			0.15	02minCO 5minCO
苏联	AM8	800	400	45	400	110	0.1	015～45SCO 3min
中国	DW94	800	1.1×400	45			0.3～0.4	0 3minCO
	DW95	1000	1.1×380	30			0.4	03minCO

船用框架式自动开关仅以日本三菱与寺畸和我国 DW95 为例，比较见表 8.3.1—19。

表 8.3.1—19　　三菱，寺畸与国产DW95比较表

特性		型号：三菱AE系列	寺崎AH系列	我国DW95系列	
长延时	始动电流 I_1	$(0.8\sim1.6)\times I_o$	$(1.0\sim1.25)\times I_o$	整定电流 I_3	$(0.8\sim1.4)\times I_Q$
	延时时间	1.2(或 $1.15)\times I_1$ 时 20(S)	1.2(或 $1.15)\times I_1$ 时 15～60(S)	延时时间	$1.1\times I_3$ 时 <1(h) $1.25\times I_3$ 时，5，15，30(S)
短延时	始动电流 I_2	$(2.0\sim5.0)\times I_o$	$(2.0\sim4.0)\times I_o$	整定电流 I_4	$(3\sim5)\times I_o$
	延时时间	$10\times I_o$ 时 800～300(ms)	$\geqslant I_2$ 时 120～420(ms)	延时时间	$1.1\times I_4$ 时始动：$2\times I_4$ 时 0.2，0.4，0.6(S)
瞬时	始动电流	$(5\sim15)\times I_o$	$(5\sim15)\times I_o$	动作电流	$(5-10)\times I_Q$

注：I_o——发电机额定电流A；

I_Q——开关脱扣器额定电流A。

国外发电机船用框架式自动开关(万能式)请参看表8.3.1—17。

国内外框架式开关通断能力的比较请参看表8.3.1—18。

5.5　选择配电电器和载流部分的一般原则

各种电气和载流部分的具体选择条件并不一样，但对它们的基本要求是相同的。要保证配电装置可靠地工作必须按正常条件来选电器，而按短路情形来校验热稳定和动稳定。

5.5.1　按正常运行条件选择电气设备

1)按工作电压选择

在选择电气设备时，应使所选择电器的额定电压不小于电器装设地点的电网工作电压。即：

$$U_{eg}\geqslant U_e \qquad (8.3.1—20)$$

式中：U_{eg} —电器的额定电压，V；

U_e ——电网的额定电压，V。

电器、电缆和绝缘子等的额定电压就是铭牌上或产品说明书中所标明的线电压。

2)按工作电流选择

电气设备的额定电流是指在规定的环境温度下，电器允许长期通过的电流，因此选择时应满足下列条件：

$$I_{eq}\geqslant I_{qmax} \qquad (8.3.1—21)$$

式中：I_{eq}——电器的额定电流，A；

I_{gmax} ——通过电器的最大工作电流，A。

我国目前生产的电器设备(开关电器、电流互感器、电压互感器等)，在规定它们的额定电流时是取周围环境最高温度为40℃作为依据，在选择电器时，如果装设地点的最高气温大于40℃，则所选电器允许通过的电流应按下列公式校正：

$$I'_{eq}=I_{eq}\sqrt{\frac{Q_{max}-Q_0}{Q_{max}-40}} \qquad (8.3.1—22)$$

式中：I'_{eq}——环境温度为Q_0℃时，电器允许通过的电流；

I_{eq}——环境温度为40℃时，电器的额定电流；

Q_{max}—— 电器某部分的最高允许温度(如断路器和隔离开关触头的工作条件规定为

75℃)。

当周围空气温度每低于最高环境温度(40℃)1℃,电器的允许工作电流可以比额定值增大0.5%,但总共增大的值不能超过20%。

5.5.2 船舶电力系统短路计算的目的和方法

1)目的

(1)校核所选用的配电电器的短路接通能力和短路分断能力。

(2)校核汇流排,支持绝缘子等元件的电动力稳定性。

(3)为电力系统选择性保护的设计和整定提供依据。

2)方法

船舶电力系统的短路故障严重地影响着船舶的安全航行。在船舶电站的设计中,必须计算电力系统中各短路计算点的短路电流。原则上,凡是在供电系统中联接电气设备的各条母线以及用电设备的接线端钮处均应选作短路电流计算点。各主要造船国家都设有关于船舶电力系统短路电流计算的国家标准。我国也于1983年底制定了关于船舶电力系统短路计算的国家标准(GB3321),实际计算时应参考该标准进行。

5.5.3 短路计算在自动开关选择和校验时的应用

1)导电回路中的电阻损耗;

2)铁磁体在交变磁场作用下的涡流和磁滞损耗;

3)绝缘体在交变电场作用下的介质损耗。

电力系统短路时,在开关中流过很大的短路电流,作用时间很短。上述损耗产生的热量来不及向外散失,因此,发热体温度急剧上升,如金属材料铜,当短路时发热温度达300℃时机械强度会显著降低;对于触头除考虑机械强度外还要考虑氧化问题。氧化后触头接触电阻增大许多,导致进一步氧化而损坏。

开关能承受短路电流产生热效应不致损坏的能力叫开关的热稳定性。表示开关热稳定的参数是热稳定电流,各种开关都规定了热稳定电流的数值。所谓热稳定电流是指开关在某一时间内所能承受最大短路电流的均方根值:

$$I=\sqrt{\int_0^t i^2(t)dt} \tag{8.3.1—23}$$

5.5.4 电动力稳定性

载流导体在磁场中会受到机械力的作用(左手定则)因为电流的存在又产生磁场,所以两个载流导体之间也同样存在机械力的作用。力的大小与方向与电流流经的回路形状及大小有关,与各个电流回路相互位置有关,与回路之间的媒介质有关,也与相互作用的电流大小有关。这种由电流存在所产生的力,通常称为电动力。因短路电流很大使电动力达到很大数值,它能在开关的部件上产生很大机械应力,造成部件机械损坏;另一方面电动力还能使一定结构的触头减少接触压力,改变了触头的工作状态。

开关能承受短路电流电动力作用而不至破坏的能力,我们称之为开关的电动力稳定性。开关表现电动力稳定性的参数是极限通过电流各种开关都规定了极限通过电流的数值。

$$I_p<I_T \tag{8.3.1—24}$$

式中:I_p——短路电流冲击值(由短路计算得);

I_T——极限通过电流A(由产品目录得)。

5.5.5 闭合电流

开关在正常情况下，合闸或事故情况下合闸都会使触头产生振动，原因有二：一是弹性碰撞，二是电动力作用。开关在短路时合闸，当触头刚刚闭合瞬间突然出现强大的冲击短路电流，在触头之间产生很大的吸力或排斥力，于是触头将会跳动或停滞不前，引起触头的焊接 和开关的严重损坏。配有一定操作机构的开关在短路时合闸不发生触头熔化或焊接的最大电流峰值叫闭合电流。闭合电流的大小反映着开关的闭合能力，各种形式的开关都规定有闭合电流的数值，闭合电流的大小与开关操作机构有关系。当操作机构能供给足够的合闸动能时就保证有足够的合闸速度，从而克服了电动力，防止触头熔焊。

5.5.6 开断电流

交流开关不仅应能切断和接通负荷电流，而且要求在短路故障时，能自动断开短路电流，并且要求断开速度尽可能快，开断电流指在给定电压下，开关无损地开断的最大电流。它表现了开关的断开能力，一般可由产品目录中查得。开关在额定电压时的开断电流称为额定开关电流。(Ikde)：有时也用额定开断容量来表示：

$$S_{kde}=\sqrt{3}U_e\cdot \dot{I}_{kde}$$

$$\dot{I}_{kd}<I_{kde} \qquad (8.3.1—25)$$

式中：I_{kde}—— 额定开断电流，A(由产品目录查得)；

I_{kd} ——触头分离瞬间，短路全电流有效值，A。

$$I_{kd}=\sqrt{I_{ac}^2+\dot{I}_{dc}^2} \qquad (8.3.1—26)$$

式中：I_{ac}—— 触头分离瞬间短路电流周期分量有效值，A；

I_{dc}——触头分离瞬间短路电流非周期分量。

5.5.7 用短路电流校验汇流排的电动力稳定性

当任意截面的两根平行导线分别有电流 i_1 和 i_2 通过时，在导线周围就产生磁场并相互作用。根据电流方向的不同产生吸力或斥力，其力的大小可由下式确定：

$$F=K\cdot K_{\varphi}\cdot i_1\cdot i_2\,l/a\cdot 10^{-8}\quad N \qquad (8.3.1—27)$$

式中：i_1,i_2 ——电流的瞬时值，A；

K ——计及电流种类的系数；

K_{φ} —— 与导线的截面形状和相互位置有关的形状系数 $K\varphi=0.95\sim1$；

a ——两导体轴线间距离，cm；

l ——导线长度(母线支持绝缘子间距离)cm。

对于直流短路电流所产生的电动力为：

$$F=20.01K_{\varphi}i_{max}^2\,l/a\cdot 10^{-8}\quad N \qquad (8.3.1—28)$$

式中：i_{max}——短路电流最大值，A。

对交流短路电流所产生的电动力为：

$$F=17.27K_{\varphi}\cdot i_{max}^2 l/a\cdot 10^{-8}\quad N \qquad (8.3.1—29)$$

式中：i_{max}——短路时最大峰值电流，A。

由于短路电流最大值很大，有时可达正常额定电流的数十倍甚至上百倍，其电动力可能使母线弯曲或支架折断等。因此需用此力来校验母线材料所承受的弯曲应力是否超过该导电材料的容许应力：

$$\sigma_{max}\leqslant[\sigma] \qquad (8.3.1—30)$$

式中：σ_{max}——计算出来的母线最大弯曲应力，N/cm^2；

[σ]——母线的允许弯曲应力：N/cm²。

对于铜母线：$[\sigma]_{cu}=14kN/cm^2$；

对于铝母线：$[\sigma]_{Al}=7kN/cm^2$。

母线最大弯曲应力与作用力 F 和导线长度 l 的关系可用材料力学知识分析得出，当交流电站总配电板汇流排跨距大于 2 个时可得：

$$\sigma_{max}=1.06K_{\varphi}i_{max}^2l^2/ab^2h\cdot 10 \quad lN/cm^2 \qquad (8.3.1-31)$$

式中：b——母线截面的厚度，cm；

h——母线截面的高度，cm。

若计算结果不能满足 $\sigma_{max}\leqslant[\sigma]$时，可以采取如下措施；

①减小跨距 l；②增加母线间距离 a；

③增大母线截面 $A=b\cdot h$。

6 总配电板

总配电板是船舶电力系统的中枢，一般由四部分组成即发电机控制屏、并车屏、负载屏及连接母线。

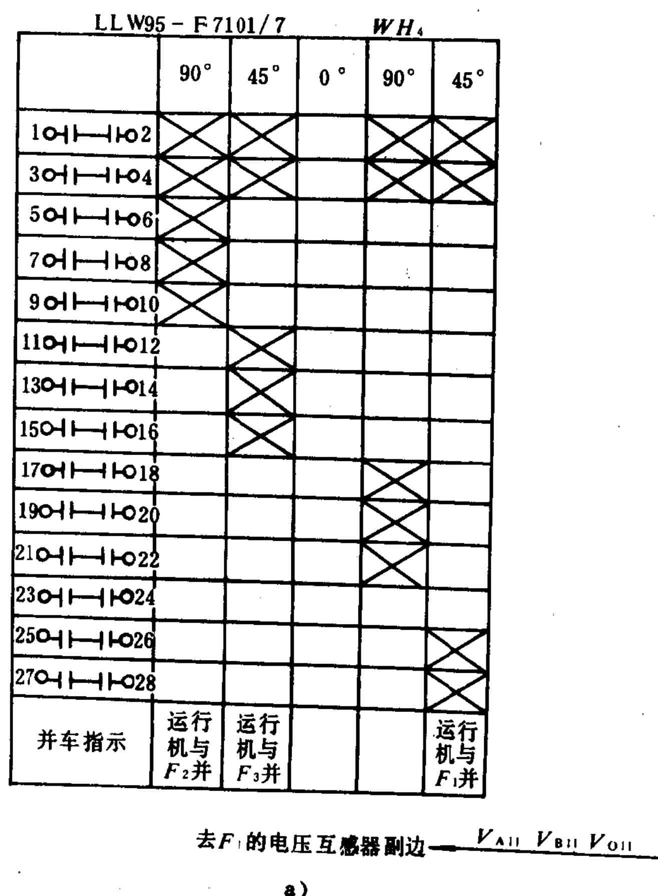


图 8.3.1－13

6.1 发电机控制屏

一般包括有励磁控制部分，发电机主开关及其指示操作部分，发电机保护部分，仪用互感器及测量仪表等。

6.2 并车屏

在并车屏上一般装有母线分段隔离开关粗同步电抗器及其主接触器熔断器等。装有粗同步或准同步的并车装置其面板上装有同步表，同步指示灯，转换开关，操作按钮和发电机调速开关，自动或半自动并车转换开关等。

6.3 负载屏

负载屏装有装置式自动开关，装有电流表并通过转换开关测量各馈电线路的负载电流，还装有绝缘指示装置以及与应急岸电电源联系的开关。

6.4 连接母线

母线是电站集中电能和分配电能的中枢环节，从母线的连接上能直接反映出全船的供电和配电系统，见图 8.3.1—13。

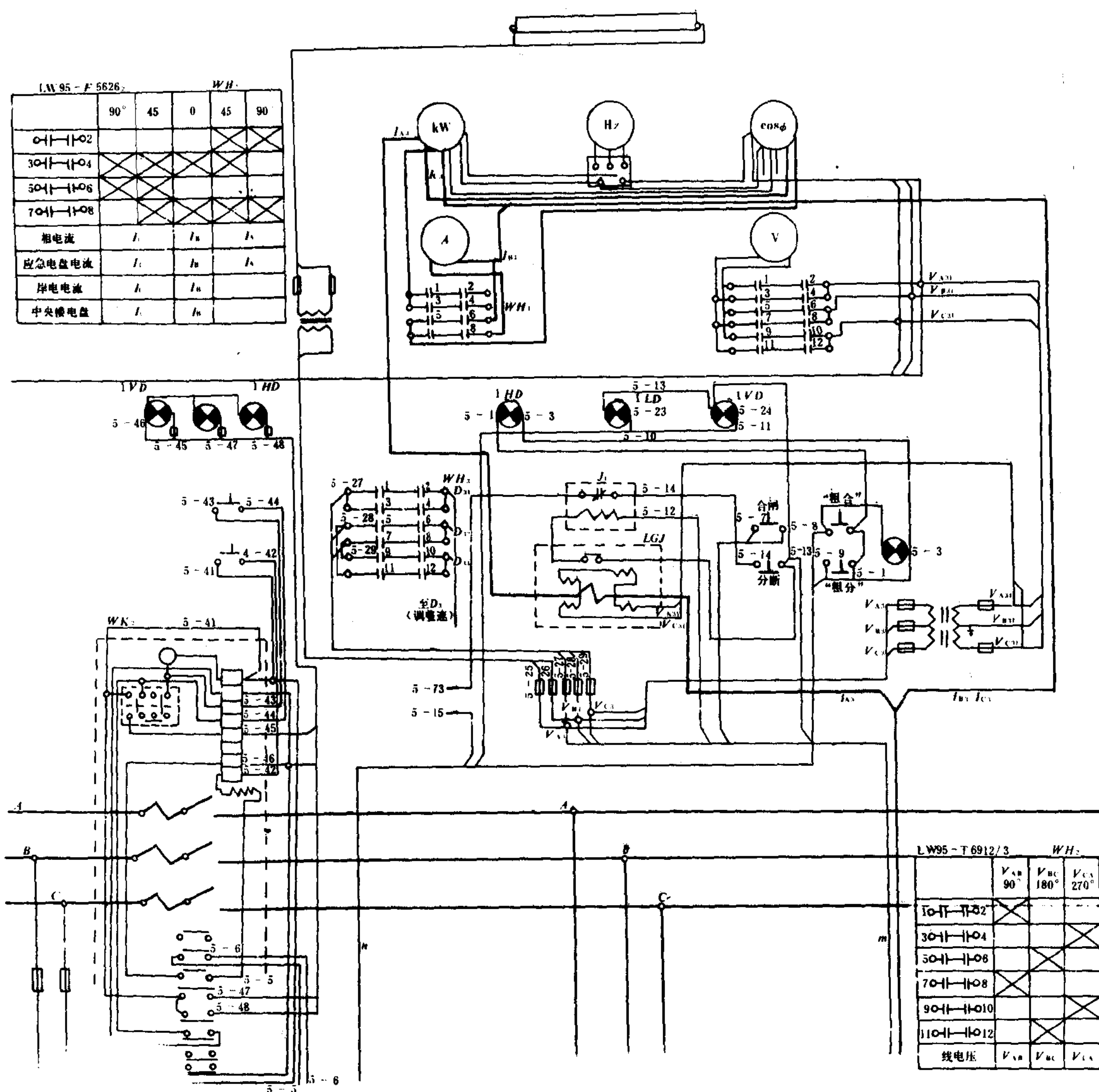
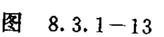

kW
Hz
cosφ
A
V
WH
1VD
1HD
LD
LGJ
合闸
分断
"粗合"
"粗分"
相电流
应急电盘电流
岸电电流
线电压
LW95-T6912/3

图 8.3.1—13



与岸电联锁 Z_{12}
与应急联锁 Z_{13}、Z_{14} Z_{15}、Z_{16}
（参阅应急电盘原理图）
4－15、4－17
调速电动机
D_{21} D_{22} D_{23}
D_2
F_2
WK_1
RD
BK
CB
XZ
DK
$2CJ_1$
$2SJ_1$
$2SJ_2$
LC
3－64
4－63
5－15
5－17

c)

图 8.3.1—13

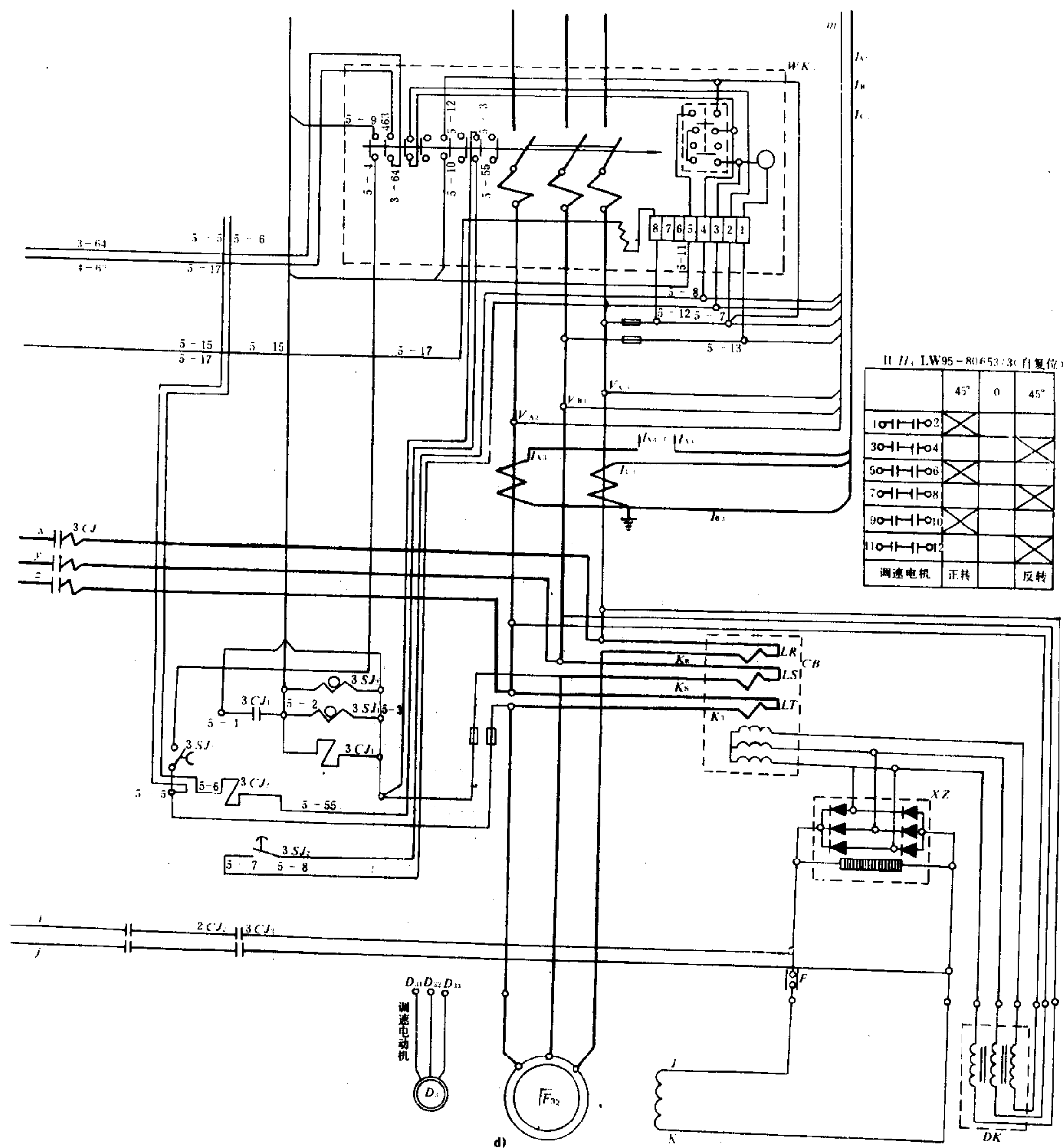


图 8.3.1—13　船用主电板控制系统图

a)分图之一；b)分图之二；c)分图之三；d)分图之四

6.5　应急配电板

应急配电板包括发电机控制屏和负载屏。其上装有自动空气开关和测量仪表等。应急发电机组一般都装有自起动装置。当主电网失压时应急发电机组按编好的程序自动起动，使应急发电机主开关自动合闸。图 8.3.1—14 为应急配电板原理图。

WH₁ WH₂ WH₃ LW35-15D0413/2

对地 对地

岸电

1000V 0.5μ

艇甲板照明 备用 尾楼顶强光灯 救生甲板外部照明 桥楼甲板外部照明 尾艇甲板强光灯

尾楼甲板后部照明 尾楼甲板前部照明 主甲板左舷照明 主甲板右舷照明 备用 防爆灯电盘

去中央楼电盘 去充放电盘 去主配电盘

充放电电源

1# 吊艇 2# 吊艇 无线电源 副空压机 中央楼电盘

防空灯 机舱照明 机舱照明 备用 机舱照明 备用

主配电盘电源 充电 应急消火泵 备用 舵机

No1 变压器初级 No2 变压器初级 航行灯电盘 电工试验电盘 No1 变压器次级 No2 变压器次级

图 8.3.1—14 应急配电板原理图

6.6 中压配电板特点及操作

1)中压配电板应为全封闭式,其内安装的控制和监视用低压部件应与中压部件隔开,以防止与工作电压超 1000V 的部件相接触。

2)若因操作上的原因而配电板不能全部断开,则应有足够数量的隔离开关,接地和短接装置,以保证在进行二次系统维护保养时免遭触电危险。

3)中压配电板内开关装置为抽出式,其按装位置应保证即使汇流排带电时各装置仍能进行测试和维修而无危险。

4)切断电源时应先将负载开关切断,最后切断中压开关。

5)在切断或合上中压开关时应带上绝缘手套进行操作。

6)合闸时应先合上中压开关,然后再合负载开关。

6.7 空气断路器及参数整定与操作(见表 8.3.1—20)

表 8.3.1—20 **空气断路器及参数整定与操作表**

系列	型号	额定电压(V)	额定电流(A)	过电流脱扣器额定电流(A)	过电流脱扣器延时方式	合闸方式	
						手柄操作	电　动
DW94	DW94—800P DW94—1000P DW94—2500P	交流 380 直流 440	800 1500 2500	130 190 260 375 500 800 1500 2500	电磁脱扣器钟表式延时机构	转 38 圈后弹簧储能再转 2—4 圈开关合闸	电动机
DW95	DW95—600/1000 DW—95 1000S/1500S	交流 380 直流 440	1000 1500	150 200 250 300 400 600 800 1000 600 1000 1500	电磁脱扣气式延时机构	1000(A)以下手柄转动 150	1000(A)以下电磁铁 1500(A)为电动机
DW98	DW98—400	交流 380 直流 440	400	100 150 200 250 300 400	半导体脱扣晶体营延时	转动 90	电磁铁

1)过电流脱扣器开始动作的电流值称为整定电流,它的数值是可以调整的,一般在脱扣器额定电流 I_e 的 1～10 倍范围内进行整定。

2)过载长延时整定电流为(1～2)I_e,其延时时间为 4～5s。

3)短路短延时整定电流为(1～5)I_e,其延时时间为 0.2～0.6s。

4)特大短路时整定电流可在(5～10)I_e 范围内整定,瞬时动作开断时间约为 0.1s。

7　船舶同步发电机和直流发电机并车条件

7.1　同步发电机并车条件

发电机的并联运行必须满足下述三条：

1)待并机组的电压与运行机组(或汇流排)的电压大小相等。

2)待并机组的频率与运行机组(或汇流排)的频率值相等。

3)待并机组电压的初相位与运行机组(或汇流排)电压的相位一致。

如果任一条件不满足时，发电机必将受到冲击电流的冲击，若冲击电流过大将导致并车失败。当任一条件不满足并车时其相量如图 8.3.1—15 所示。

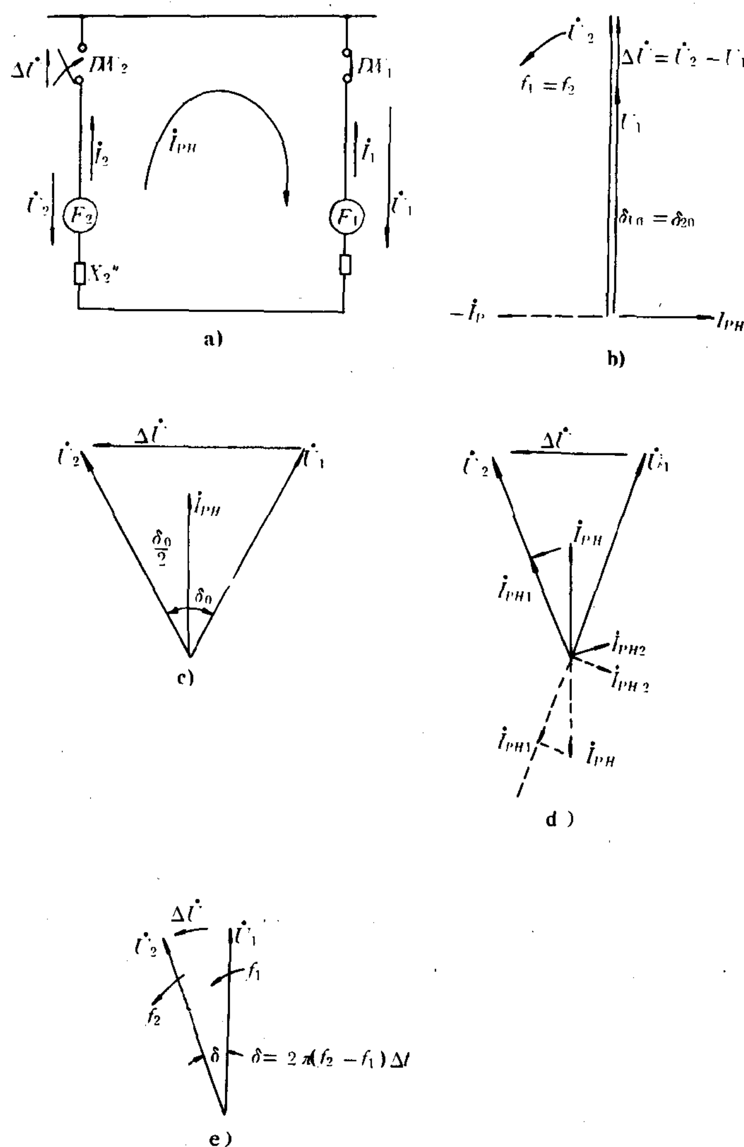


图 8.3.1—15　并车相量图

a)并车等值电路；b)$f_1=f_2$，$\delta_{10}=\delta_{20}$，$U_1\neq U_2$；c)$f_1=f_2$ $U_1=U_2$ $\delta_{10}\neq\delta_{20}$；d)$i_{ph}$环流有功与无功分量；e)$U_1=U_2$，$\delta_{10}=\delta_{20}$，$f_1\neq f_2$

7.2 同步发电机并车方法及步骤

交流同步发电机并车方法有两种

1)准同步并车法

要求操作者技术熟练,适用于不频繁并车操作的小型电站。电抗同步法实质上是一种放宽条件的准同步法。此方法将待并发电机串联一电抗器接入电网、用以限制冲击电流值,经过一短暂的延时待冲击电流减小,待并发电机被拉入同步,再将主开关合闸,然后切除电抗器,因此操作简便并车可靠。自动准同步法是采用自动装置按准同步三个条件实现并车的方法。

2)自同步并车法

并车时将待并发电机的转速调至接近同步转速(转差率 s<5%)。在不给励磁情况下合闸投入电网,同时加入励磁使待并发电机像同步电动机那样拉入同步。因此自同步法操作简单、合闸迅速,但冲击电流大、电压跌落可达 30%～40%,其恢复时间 0.2～0.6 s、因此目前船上尚未采用。

7.2.1 手动并车操作

现假设 1 号发电机已经正常运行,并向汇流排供电。下面说明 2 号发电机是怎样连接到汇排和 1 号发电机并联运行的。

1)把并车屏上的"同步和功率控制"设定在"手动"位置上,起动 2 号发电机使它建立电压,通过电压表检查电压,如果电压与 1 号发电机电压不同应调节 2 发电机电压。

2)检查频率和同步

用频率表转换开关分别测量 1 号发电机频率和 2 号发电机频率,二者频率应很接近。同时使同步表开关置于接通位置观察同步指示器指针的转动。

(1)同步指示器指针向"快"方向(顺时针)转动,表示 2 号发电机电压频率高于 1 号发电机电压频率,这时应减少 2 号发电机的转速。

(2)同步指示器指针向"慢"方向(逆时针)转动,表示 2 号发电机电压频率低于 1 号发电机电压频率,这时应增加 2 号发电机的转速。

(3)同步指示器指针极缓慢地转动或稳定不动指在同步表的正中,表示 2 号发电机的频率和 1 号发电机已接近相同其相位亦已相同。

3)当同步指示器指针极缓慢地向"快"方向转动并将达正中前时刻,按同步屏上 2 号发电机的"主开关接通按钮"、使 2 号发电机主开关合闸、实现并车。并车成功后将同步表开关扳置断开位置以免烧坏。

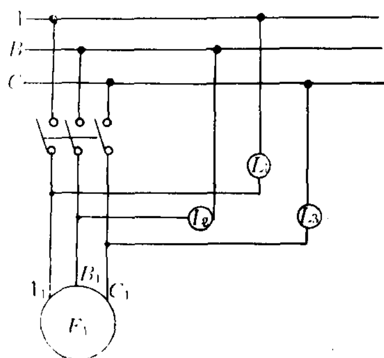


图 8.3.1 16 灯光明暗法接线图

另外还有同步指示灯法:它是用同步指示灯来观察其相位是否一致的方法。由于指示灯连接方式不同又分为"灯光明暗法"和"灯光旋转法"

(1)灯光明暗法:当指示灯同时熄灭时,正是满足并车三个条件的时刻,也就是并车操 作合闸时刻,因为指示灯两端电压的大小是随相位差的变化使灯忽亮忽暗,并且频差越大其明暗变化越快、反之明暗变化较慢。当同时熄灭就是满足并车条件。见图 8.3.1—16。

(2)灯光旋转法:将指示灯按图 8.3.1—17 连接。若设

电网电压相量为静止，则待并的 2 号发电机电压相量以 $w_s=(f_2-f_1)$的频差角速度反时钟方向旋转，2 号发电机与电网电压相量的夹角周期性地变化。当 $f_2>f_1$ 时，三个指示灯轮流熄灭，其次序是：$L_1\rightarrow L_2\rightarrow L_3$，反之当 $F_1>F_2$ 时其熄灭次序变为 $L_1\rightarrow L_3\rightarrow L_2$，频差越大，灯光旋转越快。当频差改变方向时，其灯光旋转方向也改变。因此根据灯光旋转方向和快慢可辨别频差的正负和大小，从而进行正确的频率予调，以便选择适当的时机进行并车。两机进入同步的标志是灯光停止旋转，L_1 全灭而 L_2 和 L_3 具有相同的亮度。

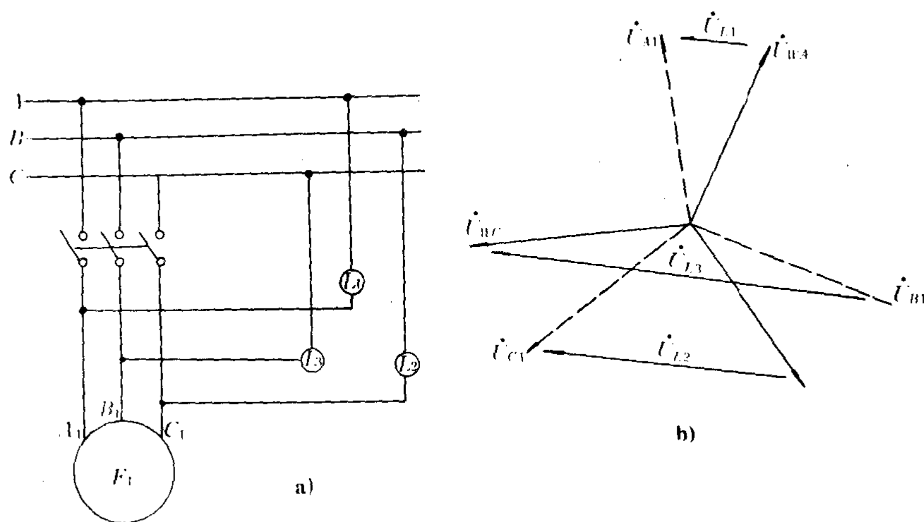


图 8.3.1—17 灯光旋转法接线图

a)灯光旋转接线图；b)灯光旋转相量图

7.2.2 电抗器并车控制电路

采用电抗器并车对电压和频率的调整要求较宽，因此操作简便可靠、习惯上也称为粗同步并车法。

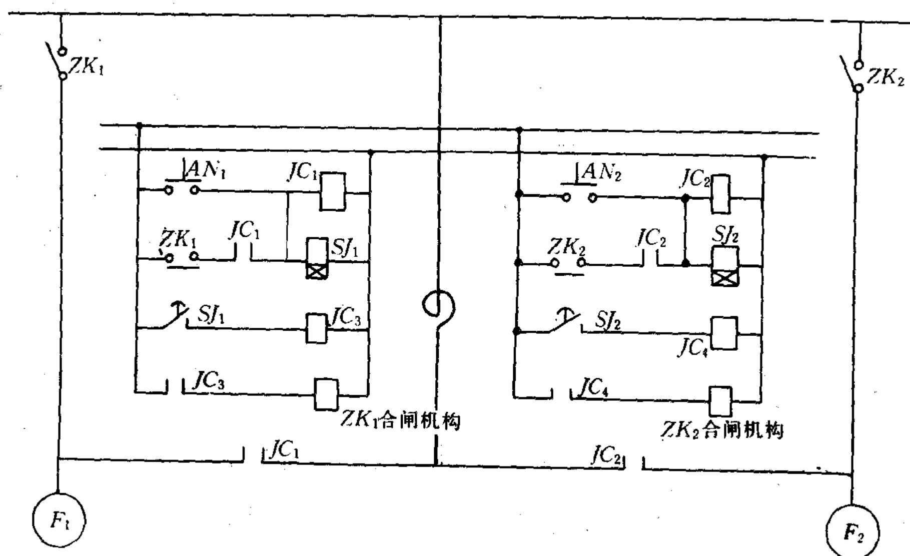


图 8.3.1—18 电抗器并车控制电路图

采用电抗器同步法并车其控制电路见图 8.3.1—18 所示。假设 F_1 为运行的发电机，F_2 为

待并发电机。当F_2的电压，频率调整接近F_1时，只要按下并车按钮AN_2则接触器JC_2获电，其副触头闭合自保，主触头闭合使F_2通过并车电抗器DK与电网接通。与此同时，时间继电器SJ_2获电，经延时(6～8)S，SJ_2触头闭合使JC_4获电，其常开触头闭合接通ZK_2的合闸机构使ZK_2合闸，F_2投入并联运行。与此同时，主开关ZK_2的常闭副触头断开、使JC_2失电从而使电抗器切除，SJ_2失电复位，整个电抗器同步并车完毕。

7.3 直流发电机并车方法及负载转移和分配

7.3.1 直流发电机并车条件和方法

直流发电机并车必须满足如下两条件

1)待并发电机的正负极应与同极性的汇流排相接、即电压的极性要相同不得接反；

2)待并发电机空载电压与汇流排电压数值相等时才可并车。实际上根据经验，待并发电机空载电压比汇流排电压高(3～5V)则更容易并车。

7.3.2 并车方法和步骤

图8.3.1—19所示为两台并励直流发电机并车原理图

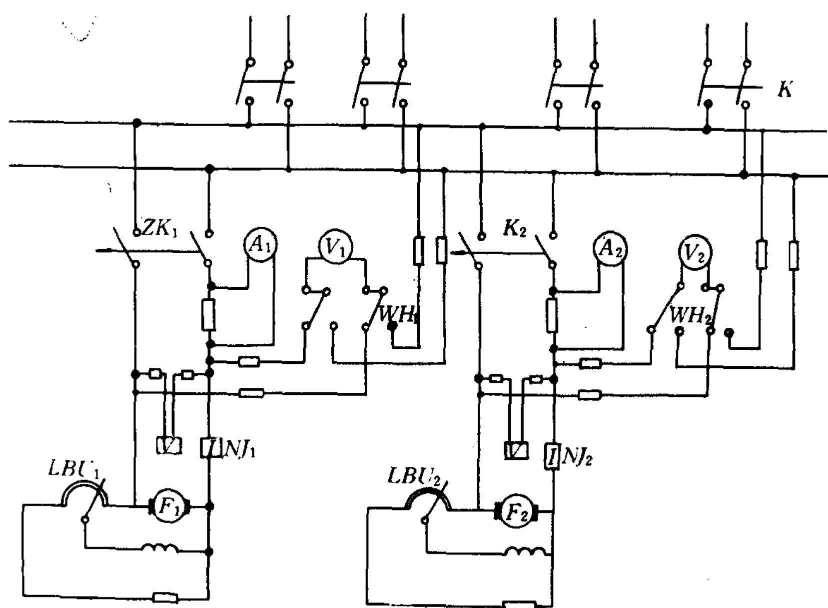


图8.3.1—19 并励直流发电机并联原理图

假定发电机F_1已在某一负载下工作，因负载的增加需将发电机F_2接入汇流排并联运行。这时起动F_2的原动机使F_2达到额定转速，然后调节发电机F_2的断开式励磁变阻器LBU_2，使F_2的端电压比汇流排电压稍高一些便可停止调节。在闭合自动空气开关ZK_2以前，应检查F_2两端电压极性是否和汇流排极性相同。这一工作是通过转换开关WH_2实现的。如果联接无误就可合上ZK_2将发电机F_2接入汇流排完成了并车操作。

7.3.3 负载转移和分配

参看图8.3.1—19当发电机F_2并入汇流排后，由于它的空载电压和汇流排电压近似相等，所以F_2的负载电流很小近似为零。要使被并发电机F_2与原运行发电机F_1共同分担接在汇流排上的负载，就需要进行负载转移。改变发电机的负载(即改变它的输出电流)是通过改变发电机的电动势来实现的，因此只要改变发电机的励磁电流就可以改变主磁通中，从而达到改变电动势($E=C_e n\Phi$)的目的。

负载转移的过程：调节F_2的励磁变阻器LBU_2，使其向电阻减小的方向移动，于是F_2的激磁电流增大，电动势增加，随着电动势的增加负载电流也跟着增加。与此同时增加原运行发电

机 F_1 的励磁电阻(调节 LBU_1),使原运行机组 F_1 的电动势减小,输出电流也就随之减小,一直调节到两台发电机的输出电流大致相等或按功率大小成比例地分配为止。在调节过程中要注意观察各机组的电流表和汇流排电压表。使得被并机 F_2 电流增加速度与 F_1 电流减小速度相一致,这样汇流排电压才不会造成大的波动。如果要把发电机 F_1 退出并联运行(俗称解列),则应将 F_1 的负载电流全部转移到 F_2 上。转移的方法:增大 F_2 的励磁电流,减小 F_1 的励磁电流直到 F_1 的负载电流接近于零时就可以打开自动空气开关 ZK_1,使 F_1 脱离汇流排。要注意的是:当减少发电机 F_1 的电动势到低于汇流排电压时,它将从汇流排上取用电能而变成电动机,有可能造成全船停电事故。因此在调节励磁时要注意配电板上电压表的指示,不要使发电机的端电压小于汇流排电压。同时为了防止这种事故,在发电机电路中都装有逆流继电器见图8.3.1—19中 NJ_1 和 NJ_2 其动作电流整定值为 $-15\%I_e$。

7.4 电力系统频率及有功功率调节

船舶交流电站负载的变化将引起电站发电机组转速的变化,因而使电网频率也发生变化。当电网频 率降低时,泵和风机电动机的转速下降,它们在单位时间内的送油、送水和送风量也相应减少,使原动机的工作不正常效率降低,使起货机、锚机等转速降低,延长装卸和起锚的时间。当频率高于额定值时,电动机的转速上升,从而使 电动机输出功率提高,对电网要求供给的电能也增加,此外电动机变成过载运行。据上述情况可知:正常工作时要根据负载的增减经常调整电站原动机的转速,以保持电网频率的恒定和各发电机按比例或均匀分配有功负载。为此设有调频调载装置以调节原动机的油门或汽门的开度来调速。

7.4.1 电力系统频率变化的原因

发电机电压频率和原动机的转速 n 的关系为:$f=pn/60$,其中 p 为发电机的极对数。发电机运行时其转矩平衡方程式可表示如下:

$$M_q=M_F+\Delta M+J\frac{dn}{dt} \quad (8.3.1—32)$$

式中:M_q —— 原动机的驱动力矩,N·m;

M_F —— 发电机负荷的阻力矩,N·m;

ΔM —— 机械和电气损耗,N·m;

J —— 机组的转动惯量,N·m/s。

功率和力矩的关系为:

$$P_*=M_*\cdot N_* \quad (8.3.1—33)$$

当转速 N_*(下角表示标么值)接近于1时、力矩的标么值 M_* 可以足够准确地用相对的功率标么值 P_* 来表示:

$$P_{q*}=P_{F*}+\Delta P_*+T_C\frac{dn_*}{dt} \quad (8.3.1—34)$$

式中:T_C —— 机组的惯性时间常数。

原动机功率 P_q 决定于柴油机的喷油量,当此功率与发电机的负载功率和机、电损耗平衡时,$\frac{dn}{at}=0$,即转速(频率)是恒定的。当功率平衡被破坏时:如突增或突减某些负荷即 P_F 增加(或减少)时、油门尚未变化,即 P_q 未变这就出现$\frac{dn}{at}<0$(或$\frac{dn}{dt}>0$)而导致频率下降或升高。若频率变化时不相应改变原动机喷油量,则频率的变化将使电力系统不能正常运行。

频率也是电能质量的重要指标之一。原动机组总是设计在额定转速时具有最高的效率。转速(频率)对额定值的偏差若太大,则对发电机和用电部门都会带来不良影响。

7.4.2 调速器的基本原理及特性

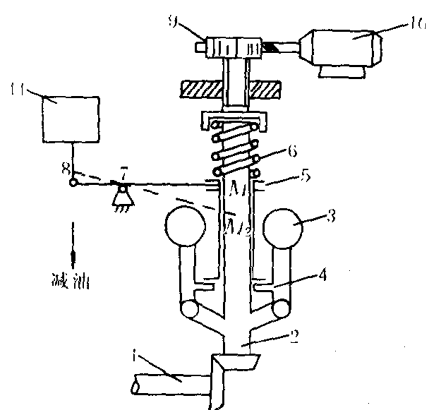


图 8.3.1—20 调速器结构原理图

1—柴油机传动轴;2—旋转轴;3—测量飞铁;4—顶爪;5—传动滑套;6—比较弹簧;7—执行杠杆;8—拉杆;9—传动轮;10—伺服机;11—油门

1)调速器结构及动作原理见图8.3.1—20。

调速器由测量机构飞铁3、传动机构滑套5、比较机构弹簧6、执行机构杠杆7和拉杆8所构成。柴油机的传动轴1将转速传到2使飞铁3绕轴2旋转。飞铁在离心力作用下,通过顶爪4将滑套5向上顶压缩弹簧6,直到与弹簧反作用力平衡。这时5将处于某一平衡位置。通过杠杆7,拉杆8使油门拉到一定的开度,机组即在一定转速下运行。调速器处于某一平衡状态。若由于负载减少机组转速升高,飞铁3离心力增大,使滑套5上移使油门减小,其转速被阻止进一步升高,直到滑套5不再上移。到此调速器得到了一个新的平衡状态使机组稳定在另一个转速下逆行。若由于负载增加则转速降低飞铁的离心力变小,滑套下移加大油门阻止了转速进一步下降。最后又得到一个新的平衡状态,这叫做调速器的一次凋整。通过伺服电动机经过蜗轮蜗杆传动,可将弹簧6事先压紧到一定的程度,这称为"预紧"。预紧力越大滑套越被压向下移,对应油门开度越大。反之越小。如果需要保持频率(转速)不变加大输出功率时,可以加大弹簧预紧力。此时油门加大,输出功率也就增加。总之加大预紧力可以使输出功率增加其频率也可升高,而减小预紧力则相反。这种调节称为频率的二次调整。实质是使调速特性上下平移见图8.3.1—21。

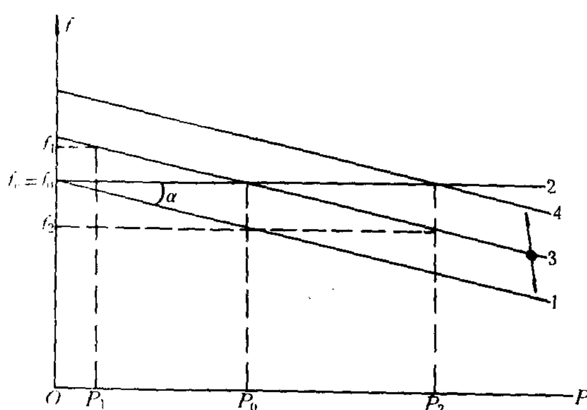


图 8.3.1—21 调速器特性平移

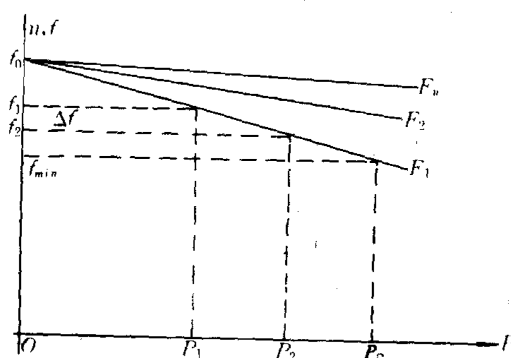


图 8.3.1—22 调速器有差特性

2)调速器的特性

在调速器的自动调节下,机组的转速(频率)随有功功率的变化而变化的关系称为发电机组的(静态)调速特性,见图8.3.1—22。曲线F_1、F_2……F_n表示不同调速器的调速特性,由于转速n(或频率f)随负荷功率P的增加而下降,所以称为下倾的有差调速特性。如果转速不随负荷功率变化则称无差调速特性。船用发电机一般采用有差特性的调速器。

对有差调速特性其特性曲线的斜率即可反映调差系数 K_c 的大小，K_c 越小则特性曲线越平坦，反之越陡。当负载变化量一定时，K_c 较小的机组其频率变化量 Δf 相对较小。当频率变化量一定时，K_c 较小的机组其功率变化量相对较大。当负载突变时机组在调速器的作用下，从一个稳定状态变化到另一个稳定状态期间，转速随时间变化的规律称为动态调速特性，见图 8.3.1－23。

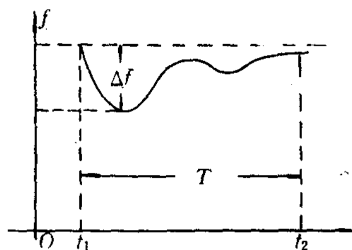


图 8.3.1－23　动态调速特性

Δf－瞬时频率变化最大值；T－恢复时间(应不大于 7S)；$\frac{\Delta n}{n}$100％－瞬时调速率(应在 10％以内)

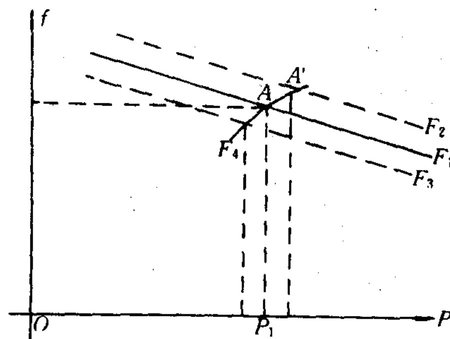


图 8.3.1－24　调速特性平移

7.4.3　单机运行频率调整及特性平移

当发电机负荷变化时，由于调速器的作用能自动地调节油门的大小，从而维持发电机的转速(频率)在一定范围内。由于是有差特性所以频率并不是恒定的。若维持额定频率必须适当调节调速器的预紧力改变油门的大小。这个调节反映在坐标平面上就是人为地将调速特性曲线上下平移，其调速特性见图 8.3.1－24。

图中曲线 F_1 对应负载为 P_1 时的频率为 f 和 A 点。若在同一负载下使频率升高，则应使油门加大，即加大弹簧的预紧力。这时 A 点将沿负载的 f－P 关系曲线 F_4 上升到 A′点，也就是使整个曲线 F_1 将沿负载的 f－P 曲线向上移到曲线 F_2。若减小预紧力则特性曲线下移到曲线 F_3。例如在单机运行时手动调频的情况见图 8.3.1－25。

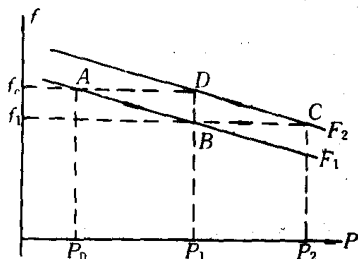


图 8.3.1－25　单机运行手动调频情况

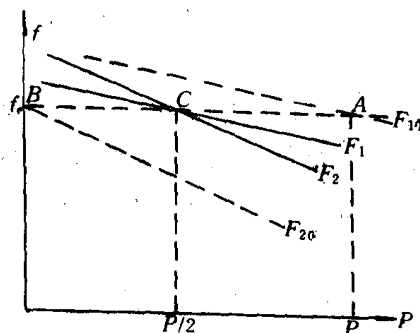


图 8.3.1－26　并联机组功率转移分配

当发电机运行于特性曲线 F_1 时，负载功率为 P_0，频率为额定值 f_e，如图 8.3.1－25 中的 A 点。若负载增加到 P_1，在调速器作用下机组将沿特性曲线 F_1 中的 A 点变化到 B 点。这时对应

的频率为 $f_1 < f_e$。为了保持频率额定，就要增加预紧力，加大油门使特性 F_1 抬高到特性 F_2。由于惯性机组频率(n)不能立即变化，频率仍为 f_1。但这时已运行于特性 F_2 上的 C 点，对应于机组的输出功率为 P_2，而 $P_2 > P_1$ 其剩余的功率使机组加速(沿特性曲线 F_2)，即频率由 f_1 上升、其剩余功率减少最后达到平衡。此时在新的特性曲线上将有相应的平衡点。只要适当地移动特性曲线就可以获得 D 点，从而实现频率的调整。

7.4.4 并联机组间功率转移分配的控制

见图 8.3.1－26，1 号发电机正常运行于特性 F_{10} 的 A 点，其对应于 f_e 和 $P_1 = P$。新并入 2 号发电机空载运行于特性 F_{20} 的 B 点，其对应于 f_e 和 $P_2 = 0$。现将 1 号发电机的负载转移一半给 2 号发电机，这可通过手动控制来完成。

首先增大 2 号发电机的油门使特性 F_{20} 向上平移到特性曲线 F_2；同时减小 1 号发电机的油门使特性 F_{10} 向下平移到特性曲线 F_1 且与特性曲线 F_2 交于 C 点。F_1 和 F_2 的交点 C 说明两台发电机的频率均为 f_e，并各自分担功率为 P/2。以后就由调速器一次调整自动稳定功率分配，并调节电网频率。

8 船舶同步发电机电压及无功功率的调节

8.1 同步发电机电压变化的原因后果和调压措施

当负载变化时由于电枢反应的作用必然引起发电机端电压的变化，这可由同步发电机的电势相量图 8.3.1－27 和平衡方程式表示出来；

$$\dot{U}_f = \dot{E}_0 - j\dot{I}_f x_t \qquad (8.3.1-35)$$

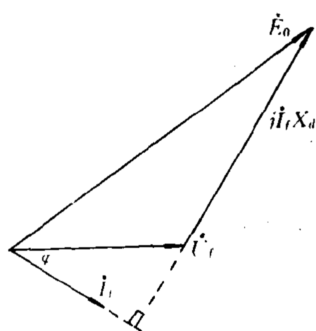


图 8.3.1－27 电势相量图

式中：U_f ——发电机端电压，V；

E_0 ——发电机空载电势，V；

$\dot{I}_f$ ——发电机定子电流，A；

X_t ——发电机同步电抗，Ω。

由图 8.3.1－27 或式(8.3.1－35)可见：如果 E_0 不变。当 $\dot{I}_f$ 的大小或性质变化时必将引起 U_f 变化。发电机电压的变化对整个电力系统的运行都很不利。若电压偏低使电流增加，电机发热；若电压下降 10%则电动机的 M 下降至 81%；电灯的光通量下降至 70%。电力系统稳定受到影响。若电压偏高则使设备寿命下降，电动机起动电流增大等等。因而维持发电机端电压在一定水平是很重要的。由电势方程式(8.3.1－35)可见，当 $\dot{I}_f$ 变化时，若保持 U_f 一定，唯有随之相应改变发电机的电势 E_0。因为：$E_0 = 4.44fW\Phi_m$。当 W_f 为常数时，E_0 与 Φ_m 成正比。要改变 E_0 只有改变 Φ_m，而 Φ_m 由励磁电流 I_L 产生。故当 I_f 变动时保持 U_f 恒定，必须相应调整发电机的励磁电流 I_L，以补偿电枢反应的影响。这可通过自动电压调整器来完成。实质就是自动调整励磁电流 I_L。调整器又称为自动调节励磁装置。

8.2 自动电压调整器的作用

自动电压调整器的作用不紧维持发电机端电压于一定水平，它还有以下各方面的作用：

1)提高电力系统同步发电机并联运行静态稳定性。

2)在事故情况下强行励磁,提高发电机并联工作的稳定性。

3)加速短路后电压恢复速度,提高电动机运行的稳定性和改善电动机自起动条件。

4)合理稳定的分配发电机间无功功率,保证发电机并联运行的经济性、稳定性。

5)当并联运行中一台发电机失磁时,可使其短时间内异步运行。

6)并车易于进行,缩短并车时间。

7)提高在故障时具有时限的继电保护装置动作的正确性等。

8.3 对调压器的基本要求

基本要求是:简单可靠;灵敏而稳定,保证电压为给定水平,调整迅速而稳定快;有一定强励能力,同样有效地反映电压的下降和电流的增大,合理地分配无功功率等。

1)静态和动态特性

按规范规定:交流发电机组当负载及功率因数为额定值,原动机为额定转速,发电机的电压与额定电压相差在±1%以内,在发电机的负载自满载到空载,再自空载到满载的范围内均匀或急剧地变化时,发电机静态电压调整率不应超过额定电压的±2.5%。

对动态电压调整率要求:按规范规定,在负载及其功率因数为额定值,原动机为额定转速时,突卸和突加50%额定电流及功率因数不超过0.4(滞后)的对称负载的情况下,其瞬态电压变化率应不超过额定电压的±15%,而电压恢复到与最后稳定值相差3%以内所需的时间不超过1S。

发电机的静态电压变化率按下式计算:

$$\Delta U\% = \frac{U_{max}(\text{或}\ U_{min}) - U_e}{U_e} \times 100\% \qquad (8.3.1-36)$$

式中: U_e ——发电机的额定电压U;

U_{max}、U_{min}——在规定的负载变化范围内发电机电压的最大值和最小值U。

发电机的动态电压变化率按下式计算:

$$\Delta U'\% = \frac{U'_M - U_0}{U_e} \times 100\% \qquad (8.3.1-37)$$

式中:U'_M ——动态过程中最高或最低电压V;

U_0 ——突卸或突加负载前电压U;

U_e ——额定电压V。

2)强行励磁

为提高发电机并联工作稳定性和电动机运行稳定性,以及继电保护动作的准确性和动态稳定性,因此要求调压器应具有一定的强行励磁能力,这可用强行励磁倍数和发电机电压上升速度来表示。强行励磁倍数K_q是指在强行励磁时,其励磁电流I_{Lq}与额定励磁电流I_{le}的比值;

$$K_q = \frac{I_{lq}}{I_{le}}$$

一般取$K_q = 2 \sim 3$即$I_{lq} = (2 \sim 3) I_{le}$。

发电机电压上升速度可用在某一小段时间内发电机感应电势变化的平均速度V_p来表示,即$V_P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$,见图8.3.1—28所示。

根据电势平均上升速度的概念,V_p值可以用直线O'_a的倾斜角α_1的正切来表示,即:

$$V_P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = tg\alpha_1$$

提高电压上升速度也是很重要的，若提高强行励磁顶值，则可以提高电压上升速度如直线 O'_b 所示。

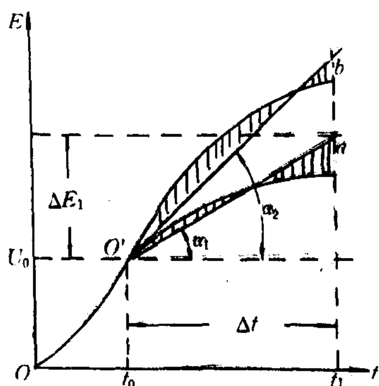


图 8.3.1—28　发电机感应电势变化

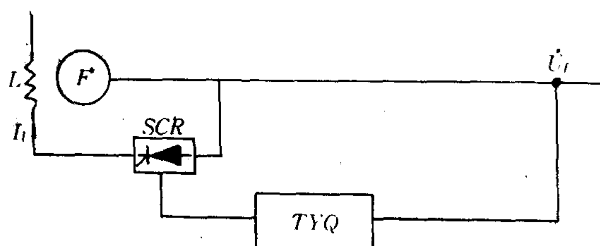


图 8.3.1—29　按 ΔU_f 调压的调压器方框原理图

3)放大系数

调压器的放大系数 K_f 是被调量的变化量与被测量的变化量的比值。合理取 K_f 的数值，对调压器完成它所担负的任务也是很重要的。

8.4　自动调压器的基本原理

近代船舶同步发电机的自动调压器，按其被测量不同在原理上可分为三大类。

1)按发电机电压偏差 ΔU_f 进行比例式调节的调压器见图 8.3.1—29，其被测量是一个比例于发电机端电压 U_f 的信号，经调压器 TYQ 调整励磁电流构成一闭环调整系统，它的静态特性较好。

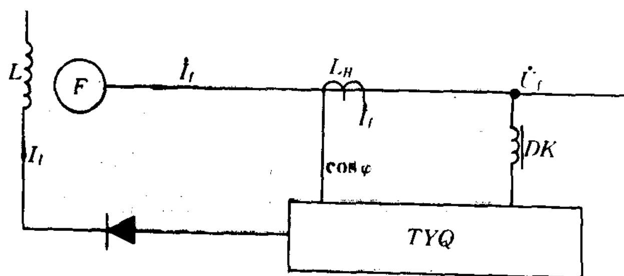


图 8.3.1—30　按 I_f 和 cosφ 调压的调压器原理图

2)按 I_f 和 cosφ 进行调节的调压器见图 8.3.1—30，其被测量是比例于发电机定子电流 I_f 和功率因数 cosφ 的信号，经调压器 TYQ 调整 I_l 和 U_f。由于是一个被测量和被调量不同的开环的调整系统，所以从原理上讲其静态特性较差。被测量 I_f 和 cosφ 的变化，是引起 U_f 变化的

……U_f变化及由I_f和cosφ变化去进行……
……而直接的原因。因为由I_f和cosφ变化而引起……好的。这种调压器称为不可控相复励
几乎是同时发生的，所以从原理上讲它的动态特性是比较……
……调压器。

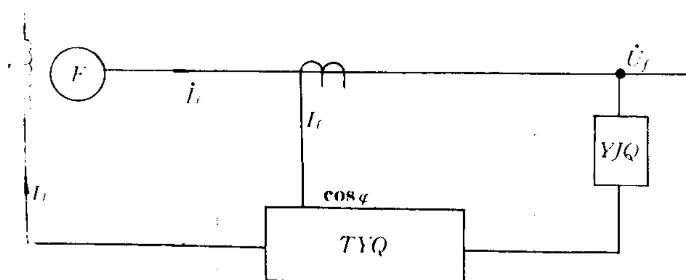


图 8.3.1－31　按$I_f$cosφ 和ΔU_f调整的调压器原理图

3)按$I_f$cosφ……和ΔU_f进行调整的调压器，其原理方框图见……图 8.3.1－31。调压器同时引入I_f和cosφ及……ΔU_f为调整信号，则励磁电流I_L即按I_f和cosφ的偏差数，又按ΔU_f大小进行调整，主要以 TYQ 进行动态调压，以电压校正器 YJQ 进行静态调压。显然它具有以上两种优点。原理上可使静态和动态特性都比较好，这种调压器称为带电压校正器的相复励调压器，也叫可控相复励调压器。

8.5　调压器的分类

1)带旋转直流励磁机；(1)碳阻式；(2)磁放大器式；(3)相复励式。

2)不可控相复励；(1)电抗移相式；(2)电容移相式；(3)谐振式；(4)定子辅助绕组式；(5)磁分路；(6)曲折联接。

3)可控相复励(带校正器)；(1)控制变压器变比；(2)控制励磁的交流侧分流；(3)控制励磁的直流侧分流。

4)晶闸管整流励磁(1)无电流复合；(2)有电流复合。

5)三次谐波励磁：(1)简单三次谐波；(2)基波和三次谐波绕组混合励磁；(3)混合励磁带校正器。

6)无刷发电机：(1)带交流励磁机；(2)带变频机；(3)混合励磁；(4)晶闸管整流励磁。

8.6　自励同步发电机自励起压基本原理

自励同步发电机的励磁电流是由同步发电机本身的定子电流经过整流元件供给。自励同步发电机自励回路的单相原理见图 8.3.1－32a)所示。这种自励同步发电机在船舶上得到广泛应用。

自励同步发电机的起压特性曲线见图 8.3.1－32b)所示。其曲线 1 为发电机的空载特性曲线$U_{f0}=f(I_L)$；曲线 2 为自励回路的理想励磁特性曲线$I_L=f(U_f)$。由于转子磁极上留有剩磁，当发电机转子转动后在发电机定子绕组将感生剩磁电压U_s见图 8.3.1－32b)所示。U_s加在自励回路上。经整流器 ZL，在发电机励磁绕组 L 中产生励磁电流I_{l1}，I_{l1}在发电机定子绕组中感生电压U_{01}。U_{01}通过自励回路在 L 中又产生I_{l2}。I_{l2}又感生更高电压U_{02}。如此循环构成正反馈，使发电机空载电压提高，最后达到交点 A 稳定，得到发电机空载额定电压U_{f0}；由上述可知：自励同步发电机要正常自励起压必须满足两条：(1)必须要有足够大的剩磁电压U_s(2)必须适当整定自励阻抗使励磁特性与空载特性配合恰当，正好相交正常空载额定电压U_{f0}处。

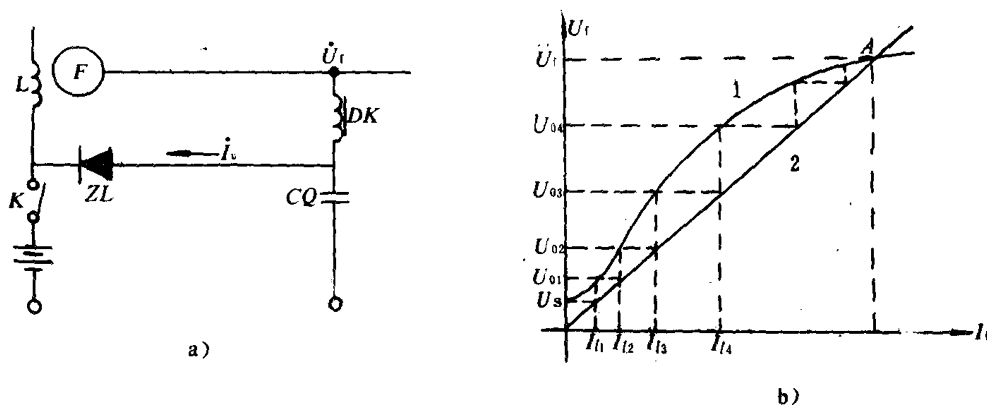


图 8.3.1—32　自励同步发电机自励起压单相电路图
a)自励回路单相原理图；b)起压特性曲线

8.7　不可控相复励恒压基本原理

同步发电机建立正常空载电压 U_{f0} 之后，当在负载下运行时由于电枢反应的去磁作用和内部阻抗压降，其端电压 U_f 必然要降低，如图 8.3.1—33 中 $U_f=f(I_f)$ 的曲线 1 所示，因此必须采用恒压措施。既然是负载电流 I_f 变化引起了发电机端电压 U_f 的变化，所以可利用 I_f 进行复式励磁的方法来调整。U_f 的变化与 I_f 和 cosφ 的大小有关，所以调压器还需能补偿 cosφ 的变化引起 U_f 的变化。这就要进行所谓的相复励，见图 8.3.1—34。

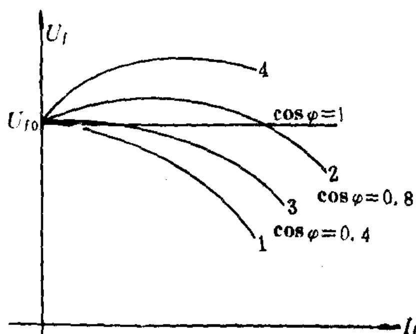


图 8.3.1—33　同步发电机外特性

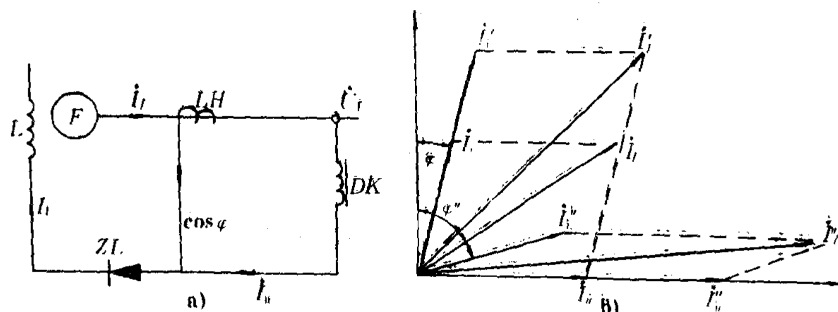


图 8.3.1—34　不可控相复励恒压原理图
a)恒压电路；b)相复励相量图

励磁电流的电压分量 $\dot{I}_u$ 和电流分量 $\dot{I}_i$，是在交流侧相量迭加，故可反映相位关系。电压分量 $\dot{I}_u$ 与 U_f 有关，电流分量 $\dot{I}_i$ 反映 $\dot{I}_f$，所以它们的合成电流 $\dot{I}_l=\dot{I}_i+\dot{I}_u$ 直接反映出随 I_f 和 cosφ 的变化而进行调压。为此必须在自励回路中接入电抗或电容将自励回路中的电流移相 90°。移相

电抗器 DK 具有这个作用。

$\dot{I}_l$ 经 ZL 整流之后便是发电机的励磁电流 I_L，上述相复励自励恒压系统是符合于 U_f 变化和调压规律的。当 I_f 增加引起 U_f 下降时，同时将使 $\dot{I}_i$、$\dot{I}_l$ 增加为 $\dot{I}_i'$ 和 $\dot{I}_l'$ 以提高 U_f，达到调压之目的。当 cosφ 下降引起 U_f 下降时，同时将使 $\dot{I}_l$ 增加为 $\dot{I}_l''$、以提高 U_f、达到调压之目的、反之亦然。

8.8 电磁迭加相复励自励恒压装置

不可控谐振式自励恒压装置的典型线路见图 8.3.1—35，它主要由下列元件构成：

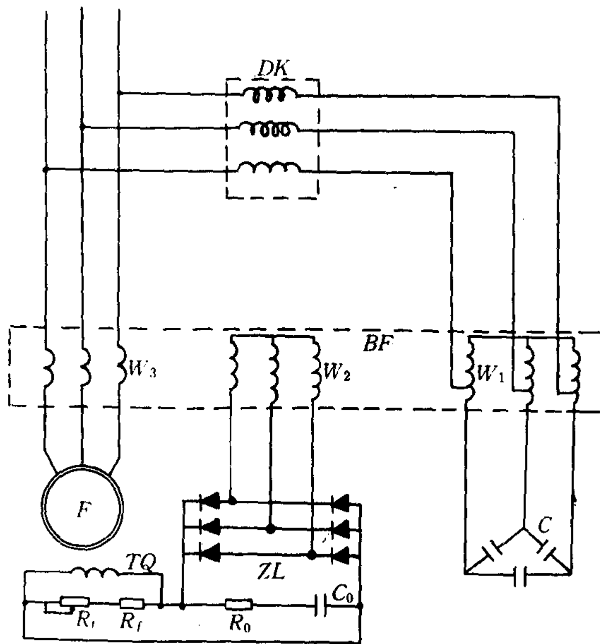


图 8.3.1—35 电磁迭加相复励自励恒压装置线路图

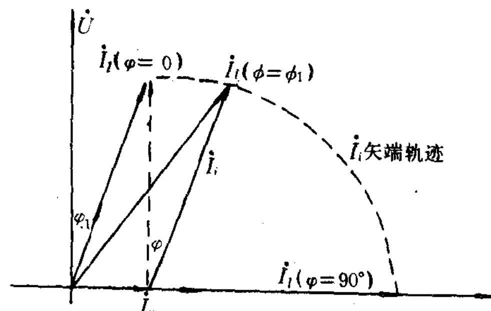


图 8.3.1—36 励磁电流相量图

BF ——三绕组相复励变压器；R_0C_0——阻容保护；

C ——三相谐振电容器；ZL——三相桥式整流器；

DK——三相线性电抗器；

线路具有电压和电流二个输入回路 W_1 和 W_3。和一个输出回路 W_2。在对应于某个状态时可以认为电压和电流回路输入了二个具有相同频率固定振幅和相应相位的电压源和电流源，发电机的励磁电流就是由这个电压源和电流源共同作用提供的：即 $\dot{I}_l=\dot{I}_u+\dot{I}_i$。由于 $X_{DK}>>R_{DK}$，空载分量 $\dot{I}_u$ 落后于发电机端电压 $\dot{U}$90°，而复励分量 $\dot{I}_i$ 与负载电流成比例，它与发电机端电压 U 之间的夹角即为功率因数角 φ。从图 8.3.1—36 的相量关系看出：$\dot{I}_l$ 随功率因数角 φ 的增大而增大，这就补偿了电枢反应的去磁作用，使发电机电压得到恢复。另外调压器还必须能补偿由于负载性质变化对电压波动的影响。从图 8.3.1—36 看出：当 φ=0°时其合成励磁电流为 $\dot{I}_l$(φ=0°)；当 $φ=φ_1$ 时其合成励磁电流为 $\dot{I}_l(φ=φ_1)$；当 φ=90°时，其合成励磁电流为：$\dot{I}_l$(φ=90°)。当 φ 角由 0°增加到 90°时、即功率因数 cosφ 由 1 下降到 0 时，其合成励磁电流将由 $\dot{I}_l$(φ=0)增大到 $\dot{I}_l$(φ=90°)。由此可见采用线性电抗器 DK 作为复励阻抗的自励恒压装置是可以补偿因功率因数的变化所引起的电压变化。谐振电容 C 的作用：适当地选择 C 与 DK 的参数，可

使励磁回路在发电机频率接近额定频率时($W_0=W_e$)产生串联谐振，使电容器两端产生较高电压，这个电压加在电压绕组 W_1 上，使发电机电压能够很快地建立起来。电压建立之后、谐振电路脱离了谐振状态，发电机进入正常运行。此外谐振电路还有温度和频率补偿作用。

8.9 调压器电路计算

为计算方便将电磁计算化为电路计算，对图 8.3.1－37 如忽略次要因素可仿效变压器中的折算方法。以折算前后功率不变的原理，将原边折算到副边后的各值为：

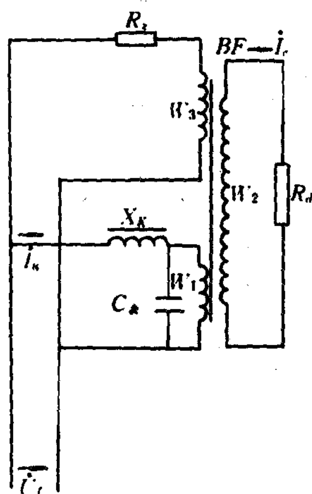
$$\because K_{12}=\frac{W_1}{W_2}=\frac{\dot{U}_f}{\dot{U}_f'} \qquad \therefore \dot{U}_f'=\frac{\dot{U}_f}{K_{12}}$$

$$\because K_{12}=\frac{W_1}{W_2}=\frac{\dot{I}_u'}{\dot{I}_u} \qquad \therefore \dot{I}_u'=K_{12}\dot{I}_u$$

$$\because K_{32}=\frac{W_3}{W_2}=\frac{\dot{I}_i'}{\dot{I}_f} \qquad \therefore \dot{I}_i'=K_{32}\dot{I}_f$$

$$\because \dot{I}_u^2X_k=I_U'^2X_k^1、\qquad I_u^2X_{c\lambda}=I_u'^2X_{c\lambda}^1$$

$$\therefore X_k^1=\frac{I_U^2}{I_u'^2}X_k=\frac{X_k}{K_{12}^2} \qquad X_{C\lambda}^1=\frac{X_{C\lambda}}{K_{12}^2}$$



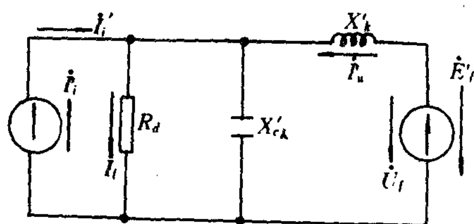


图 8.3.1－37 调压器的计算电路图　　图 8.3.1－38 简化后等值计算电路图

根据上述折算后的各值可以画出折算后的简化等值电路图 8.3.1-38，简化后的等值电路已把电磁关系变为电的关系，即把电磁迭加变成了电流迭加的形式。根据迭加原理分别可计算出自励分量和复励分量，最后算出调压器输出的励磁电流。

1)电压源单独作用时、则 $\dot{I}_i=0$ 此时在 R_d 中的电流为：

$$\dot{I}_{lu}=\dot{U}_f'/R_d(1-\frac{x_k'}{x_{c\lambda}'})+jx_k' \tag{8.3.1－38}$$

2)电流源单独作用时，则 $\dot{U}_f'=0$ 此时在 R_d 中的电流为：

$$\dot{I}_{li}=jx_k'\dot{I}_i'\frac{1}{R_d(1-\frac{x_k'}{x_{c\lambda}'})+jx_u'} \tag{8.3.1－39}$$

当两个电源共同作用时、在 R_d 中产生的电流为：

$$\dot{I}_l=\dot{I}_{lu}+\dot{I}_{li}=\frac{1}{R_d(1-\frac{x_k'}{x_{c\lambda}'})+jx'k}(\dot{U}_f'+jx_k'\dot{I}') \tag{8.3.1－40}$$

若用折算前的数值表示：

$$\dot{I}_L=\dot{I}_{lu}+\dot{I}_{li}=\frac{1}{k_{12}^2R_d(1-\frac{x_k}{x'_{c\lambda}})+jx_k}(k_{12}\dot{U}_f+jx_k\dot{I}_fk_{32})$$

$\dot{I}_l$ 的自励分量 $\dot{I}_{lu}$和复励分量 $\dot{I}_{li}$之相量和、$\dot{I}_{lu}$与发电机端电压 $\dot{U}_f$ 成正比并且 $\dot{I}_{lu}$滞后于 $\dot{U}_f$ 一个 φ_u 角。$\varphi_u=\text{anty}\dfrac{x_k}{k_{12}^2R_d(1-\frac{x_u}{x_{c\lambda}})}$。当 $x_k=x_{c\lambda}$，或 $X_k>>R_d$ 时，φ_u 近似 90°，$\dot{I}_{lu}$起着空载自励起压和相复励的作用；I_{li}与发电机负载电流 $\dot{I}_f$ 成正比，并且当 $X_k=X_{c\lambda}$或 $X_k>>R_d$ 时，$\dot{I}_{li}$与 $\dot{I}_f$ 同相位，即 $\dot{I}l_i$ 滞后于 $\dot{U}_f$ 一个功率因数角 φ，$\dot{I}\,l_i$起着补偿电枢反应进行相复励的作用。根据上述关系可画出其相量图 8.3.1－39。

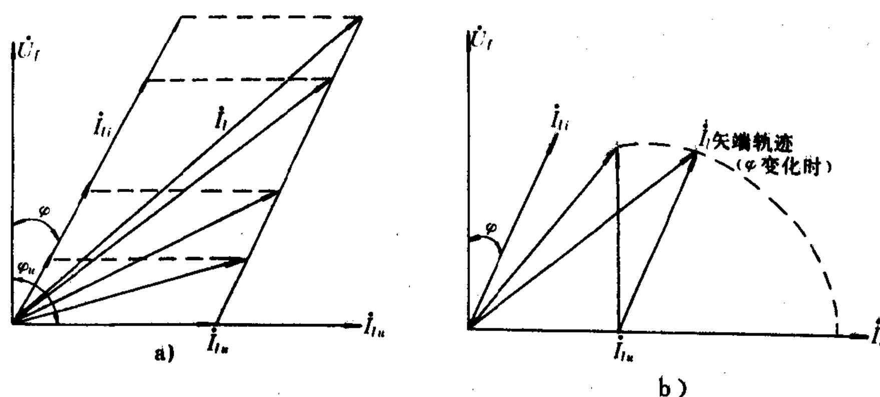


图 8.3.1－39　励磁电流 $\dot{I}_l$ 相量图

a)$\dot{I}_l$ 随 $\dot{I}_{li}$变化相量关系 $\dot{I}_l$ 随 φ 角变化相量关系；　b)$\dot{I}_l$ 随功率因数变化及 $\dot{I}_{li}$变化相量轨迹

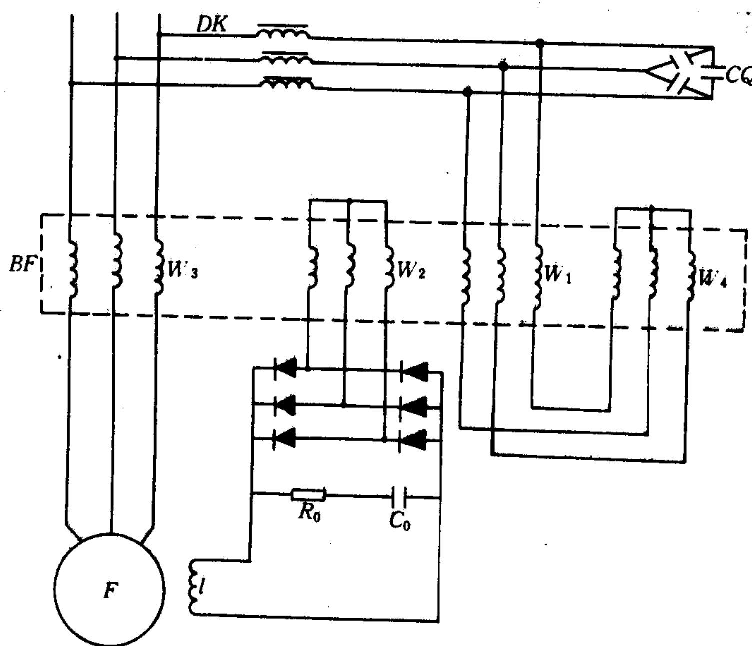


图 8.3.1－40　电磁迭加具有电压曲折绕组相复励恒压装置原理图

当负载电流 $\dot{I}_f$ 的大小或功率因数 φ 变化时其输出电流 $\dot{I}_l$ 相量的轨迹见图 8.3.1－39b)。

它基本符合发电机恒压时要求励磁电流变化的规律，只要适当选择参数，即可达到相复励的目的。

8.10　电磁迭加具有电压曲折绕组的自励恒压装置

1）电磁迭加具有电压曲折绕组相复励自励恒压装置的原理接线见图 8.3.1－40。

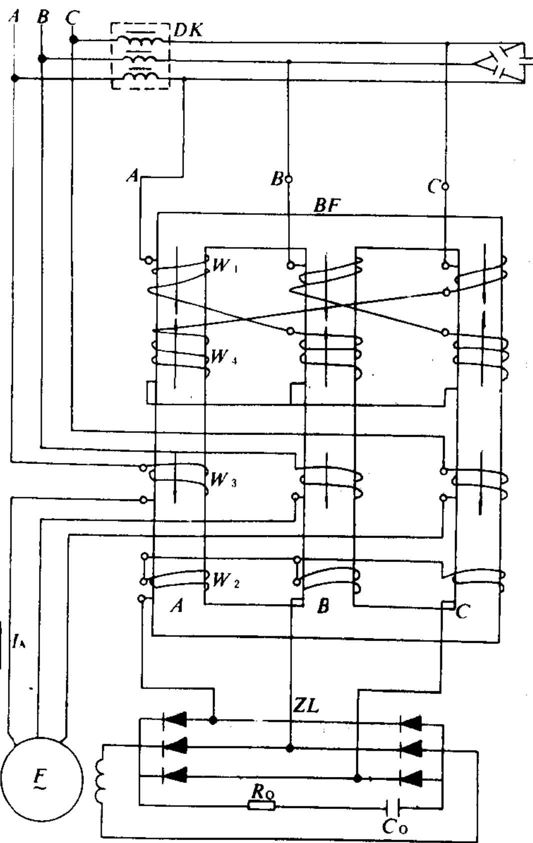


图 8.3.1－41　四绕组相复励原理结构图

为了提高调压器的静态特性，使发电机的励磁调整特性更接近发电机的调整特性，因此广泛采用此种自激恒压装置。在四绕组相复励变压器 BF 中，各绕组的绕向及联接方法与三绕组相复励相同，区别紧在于 BF 中多了一套绕组 W4。所以称为四绕组相复励装置。W4 称为电压曲折绕组，由图 8.3.1－41 可见，W_1 与 W_4 在同一个三相铁芯柱 A、B、C、上，W1 的三相 ABC 分别与 W_4 的三相 B、C、A 反接串联。“曲折”联接的规律就是 W1 总是与滞后相铁芯柱上的 W_4 反接串联。W_4 的作用是进一步加强功率因数变化时的相位补偿，提高调压器的静态特性精度。

2）作用原理

现在可用画相量图的方法加以说明 W_4 的作用。现在以 A 相铁芯柱上的绕组为例分析其输出电流相量 $\dot{I}_1$ 随负载功率因数 $\cos\varphi$ 而变化的矢端迹见图 8.3.1－42。

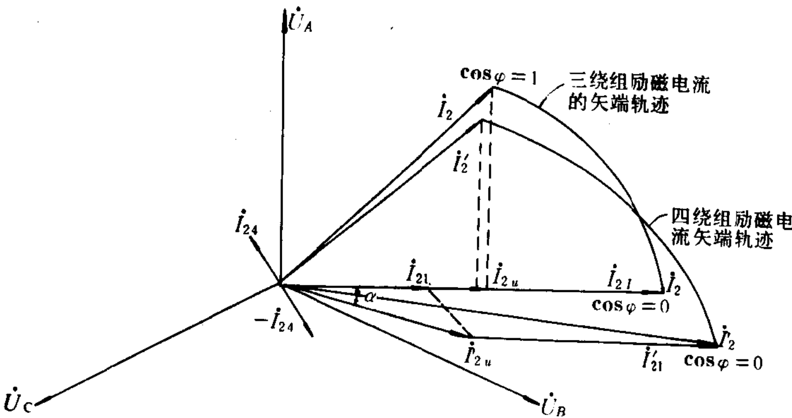


图 8.3.1－42　$\dot{I}_1$ 随 $\cos\varphi$ 变化的矢端轨迹

根据电压相量 $\dot{U}_A$ 画出滞后 90°的 W_1 绕组供给的电压分量励磁电流 $\dot{I}_{21}$，再根据 $\dot{U}_c$ 画出

滞后90°的径 W_4 绕组供给的电压分量励磁电流 $\dot{I}_{24}$，因为 W_1 与 W_4 是反串联接，所以用 $-\dot{I}_{24}$ 相量与 $\dot{I}_{21}$ 相量相加得到总的电压分量励磁电流 $\dot{I}'_{2u}$。把 $\dot{I}'_{2u}$。与 $\dot{I}_{2u}$ 与某一功率因数时的电流分量励磁电流 $\dot{I}_{21}$ 相量相加就得到总的曲折联接四绕组励磁系统输出的励磁电流 $\dot{I}'_2$。由图 8.3.1−41 可见，三绕组系统的空载励磁电流与四绕组系统的励磁电流相位相差α角（一般为5～15°）。适当增加复励分量使 $\cos\varphi=0.8$ 时，两个系统励磁电流相等。这可使 $\cos\varphi=1$ 时励磁电流 $\dot{I}_2$ 减少到 $\dot{I}'_2$，而在 $\cos\varphi=0$ 时的励磁电流由 $\dot{I}_2$ 增加到 $\dot{I}'_2$，这就使合成的励磁电流的相量箭头的变化轨迹接近椭圆形，使励磁特性得到改进。这说明四绕组比三绕组复励的调压精度高。一般四绕组相复励的静态电压调整率在±2%左右。

3）安装调试及维护保养和故障排除

（1）对电流及电势迭加的相复励

①电流互感器 LH 原副边同各端必须一一对应。

②电抗器 DK 及 LH 的对应相必须一一对应，否则达不到相复励的目的。

（2）对电磁迭加相复励

①相复励变压器 BF 中电压绕组 W_1 和电流绕组 W_3 对应的同各端及对应相不能接错。

②具有电压曲折绕组时，电压基本绕组 W_1 必须与其滞后相的电压曲折绕组 W_4 反接串联。

（3）调试

①空载调整：当空载电压低于正常空载电压时，减少 DK 匝数，以降低 DK 之电抗值 X_k；或增大 DK 气隙，以减小 X_k 值；或增加 W_1 匝数，以增加磁势 F_u。

②当空载电压高于正常空载电压时与上述反之。

（4）负载调整

当发电机电压 U_f 低于发电机额定电压 U_{fe} 时：

①增加 W_3 匝数以增加磁势 F_u；

②减少 W_2 匝数以提高 $\dot{I}_1$。当调整 W_2 时，则空载还要重调。当 $U_f>U_{fe}$ 时与上述反之。具有 W_4 时、当 $\cos\varphi$ 在较大范围内变化，若精度太低可适当调整 W_4。

（5）典型故障排除（见表 8.3.1−21）

表 8.3.1−21　**典型故障排除表**

故障现象	可能原因	排除方法
在额定转速下仍不起压或电压很低	1.无剩磁或很小	进行充磁
	2.极性不对	检查极性，加以改正
	3.电刷接触不良或滑环不清洁	更换电刷或清洁滑环
	4.硅整流器被击穿	更换硅整流管
	5.DK 电抗 X_k 值太大	减少 DK 匝数或增大 DK 气隙减小 X_k 值
负载运行时电压突然下降	1.一只硅整流被击穿	检查硅整流器各管，更换整流管并焊接好
	2.谐振电容被击穿	检查各电容有无击穿，加以更换
	3.阻容保护回路短路	将短路排除，重新接好
	4.DK 或 BF 内部短路	更换 DK 或 BF
	5.一只硅整流器开路	接头焊好（开路处）

续上表

故障现象	可 能 原 因	排 除 方 法
电压不稳	1.接头松脱	接头焊好
	2.接线有开路，短路处	将开路或短路查出排除

(6)维护保养

①发电机运行时，调压系统各回路禁止开路或换接；

②系统失灵时应停止；

③由于滑环腐蚀现象使负极比正极滑环磨损厉害，则隔一定时间要把两极电刷位置调换一次，以改变两滑环极性，然后就要按电刷极性进行充磁；

④每月将电机内部积灰吹净，测量绝缘，测量运转温度，根据火花情况调整电刷压力及电刷架，检查轴承润滑油及温度。

8.11 可控相复励自励恒压装置

该装置主要包括两大部分。其一是相复励自励恒压装置，其二是晶闸管直流分流的电压校正器，见图 8.3.1－43。从原理上讲该装置就是在按 $\dot{I}_f$ 进行不可控相复励调压的基础上又加上按 ΔU_f 进行调压的电压校正器。所谓可控就是指有电压偏差的校正。相复励自励恒压装置的主要作用是实现自励起压，并担负动态电压调整使其动态特性好。电压校正器的作用主要是担负静态电压调整，进一步提高电压调整精度。

图 8.3.1－43 可控相复励自励恒压装置原理图

8.11.1 TZ－F 型可控相复励恒压装置原理分析

该装置可分为两大部分(见图 8.3.1－44)：一部分是相复励电磁迭加具有电压曲折绕组的谐振式自励恒压装置，另一部分是晶闸管直流分流器 SCR_1 和晶体管式自动调压器构成的电压校正器。现主要分析一下校正器工作原理。该调压器附有一个转换装置，当校正器发生故障时，只要按下按扭 LA_1 则校正器被切除。此时只有不可控相复励单独工作仍能保证一定精度的调压，从而提高了装置的可靠性。

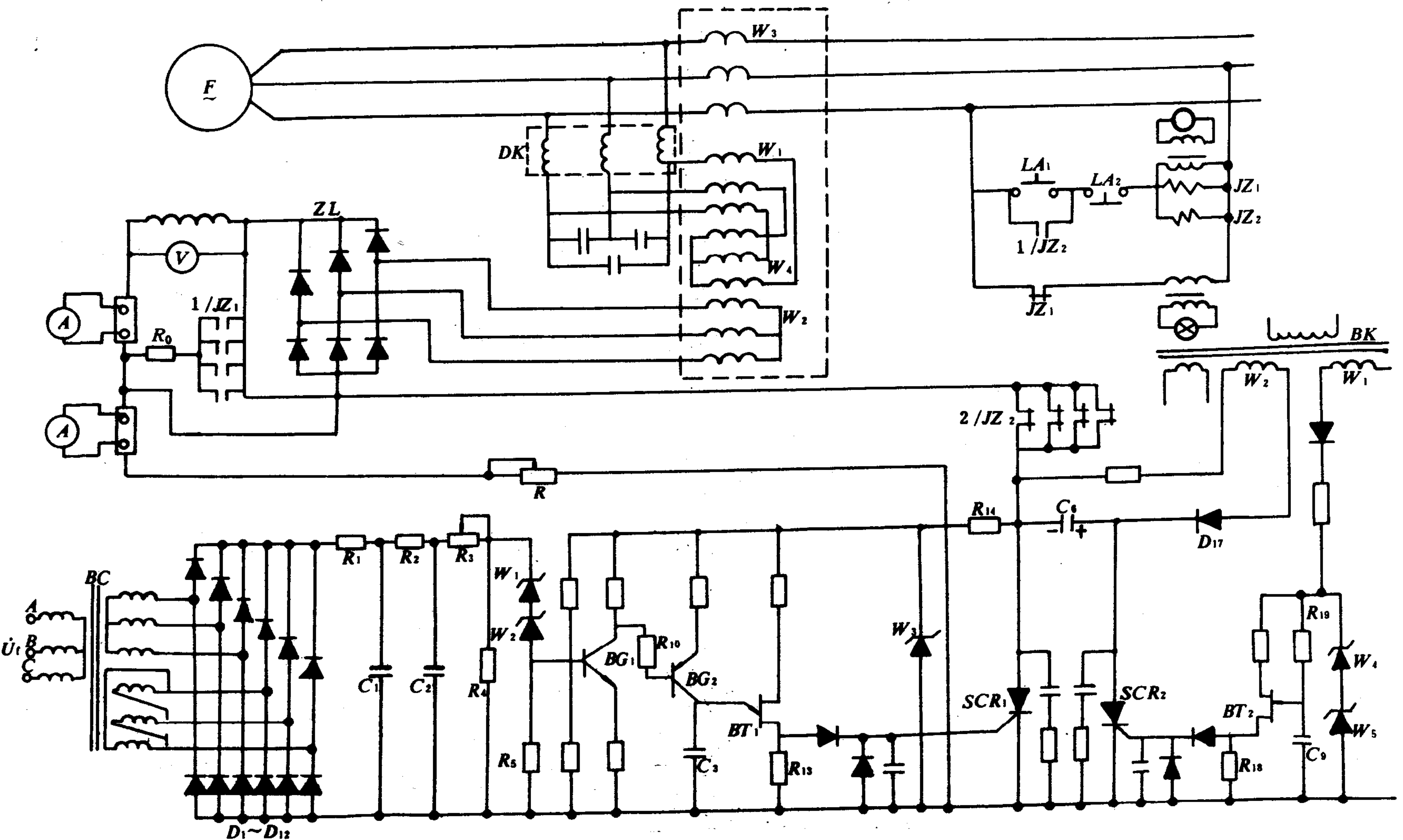


图 8.3.1－44　TZ－F型可控相复励恒压装置原理图

1)电压校正器工作原理

(1)测量回路。发电机电压U_f由A.B.C.接到测量变压器B_c的原边。B_c接成Y/Y－12和Y/△－11,其副边接六相桥式整流器D_1～D_{12},整流器输出经两级阻容快速滤波R_1.C_1.R_2.C_2,分压器R_3.R_4,接到比较电路W_1.W_2和R_5上,电位器R_3用来整定发电机电压。由整流滤波回路输出的电压为：

$$U_{f\cdot Dc}=\frac{K_z}{K_u}U_f \qquad (8.3.1-41)$$

式中:K_u——B_c的变化;

K_z——整流滤波系数。

$$U_k=U_{R_5}=U_{f\cdot Dc}-U_w \qquad (8.3.1-42)$$

式中:U_k——比较电路输出电压,V;

U_w——稳压管W_1和W_2的稳压值,V。

由图8.3.1－43可见,当$U_f(U_f\cdot D_c)$下降时,U_k亦随之下降;反之亦然。

(2)分流触发控制回路

由图8.3.1－43可见,U_k加在放大器BG_1基极上由BG_1进行放大和倒相。当U_k下降时BG_1输出电位增高,反之亦然。

BG_1输出电位U_{c_1},经R_{10}耦合加在移相三极管BG_2基极上,BG_2做C_3充电的可变电阻用。由正电源通过BG_2给C_3充电。当C_3充电达单结晶体管BT_1的峰点电压U_{P_1}时、BT_1突然导通,R_{13}输出触发脉冲U_{cF1},使直流开关s<R_1导通进行励磁分流。由上述可见U_f控制了U_{cF1}移相,即控制了scR_1开始导通的时间,例如:

$U_f\downarrow\rightarrow U_k\downarrow\rightarrow U_{c1}\uparrow\rightarrow BG_2$电阻$\uparrow\rightarrow U_{c2}$达$U_{p1}$时间滞后$\rightarrow U_{cF1}$滞后$\rightarrow scR_1$导通。反之亦然。

触发控制回路的工作电源由整流器ZL经R_{14}稳压管W_3,电位器R供给。当scR_1一旦导通工作电源即被短接,因此触发控制回路即停止工作。

(3)晶闸管励磁分流关断回路

SCR_1励磁分流主回路由ZL经z/JZ_2,SCR_1,R进行分流,将分流能量消耗在R上。调整R可整定分流的大小。当U_f下降时分流应自动减小;当U_f升高时分流应自动增大。这里分流的大小是以U_f控制SCR_1导通p的时间来解决的,故需要解决SCR_1的通和断的问题。U_f可控制U_{cF},移相,以控制SCR_1开始导通的时间。但是当SCR_1一旦导通时就一直在导通,因此还必须设一SCR_1的关断回路使SCR_1在固定的时间被关断,这样才能使U_f控制SCR_1导通时间。SCR_1的关断是通过可控硅开关SCR_2的导通来实现的。由变压器BK的副边120v绕组W_2,经单相半波整流二极管D_{17}给电容c_6充电,当SCR_2被触发导通时c_6通过SCR_2给SCR_1加上反向电压,故使SCR_1截止、下面的问题就是如何以固定的频率触发SCR_2导通,即关断SCR_1。B_K副边60v绕组W_1经W_4.W_5稳压后做为单结晶体管BT_2的工作电源,并同时经固定电阻R_{19}给电容c_9充电。当c_9经固定时间充电到BT_2峰点电压U_{P2}时,BT_2突然导通。发出脉冲经R_{18}加到scR_2控制极上,使SCR_2导通。当正半波结束过零时SCR_2自己关断。由上述可见每隔一个周期SCR_2导通一次,即SCR_1被关断一次,当SCR_1关断后,触发控制回路工作电源又有电压,SCR_1又在U_f控制下开始导通,综上所述该校正器的调压动作原理可简述如下:

$U_f\downarrow\rightarrow U_k(U_{Rs})\downarrow\rightarrow U_{c1}\uparrow\rightarrow BG_2$电阻$\uparrow\rightarrow c_3$充电达$U_{p1}$时间$T\uparrow\rightarrow U_{cF1}(U_{R13})$滞后$\rightarrow SCR_1$导通时间$T\downarrow\rightarrow$分流$I_{lF}\downarrow\rightarrow I_l\downarrow\rightarrow U_f\uparrow$

反之亦然,各波形变换及相位关系见图8.3.1－45所示。

8.11.2 CRB 型可控相复励自励恒压装置原理简介

CRB 型可控相复励自励恒压装置的原理见图 8.3.1—46。CRB 型由下列部分组成：一部分电磁式电流迭加相复励自励恒压装置，另一部分是晶体管式自动电压校正器 AVR，由晶闸管控制饱和电抗器进行交流励磁分流，现主要简介这一部分的作用原理。

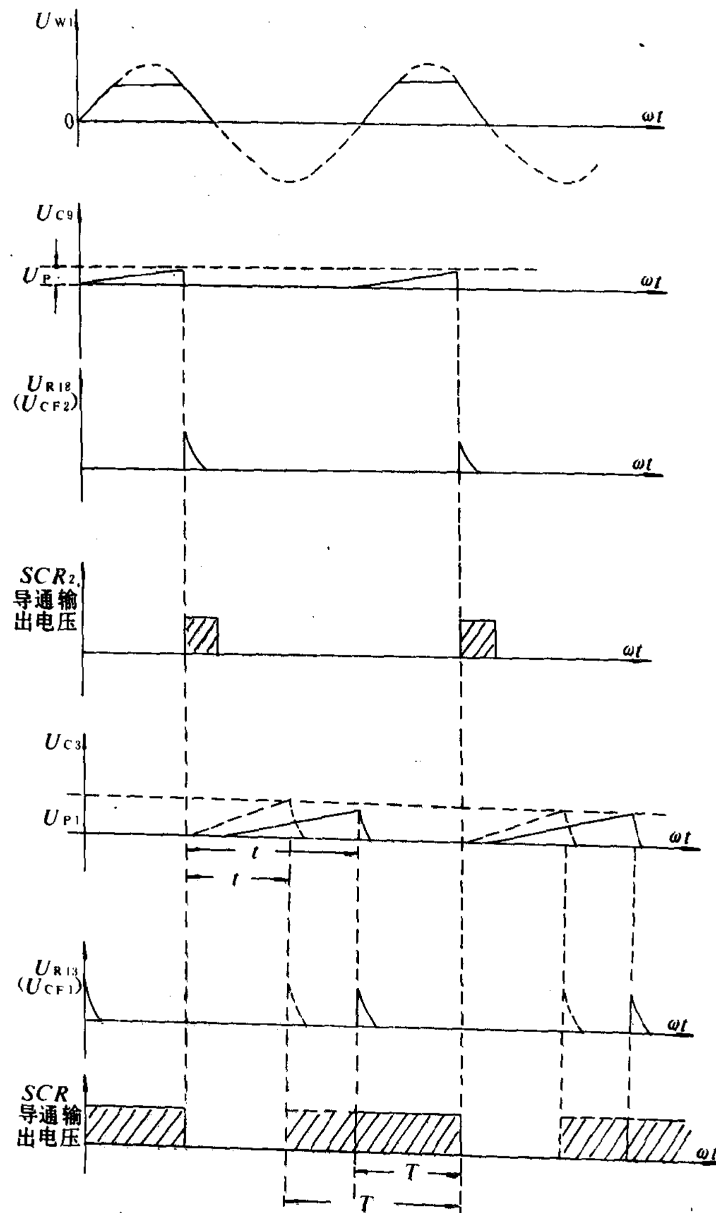


图 8.3.1—45 Tz—F 型校正器各波形变换及相位关系图

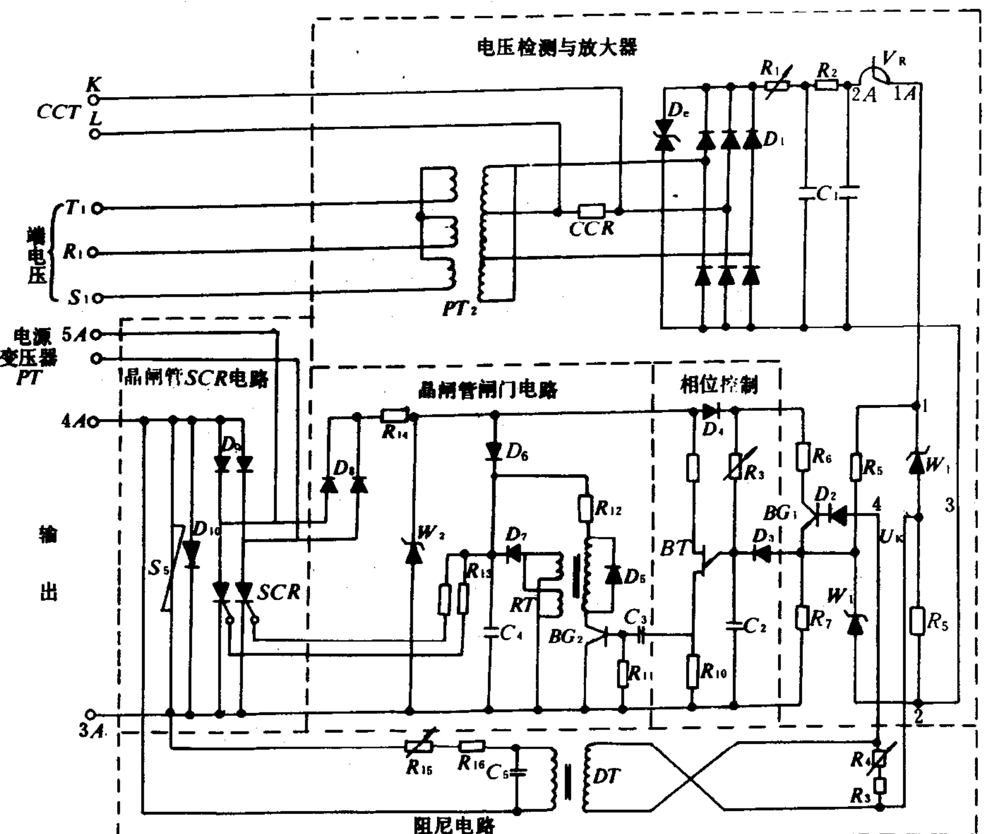


图 8.3.1—46 CRB 型恒压装置原理图

1)测量回路：测量桥输入电压为 $U_{f\cdot DC}=U_{1.2}=U_{24}+U_{R5}$；测量桥输出电压为 $U_k=U_{3.4}-U_{4.2}=U_{1.4}-U_{1.3}=U_{R_5}-U_{w1}$；将两式相减得 $U_k=U_{f\cdot Dc}-2U_{w_1}$ 则 AVR 校正器测量桥输入、输出特性如图 8.3.1—46，其正常工作点应取在 G 点。由 8.3.1—47 图可见在正常工作时，当 $U_f^{\uparrow}\to u_k^{\downarrow}$；反之，当 $U_f^{\uparrow}\to U_k^{\uparrow}$，$V_R$ 为手动电压调节电阻整定发电机电压，R_3. R_4 为反馈电阻。

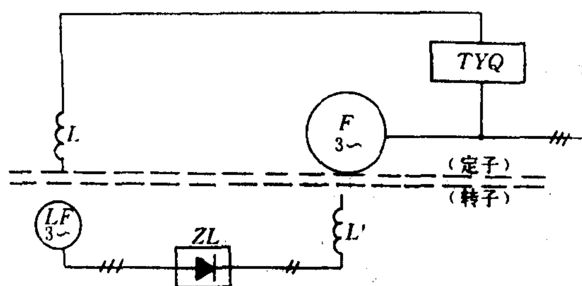


图 8.3.1—47 测量桥输入输出特性

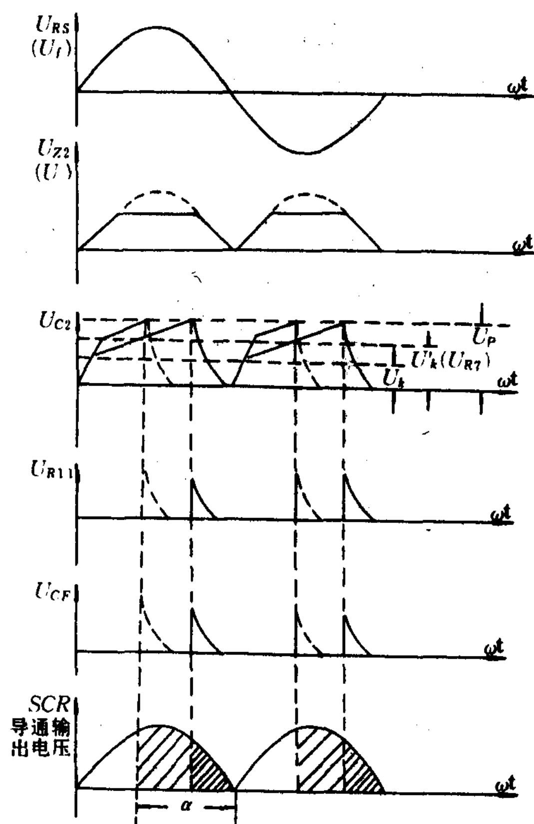


图 8.3.1—48 触发脉冲的移相及晶闸管导通波形图

2)触发控制回路由图 8.3.1—46 可见，由 D_9，D_8 输出的电压经 W_2 稳压后 U_{w2} 做为触发控制回路的直流工作电源，也是 SCR 的同步电压 U_T。由 D_9、SCR 输出的电压为由 U_f 所控制的交流励磁分流的控制电压。

由测量回路输出的电压 $U_K=U_{3.4}$、通过直流放大器放大，其输出电压为 R_7 上的压降 U_{R7}，当 U_K 增大时，U_{R7} 也增大，移相及脉冲电路由 BT、R_{10}、C_3 构成。C_2 充电电压 U_{c2} 达到 U_p 时间的早晚决定了 BT 发出触发脉冲的移相，而 U_{R7} 的大小控制了触发脉冲电压 U_{R11} 的移相，如图 8.3.1—47 所示。当 U_{R7} 下降，U_{R7} 对 C_2 充电的基础初始值下降，使 U_T 对 C_2 充电达 U_p 时间滞后，即 BT 发出脉冲后移，反之亦然。U_{R10} 经 C_3、R_{11} 微分后的电压 $U_{R_{11}}$ 突然加到功放 BG_2 上进行功率放大，BG_2 的输出通过由脉冲变压器 B_m 构成的脉冲形成器立即发出对 SCR 的触发脉冲信号电压 U_{CF} 使同步的 SCR 导通，如图 8.3.1—48 所示。当 SCR 导通时触发控制回路的工作电源被短路，SCR 在主回路电源过零时自行截止。SCR 截止后，触发控制回路方有工作电源，触发控制回路在另一半波到来时再重新发出脉冲使同步的另一 SCR 导通。

3)晶闸管励磁分流主回路。当 SCR 导通时经 SCR 可控整流给饱和电抗器 SRT 加上了可控的直流激磁电流 I_μ，SRT 起交流励磁分流作用。在 I_u 控制下 SRT 的电抗 X_{SRT} 将发生变化，若 I_u 增加则使 SRT 饱和程度增加，故其导磁率 μ 下降，因而其电感 L 和电抗 X_{SRT} 下降，在励磁电流 I_l 交流侧，通过 SRT 的交流励磁分流电流为：

$$I_{lF}=\frac{R_d\cdot I_l}{R_d+X_{SRT}} \qquad (8.3.1-42)$$

式中：R_d——整流电路和励磁绕组等值电组。

由式(8.3.1－42)可见，当 X_{SRT} 下降时，则 I_{IF} 增大，反之亦然。AVR 电压校正器的作用如下：$U_f^{\downarrow} \rightarrow U_{f \cdot Dc}^{\downarrow} \rightarrow U_k^{\downarrow} \rightarrow U_{RT}^{\downarrow} \rightarrow U_{c2}^{\downarrow}$ 达 U_p 时间滞后→BT 脉冲后移→RT 发出触发脉冲 U_{cF} 后移→SCR 的导通角 $\alpha^{\downarrow} \rightarrow I_{\mu}^{\downarrow} \rightarrow X_{SRT}^{\uparrow} \rightarrow X^{\downarrow}{}_{IF} \rightarrow I_l^{\uparrow} \rightarrow U_f^{\uparrow}$，反之亦然。

4)阻尼回路。防止 AVR 过调时产生不规则的振荡，当 U_f 控制有变化时经变压器 DT 及负反馈电阻 R_3、R_4 引出的软性负反馈信号与原控制信号相反，因而防止了调节过程电压的过度波动，使系统调节很快稳定。

8.12 无刷同步发电机

8.12.1 无刷同步发电机原理结构及特点

为提高同步发电机工作的可靠性，近年来船舶上开始采用具有同轴交流励磁机和旋转硅整流器的无刷同步发电机，其结构及工作原理见图 8.3.1－49 所示。它实际上就是一个带交流励磁机的同步发电机，主发电机 F 和励磁机 LF 都是同步三相发电机。发电机 F 是旋转磁场式，而励磁机 LF 则是旋转电枢式其定子是直流励磁绕组 L，转子是三相交流电枢与 F 的转子同轴。LF 的励磁绕组 L 由 F 的电压调整器的输出来供电。由 LF 发出的三相交流电经三相桥式旋转整流器 ZL 整流后，供给发电机 F 的励磁绕组 L′电流。旋转硅整流器 ZL 是无刷同步发电机励磁系统的心脏。它安装在同步发电机的旋转轴上。无刷的关键问题就是以旋转的整流器 ZL 代替了电刷和滑环。其特点主要是由于无刷故不需要维护，运行安全、无干扰、调压器小而可靠。但由于整流器承受离心力，所以制造安装工艺要求较高。

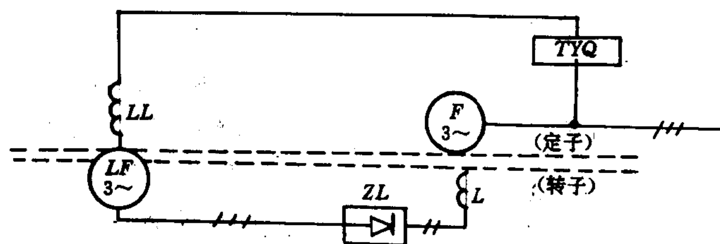


图 8.3.1－49　无刷同步发电机原理图

8.12.2 带旋转可控的无刷同步发电机的结构及工作原理

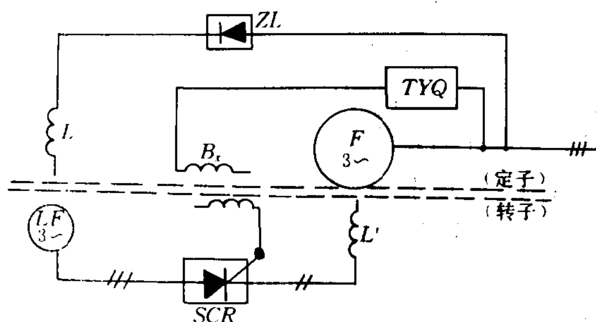
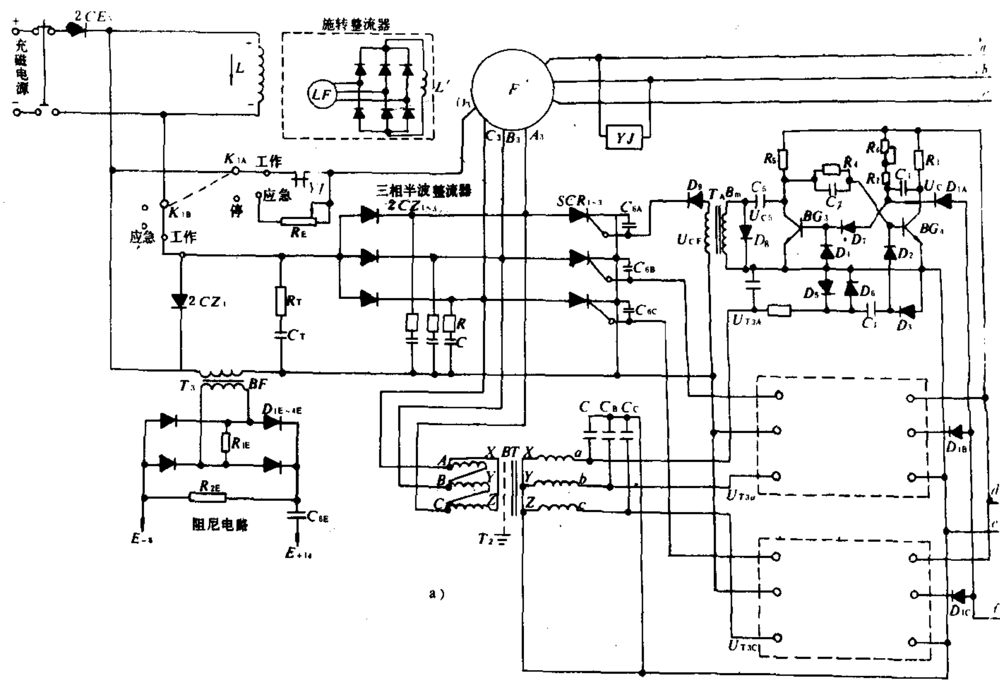
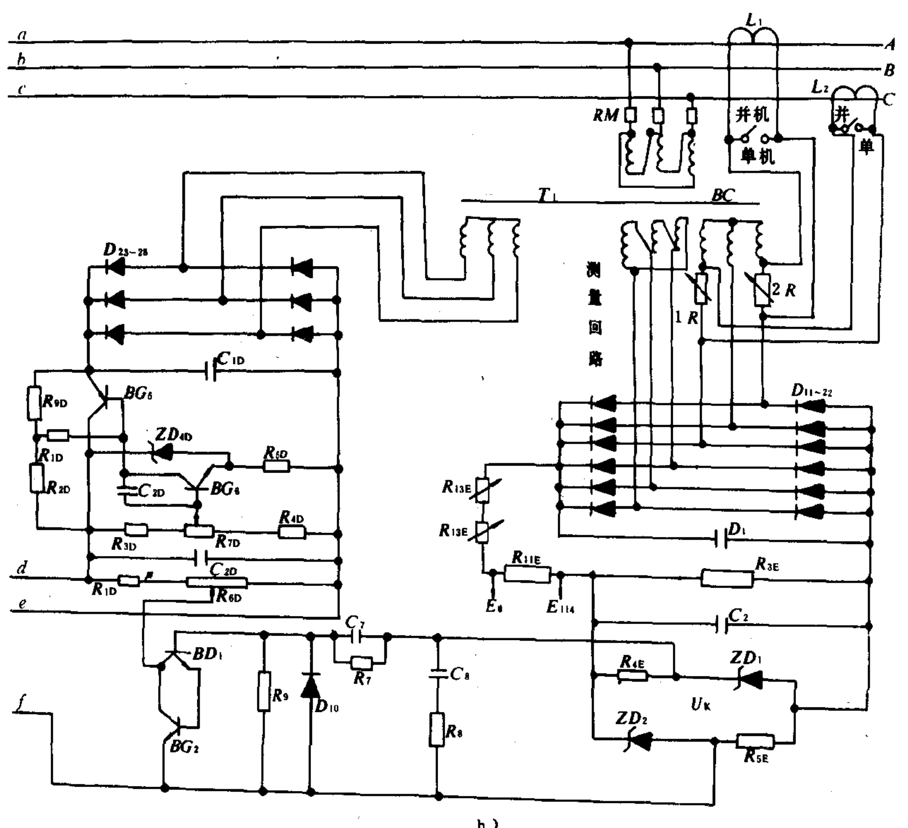


图 8.3.1－50　带旋转可控的无刷同步发电机结构原理图

图 8.3.1－50 所示，其特点是旋转晶闸管元件代替了旋转硅整流器，为了使调压器输出的控制信号控制 SCR 的导通角(控制 L′中的电流)，所以增加一个旋转变压器 B_x。经 B_x 去控制 SCR 不经过 LF，故无惯性环节动态特性好，但制造困难比较复杂。



a）



b）

图 8.3.1—51　400kW 无刷谐波励磁系统图

8.12.3 三次谐波励磁系统原理分析

它是基于同步发电机谐波励磁调压。所谓谐波励磁调压就是在发电机定子上加一套三次谐波绕组 A_3、B_3、C_3（见图 8.3.1－51），利用其中产生的三次谐波电势经晶闸管 $SCR_{1,2,3}$可控整流后，接到励磁绕组 L 上、以实现相复励调压。

1）谐波自励起压。当发电机空载转动之后，由发电机的剩磁产生 B_{03}感应出 $\dot{E}_{03}$。E_{03}经中线 O_3、电压继电器 YJ 的常闭接点、LF 的励磁绕组 L、三相半波整流器 $2cZ_{1-3}$给 LF 供励磁电流 I_L。LF 产生电压 U_L 加在三相旋转硅整流器上供发电机 F 励磁绕组 L′以励磁电流 I_L。$0I_{i0}$增大又使 E_{03}增大，如此循环使发电机 F 迅速建压。当 U_f 达到一定值时，YJ 动作，其常闭接点 YJ 断开。此后发电机通过电压校正器控制晶闸管 SCR_{1-3}进行调压。

2）三次谐波电势进行相复励调压。当发电机在负载下运行时，三次谐波绕组的电势 E_3 可由以下公式表达：

$$\left.\begin{aligned}\because \dot{E}_{03}&=-j4.44f_3w_3\Phi_{03}\\ \dot{E}_{fd3}&=-j4.44f_3w_3\Phi_{fd3}\\ \dot{E}_{fq3}&=-j4.44f_3w_3\Phi_{fg3}\\ \therefore \dot{E}_3&=\dot{E}_{03}+\dot{E}_{fd3}+\dot{E}_{fq3}=\dot{E}_{03}+\dot{E}_{f3}\end{aligned}\right\}\qquad(8.3.1-43)$$

式中：E_{03}、E_{fd3}、E_{Fq3}、E_3——分别为空载励磁电流 I_0，电枢反应电流 I_f 的纵轴横轴分量 $I_{fd}I_{fq}$产生之三次谐波磁通 Φ_{03}、Φ_{fd3}、Φ_{fq3}所感应的三次谐波电势及其总的合成三次谐波电势；

f_3、w_3——分别为三次谐波频率及绕组匝数，其相量关系见图 8.3.1－52 所示。

由上述关系即可说明谐波励磁的复励调压作用。

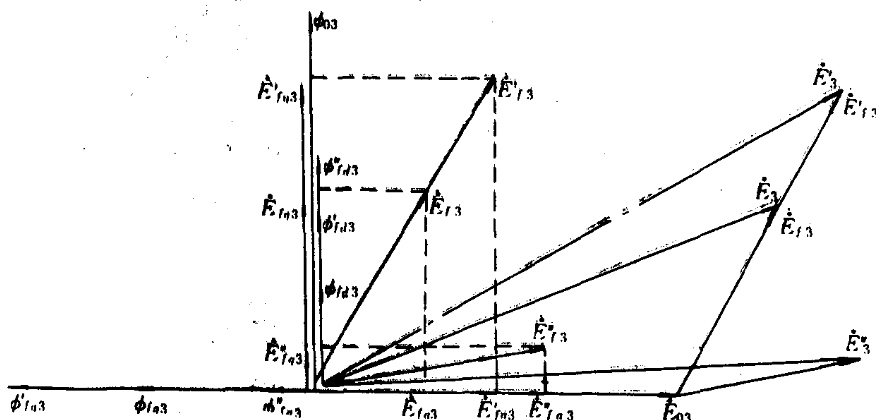
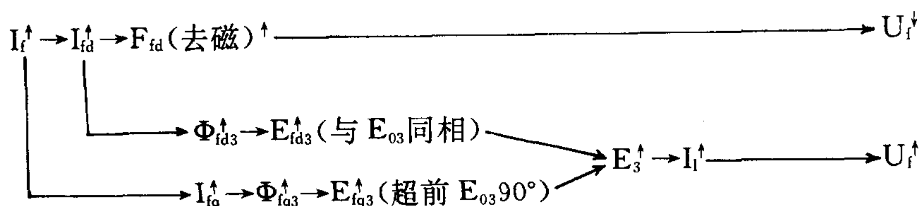


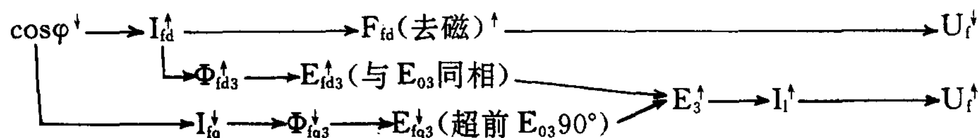
图 8.3.1－52　谐波励磁相量关系图

假设发电机负载电流 I_f 的大小变化，而功率因数 cosφ 不变，例如：当 I_f 增大时由于电枢反应增加，U_f 将下降。但另一方面因 I_f 增大，I_{fd3}、E_{fd3}及 I_{fq3}、E_{fq3}也增大，则三次谐波电势（见图 8.3.2－52）将由 E_3 增大，到 E'_3，因而使 I_L 增大，使 U_f 升高而恢复到原值，从而实现了谐波复式励磁调压的作用。其基本原理可表述如下：



反之亦然，故实现了谐波复式励磁调压。

谐波实现相位补偿调压作用简述如下：



反之亦然，故谐波励磁也可实现相位补偿。三次谐波波形图如图 8.3.1—53 所示。

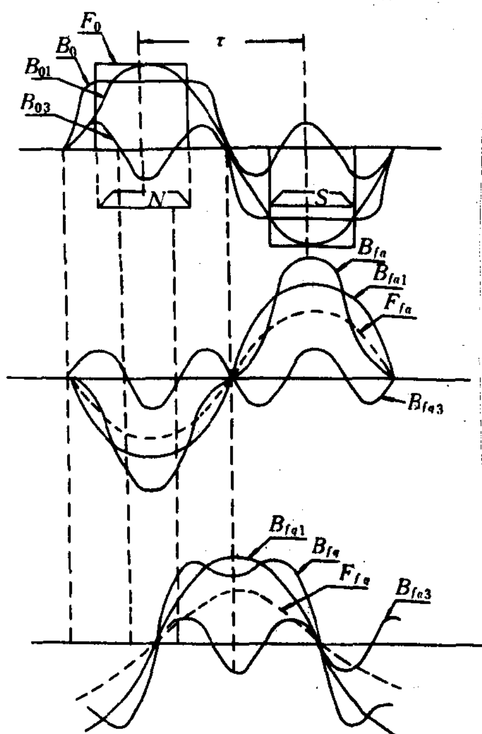


图 8.3.1—53　三次谐波波形图

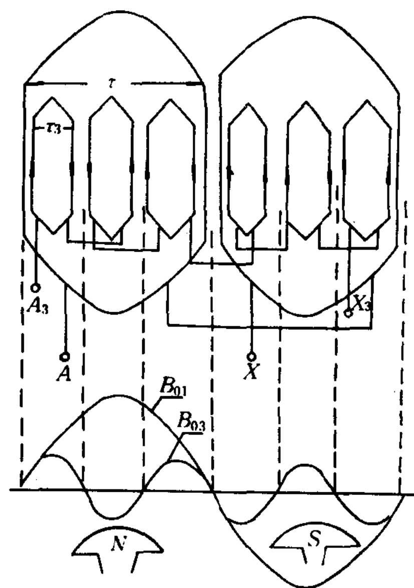


图 8.3.1—54　三次谐波绕组

3）三次谐波的引出

为了专门引出 E_3，在定子上专设一套三次谐波绕组，（见图 8.3.1—54）其三相谐波绕组作星形联接，星形中点有引出线接到励磁绕组 L 上。转子磁极采用均匀气隙，以使气隙磁场中含三次谐波的分量较高，使三次谐波绕组的极距 τ_3 为主绕组极距 τ 的 $\frac{1}{3}$。由 A_3—X_3 引出 E_3，由于每一谐波绕组两边处于同一 B_{01} 下，使 E_1 都抵消，故引出的只有 E_3，所以 E_3 与外电路接通时其中只有三次谐波电流 I_3。主绕组中也有 E_3 但 I_3 流不通。

8.12.4　无刷谐波励磁系统

1）测量回路。

如图 8.3.1—51 所示的为 400kW 无刷谐波励磁系统，发电机电压 U_f，经测量变压器 B_c 和

全波整流器D_{11}～D_{22}变换为直流电压。该电压经分压滤波后加在双稳压管ZD_1、ZD_2组成的直流测量桥上，其输出电压为U_k。当U_f下降时U_k增大；反之亦然。通过比较电路可使U_k代表U_f去控制触发电路，调整R_{13E}、R_{12E}可整定发电机电压。R_{11E}是负反馈电阻。

2）触发控制回路

U_k经积分电路C_8、R_8和微分电路C_7、R_7通过R_9加到BG_1、BG_2上进行放大，并起可变电阻的作用。当U_k增大时其电阻R_{kb}减小；反之亦然。电阻R_7R_9构成分压器保证在U_k作用下BG_1、BG_2工作在放大区。由BG_3、BG_4组成的单稳态移相电路和脉冲变压器式脉冲形成器构成触发控制回路。同步触发信号的产生：三次谐波电压$\dot{U}_{A3}$、$\dot{U}_{B3}$、$\dot{U}_{C3}$接同步变压器BT原边，BT接成$\triangle/Y_0-_{11}$，输出三个单相同步电压$\dot{U}_{T3}$分别加在三个单稳上。取A相分析；$\dot{U}_{AT3}$为正弦波并超前$\dot{U}_{A3}$ 90°，经D_5、D_6削波为梯形波$\dot{U}_{AT3t}$，再由C_3、D_2微分为$\dot{U}_{AT3t}$，取正脉冲加在BG_4基极上。当由$\dot{U}_{AT3}$产生的每一正脉冲U_{AT3t}到来时将使BG_4导通BG_3截止，单稳翻转为暂态。此时由工作电源经R_5、C_5、D_8，D_8给C_5充电，C_1已充电压U_{c1}经BG_4，R_{6D}，BG_2可变电阻R_{Kb}，D_{1A}构成放电回路（另一路是R_2→R_6→R_1）。C_1放电时间由R_{kb}大小控制，即由U_k控制。C_1放电结束后，单稳立即翻回稳态，BG_3导通BG_4截止。当BG_3一导通时C_5已充电压U_{c5}立即经BG_3，脉冲变压器B_m原边绕组放电。于是发出触发脉冲U_{cp}去触发晶闸管导通，由此可见单稳延时的时间，就是同步触发信号被移相的时间，而单稳延时时间是受U_f控制的，故U_f可控SCR的导通角。调整R_{6D}可整定C_1放电时间。单稳工作电源由串联稳压电源供给，微调R_6使触发脉冲相差120°。

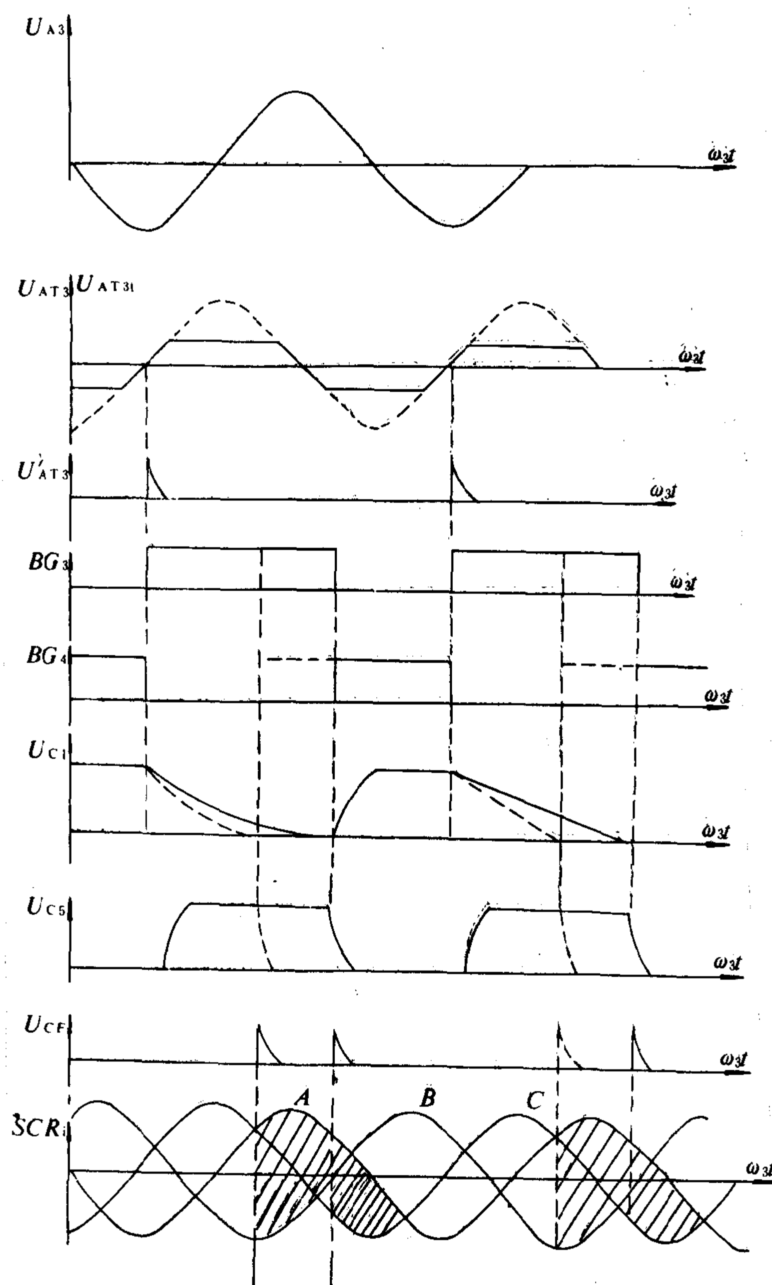


图8.3.1－55　WST－400谐波励磁装置校正器波形变换及相位关系图

3）主回路

图 8.3.1—51 可见晶闸管 $SCR_{1\sim3}$励磁主回路是三相桥式半控整流，其电源由三次谐波电压直接供给。该电源电压是随 I_f 和 cosφ 而变化的，该电压校正器的工作原理可简述如下：

$U_f^{\downarrow} \rightarrow U_k^{\uparrow} \rightarrow R_{k6}^{\downarrow} \rightarrow$ 单稳延时$^{\downarrow} \rightarrow U_{cF}$前移$\rightarrow \alpha^{\uparrow} \rightarrow I_l^{\uparrow} \rightarrow U_f^{\uparrow}$

$U_f^{\uparrow} \rightarrow U_k^{\downarrow} \rightarrow R_{kb}^{\uparrow} \rightarrow$ 单稳延时$^{\uparrow} \rightarrow U_{cF}$后移$\rightarrow \alpha^{\downarrow} \rightarrow I_l^{\downarrow} \rightarrow U_f^{\downarrow}$

校正器波形变换及相位关系见图 8.3.1—55。

4)阻尼电路。

阻尼电路用于提高调整系统的稳定性，它是由电流反馈变换器 BF、单相桥式整流器 $D_{1E\sim4E}$、电阻 R_{2E}、电容 C_{6E}及电阻 R_{1E}构成的软性负反馈，能使调整系统动作迅速又不产生振荡并能很快稳定。

8.12.5 无刷同步发电机主要型号规格表(见表 8.12.5—22～23)

表 8.3.1—22 **T2W2 系列无刷发电机 r/min**

型号	额定功率(kW)	额定电压(V)	额定电流(A)	额定转速(r/min)	效率%	功率因数(滞后)	电压调整率(%)	外形尺寸 mm			重量(kg)
								长	宽	高	
T2W2—12	12	400	21.7	1500	84	0.8	±2,±1	770	370	475	210
T2W2—16	16	〃	29	〃	85	〃	±2,±1	820	370	475	240
T2W2—20	20	〃	36	〃	86.5	〃	〃	825	415	525	270
T2W2—24	24	〃	43	〃	87.5	〃	〃	865	415	525	310
T2W2—30	30	〃	54	〃	88.5	〃	〃	985	475	575	380
T2W2—40	40	〃	72	〃	89.5	〃	〃	985	475	575	425
T2W2—50	50	〃	90	〃	90	〃	〃	985	475	575	460
T2W2—64	64	〃	115	〃	90.5	〃	〃	1090	530	645	595
T2W2—75	75	〃	135	〃	90.8	〃	〃	1090	530	645	630
T2W2—90	90	〃	163	〃	91.2	〃	〃	1190	580	740	810
T2W2—120	120	〃	217	〃	91.5	〃	〃	1190	580	710	950
T2W2—150	150	〃	271	〃	91.7	〃	〃	1300	720	850	1400
T2W2—200	200	〃	361	〃	92	〃	〃	1300	720	850	1570
T2W2—250	250	〃	451	〃	92.3	〃	〃	1350	720	850	1800

表 8.3.1—23 **TFW 系列无刷发电机**

型号	额定功率(kW)	额定电压(V)	额定电流(A)	额定转速(r/min)	效率%	功率因数(cosΦ)	电压调整率(%)	外形尺寸(mm)			重量(kg)
								长	宽	高	
TFW—12	12	400	21.7	1500	85	0.8	±2	770	370	475	210
TFW—16	16	〃	29	〃	86.5	〃	〃	820	370	475	240
TFW—20	20	〃	36	〃	88.5	〃	〃	825	415	525	270
TFW—24	24	〃	43	〃	88.5	〃	〃	865	415	525	310
TFW—30	30	〃	54	〃	89	〃	〃	985	475	575	380
TFW—40	40	〃	72	〃	90	〃	〃	985	475	575	425
TFW—50	50	〃	90	〃	90.5	〃	〃	985	475	575	460
TFW—64	64	〃	115	〃	91	〃	〃	1090	530	645	595

续上表

型号	额定功率 (kW)	额定电压 (V)	额定电流 (A)	额定转速 (r/min)	效 率 %	功率因数 (cosΦ)	电压调整率 (%)	外形尺寸(mm)			重量 (kg)
								长	宽	高	
TFW－75	75	〃	135	〃	91.4	〃	〃	1090	530	645	630
TFW－90	90	〃	163	〃	91.8	〃	〃	1190	580	710	810
TFW－120	120	〃	217	〃	92.2	〃	〃	1190	580	710	950
TFW－150	150	〃	271	〃	92.4	〃	〃	1300	720	850	1400
TFW －200	200	〃	361	〃	92.6	〃	〃	1300	720	850	1570
TFW－250	250	〃	451	〃	92.8	〃	〃	1350	720	850	1800
TFW－320－6	320	〃	577	1000	92.5	〃	〃	1415	960	1130	
TFW－120－8	120	〃	217	750		〃	〃	1180	835	1045	1450

9 船舶应急电站

9.1 船舶应急电站的作用

当船舶主电站不能供电时，尽快地给必需的负载供电以便抢险救灾。目前大型船上都装有应急发电机组。按规范它装在救生艇甲板上用来提供应急情况下的电源。一旦发生应急情况时，它就自动起动然后向应急电网供电。

9.2 对船舶应急电站的要求(按我国规范)

1)当主电源发生故障时，应急电源应向应急用电设备供电，应急电源必须独立于主电源。

2)应急电源可供使用功率应能充分供应在应急情况下为安全所需的所有重要设备使用。

3)采用合适的措施，以保证独立的应急电源在各种运行状态下均可使用。应急发电机也可例外地短时向非应急电网供电。

4)组成应急电源的所有设备，应包括作定期功能试验的一些设备，尤其是自动开关和起动设备试验的进行，应尽可能不妨碍船舶其它设备的工作。

5)对于应急发电机的设计和电压调整率，可应用与主发电机相同的原则。

6)应急发电机在额定功率因数下运行时，由空载到额定输出的暂态过程一旦消失，其电压偏差不应大于额定值的±2.5%。

7)当应急发电机在额定转速和额定电压下运行时，若突加和突卸规定的电流和功率因数的平衡负载，其电压不应低于其额定值的85%或超过其额定值的120%，电压应在1.5s内恢复至额定电压的±3%范围内。

8)所有客船应配备独立的应急电源。应急发电机及原动机应安装在最上层的连续甲板以上，但不应安装在防撞舱壁之前。安装应急发电机的舱室应能从露天甲板进出，应急发电机的安装应不致由于在主发电机或主配电盘的舱室或在任何A类机器处所中起火或其它事故而破坏应急发电机的运行。

9)考虑到由于规定用电设备的起动电源和临时负载，应急电源至少应能同时供电给：如下负载设备；

(1)航行灯和现行中规定的其它灯具包括航行失控灯具；

(2)救生设备存放处的应急照明和沿救生艇登艇处的舷外应急照明；

(3)在各服务和居住处走廊上、各楼梯出口处、各载人电梯室内、机舱和主发电机处、各监控位置和各发电机监控室内、二氧化碳室、厨房、消防设备存放处、舵机舱和自动喷淋泵。应急消防泵、应急舱底泵及其电动机起动设备场所的应急照明；

(4)应急消防泵和自动喷淋泵。

(5)舵机和舵角指示器；

(6)应急舱底泵；

(7)载人电梯用的使电梯厢转至最近登艇处的应急驱动装置；

(8)应急情况下所需的船内通信设备和信号设备；

(9)由船舶主电网供电的白昼信号灯；

(10)应急柴油机组的冷却水泵；

(11)水密门的控制系统，包括报警和指示设备以及防火门的指示系统；

(12)火警报警设备和防火门的开关装置；

(13)一般报警，包括船用电笛；

(14)二氧化碳报警；

(15)由国家主管当局规定的无线电系统，测向仪和助航设备。

9.3 船舶应急电站及岸电与主电站联锁关系

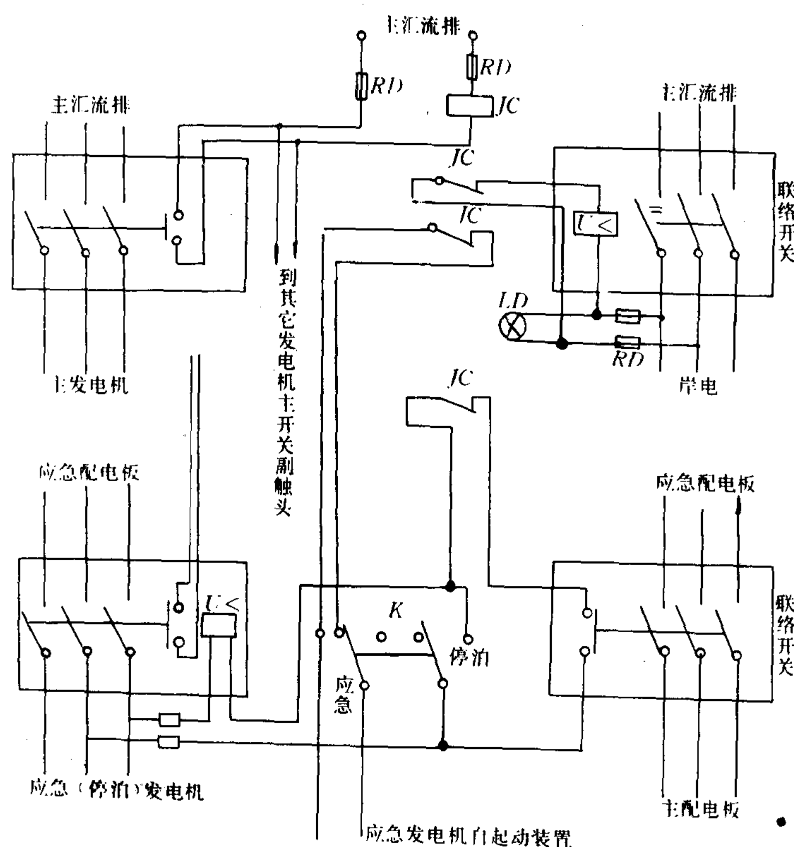


图 8.3.1—56 主发电机应急发电机及岸电联锁原理图

主发电机、应急发电机及岸电间的联锁环节，其基本原理见图 8.3.1—56 所示。为联锁起见各发电机主开关的联锁副触头均应并联连接，对主发电机、应急发电机及岸电间的联锁关系应满足如下关系：

1)当主发电机工作且主开关合闸时应断开应急发电机自动起动装置及禁止岸电开关合闸。当主发电机开关跳闸时应自动起动应急发电机。当主发电机恢复供电时又应自动切断应急发电机供电。

2)当应急发电机开关合闸时，禁止岸电开关合闸，并且不允许通过联络开关向主配电板供电，但当应急发电机作为停泊发电机工作时，虽然同样禁止岸电开关合闸，

仍可通过联络开关向主配电板供电，在主发电机开关接通时停泊发电机的开关不会自动断开。

3)当岸电开关接通供电时，一旦主发电机或应急发电机开关合闸，岸电开关即应自动断开。

4)在主配电板与应急配电板之间装有联络开关，当主发电机通过联络开关向应急配电板供电时，禁止应急发电机开关合闸。

9.4 蓄电池在船舶上的应用

1)蓄电池组作为应急电源或备用电源

对一般客货船都把蓄电池组做为小应急电源，小应急负载包括：

(1)柴油应急发电机组的起动电源；

(2)救生艇上柴油机的起动电源；

(3)逆变器直流电源；

(4)电罗经直流电源。

2)蓄电池组作为低压设备电源

低压设备一般使用两组蓄电池供电，一组充电时，另一组放电。采用蓄电池供电的设备有：

(1)无线电收发报机；

(2)遇难呼救设备；

(3)测深仪和测向仪；

(4)电话变换机；

(5)火警报警器；

(6)机舱信号装置。

9.5 蓄电池分类

常用蓄电池分为两种：一种是酸性蓄电池，另一种为碱性蓄电池。两种蓄电池的性能比较见表 8.3.1－24。

表 8.3.1－24　　**酸性和碱性蓄电池性能比较表**

项	目	酸性蓄电池	碱性蓄电池
1	放电电压	较高 2.1(V)	较低 1.25(V)
2	内电阻	较小，平均为 0.005 (Ω)	较大，平均为 0.03～0.06(Ω)
3	体积	较小	较大
4	维护	较方便容易	较精细
5	机械性能	较差	较好、不怕振、耐冲击
6	使用寿命	较短	较长
7	保管	有酸液腐蚀	方便
8	开路损失	较大，需进行维护性充电	较小，可长期放置
9	放电	不可处于长期放电状态	可处于长期放电状态
10	忍受短路性能	好	较差
11	电液	不需调换	需调换
12	价格	较便宜	较贵

9.6 蓄电池工作原理

9.6.1 酸性蓄电池工作原理

酸性蓄电池是利用铅、二氧化铅和硫酸溶液的化学反应，将化学能转变为电能见图8.3.1—57所示。

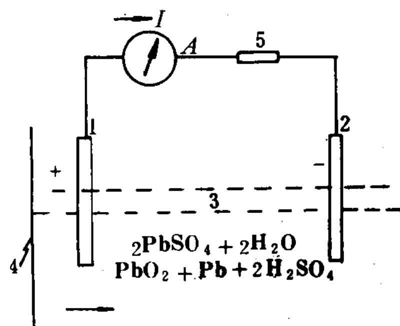


图 8.3.1—57 酸性蓄电池放电工作原理图

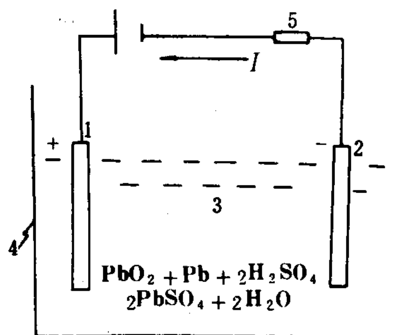
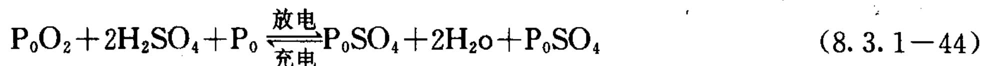


图 8.3.1—58 酸性蓄电池充电过程

当正极板和负极板同时和硫酸溶液接触时在正负极板之间即产生约 2(V)的电动势，如果用电阻 5 接通正极 1 和负极 2 时即有电流流过。蓄电池中产生的化学变化如下：

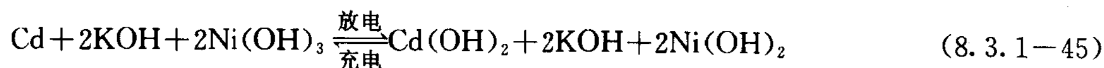


$$P_0O_2+2H_2SO_4+P_0 \underset{\text{充电}}{\overset{\text{放电}}{\rightleftharpoons}} P_0SO_4+2H_2o+P_0SO_4 \quad (8.3.1-44)$$

这过程叫做蓄电池的放电，当蓄电池的正负极板都转化为硫酸铅时，如果用反向电流通入蓄电池如图 8.3.1—58 所示，电流即从电源的正极通过蓄电池的正极和负极然后回到电源的负极。这时在蓄电池中产生了和上述相反的化学变化。正负极板又分别转化为二氧化铅和铅。这个过程叫做蓄电池的充电。当正负极板全部转化为二氧化铅和铅时，即可停止充电。

9.6.2 碱性蓄电池工作原理

船上通常使用镉镍蓄电池，所以只简要介绍这种电池。镉镍蓄电池极板的活性物质在充电后，正极板为氢氧化镍 $Ni(OH)_3$，负极板为金属镉(Cd)，而放电终止时，正极板转化为氢氧化亚镍[$Ni(OH)_2$]。负极板转化为氢氧化镉[$Cd(OH)_2$]。电解液多选用氢氧化钾(KOH)溶液。蓄电池充电时电能变为化学能贮存起来，放电时将化学能变为电能输出，充放电过程中总的化学方程式如下：



$$Cd+2KOH+2Ni(OH)_3 \underset{\text{充电}}{\overset{\text{放电}}{\rightleftharpoons}} Cd(OH)_2+2KOH+2Ni(OH)_2 \quad (8.3.1-45)$$

从式(8.3.1—45)中看出其浓度不起变化，因而不能根据比重来判断充放电的程度，只能根据电压的变化来判断充放电的程度。

9.7 蓄电池日常维护保养及注意事项

蓄电池的使用和维护特别是对充电和电解液的配制必须严格按照技术要求进行才能保证其正常性能，否则将使蓄电池容量降低和寿命缩短。

9.7.1 初次充电

对新的或长期存放未用的蓄电池，在使用前须经过初次充电。

1)酸性蓄电池——将配制好的比重为 1.285 的冷却电解液注入蓄电池内，液面应高出保

护板 10～20mm。电解液注入后电池内部发热，当温度低于 35℃时，方可进行初次充电。初次充电按表 8.3.1—25 中规定的电流和时间进行。用第一阶段电流充电使每个电池的端电压上升至 2.4V，然后改用第二阶段电流充电，直到电压和电解液比重在 3h 内基本不再变动为止。在充电终了时再校正电解液比重，使其达到 1.285，然后再用第二阶段电流继续充电 1h。这样初次充电完成即可使用。

表 8.3.1—25 **Q 系列酸性蓄电池规格数据**

型号	额定电压 (V)	额定容量 (A·h)	放电				初次充电				经常充电			
			10 小时放电率		常温起动放电率		第一阶段		第二阶段		第一阶段		第二阶段	
			放电时间 (h)	放电电流 (A)	放电时间 (min)	放电电流 (A)	电流 (A)	时间 (h)	电流 (A)	时间 (h)	电流 (A)	时间 (h)	电流 (A)	时间 (h)
3—Q—56/6—Q—56	6/12	56	10	5.6	5.5	170	4	25～35	2	20～30	5	10～12	3	3～5
3—Q—70/6—Q—70		70		7.0		210	5		3		6		3	
3—Q—84/6—Q—84		84		8.4		250	6		3		8		4	
3—Q—98/6—Q—98		98		9.8		295	7		4		9		5	
3—Q—112/6—Q—112		112		11.2		335	8		4		11		6	
3—Q—126/6—Q—126		126		12.6		380	9		5		12		6	
3—Q—140/6—Q—140		140		14.0		420	10		5		14		7	
3—Q—154/6—Q—154		154		15.4		460	11		6		15		8	
3—Q—168/6—Q—168		168		16.8		505	12		6		16		8	
3—Q—12/6—Q—182		182		18.2		545	13		7		17		9	

2）碱性蓄电池——将所需之电解液注入蓄电池内（比重为 1.19～1.21 的氢氧化钾电解液或比重为 1.17～1.19 的氢氧化钠电解液，或比重为 1.21 氢氧化钾电解液），使液面高于极板端 5～12mm。静止 2h 再调整一次液面，即可进行初次充电。初次充电必须按照“GN 和 TN”系列碱性蓄电池规格数据进行，见表 8.3.1—26 和表 8.3.1—27。

根据标准充电制的电流充电 6～7h，再用此电流的一半充电 6h，然后用标准放电制的电流放电 4h。这样经过 2～3 次初次充电放电，然后用标准充电制的方法进行充电。充电后静置 2h，调整其比重及液面高度，再注入不含游离酸的凡士林油，即可使用。

表 8.3.1—26 **GN 系列碱性蓄电池规格**

型号	额定电压 (V)	标准放电制					标准充电制		
		额定容量 (A·h)	8 小时放电		1 小时放电		时间 (h)	电流 (A)	充电电量 (Ah)
			电流 (A)	终止电压 (V)	电流 (A)	终止电压 (V)			
GN—2.25	1.25	2.25	0.28	1.0			6	0.56	3.36
GN—10	1.25	10	1.25	1.0			6	2.5	15
GN—22	1.25	22	2.75	1.0			6	5.5	33
GN—45	1.25	45	5.65	1.0	45	0.5	6	11.25	67.5

续上表

型　号	额定电压(V)	标准放电制					标准充电制		
		额定容量(A·h)	8小时放电		1小时放电		时间(h)	电流(A)	充电电量(Ah)
			电流(A)	终止电压(V)	电流(A)	终止电压(V)			
GN－60	1.25	60	7.5	1.0	60	0.5	6	15	90
GN－100	1.25	100	12.5	1.0	100	0.5	6	25	150

表 8.3.1－27　　**TN系列碱性铁镍蓄电池规格表**

型　号	额定电压(V)	标准放电制				标准充电制		
		时间(h)	电流(A)	容量(A·h)	终止电压(V)	时间(h)	电流(A)	充电电量(A·h)
TN－10	1.25	10	1	10	1.0	7	2.5	17.5
TN－22	1.25	8	2.75	22	1.0	7	5.5	38.5
TN－45	1.25	8	5.65	45	1.0	7	11.25	78.75
TN－60	1.25	8	7.5	60	1.0	7	15	105
TN－100	1.25	8	12.5	100	1.0	7	25	175
TN－250	1.25	5	50	250	1.0	7	62.5	437.5
TN－300	1.25	5	60	300	1.0	7	75	525
TN－350	1.25	5	70	350	1.0	7	90	630
TN－500	1.25	8	62.5	500	1.0	7	125	875

9.7.2　经常充电

蓄电池经过全放电或间歇放电后，必然消耗电量，在这种情况下每月至少充电一次。

1)酸性蓄电池——应分两个阶段进行。充电电流和时间按 8.3.1－25 表进行。第一阶段充电使蓄电池电压上升至每个电池为 2.4V 左右，然后转入第二阶段充电。充电后调整其比重为 1.285 左右，再以第二阶段充电电流继续充电 1h，使其比重上下均匀一致，整个充电结束。由于酸性蓄电池开路损失较大要进行维护性充电。维护性充电用每安时 1mA 的电流长期进行充电。

2)碱性蓄电池——碱性蓄电池的经常充电也分两个阶段进行。第一阶段用 1/4 容量的电流充电 6～7h。第二阶段用第一阶段充电电流的一半充电 2～3h，再校正电解液，整个充电过程结束。

9.7.3　过充电

1)对酸性蓄电池，一般充电完毕后，隔 1h 再改用正常充电率的一半电流充电，待冒汽泡后停止 1h 再充。如此重复二至三次，至电压及比重均无变化并有剧烈冒泡现象为止。

2)对碱性蓄电池，一般每工作 10～12 次充放电循环或每月应进行一次过充电。方法是以正常充电电流充电 6h，再以正常充电电流的一半连续充电 6h 即可。

9.7.4　电解液的配制

1)酸性蓄电池的电解液是蒸馏水稀释纯硫酸制成的。在稀释浓硫酸时必须把硫酸缓慢地倒入水里搅拌，绝不能将水倒进硫酸中，这样会引起爆溅。配制时应戴好防护眼镜、胶皮手套

等。配制比重为1.285，待冷却后便可使用。

2)碱性蓄电池的电解液是用固体氢氧化钾或氢氧化钠与蒸馏水配制的。碱与水的配制比例见表8.3.1－28。

表8.3.1－28 **镉镍蓄电池电解液**

种类	比 重	温度 (℃)	电解液成份	配比碱和水
1	1.18±0.02	＋45～＋10	氢氧化钠＋20g/L氢氧化锂	1∶5
2	1.20±0.02	＋35～－10	氢氧化钾＋40g/L氢氧化锂	1∶3
3	1.25±0.01	＋10～－25	氢氧化钾	1∶2
4	1.28±0.01	－15～－40	氢氧化钾	1∶2

9.7.5 充电终了的判断

1)对于酸性蓄电池，当电解液比重达到1.28～1.30，继续充电不再增高时，可认为充电终了。这时电压应升高到2.7V并保持稳定。此外正负极附近剧烈冒汽泡也是充电终了的标志。放电时每个电池电压降低到1.8V左右，电解液比重减少到1.15～1.17即为放电终了。

2)对碱性蓄电池，主要是根据电压来判断。当每个蓄电池电压上升到1.4～1.8V时，而且端电压继续充电1h内不变，可认为充电终了。放电时，当每个蓄电池电压降低到规定的放电终止电压时，即认为放电终了，一般在0.5V到1.0V范围内。

9.7.6 注意事项

1)检查蓄电池室的通风情况是否良好，蓄电池的安装是否符合规范要求；

2)检查蓄电池电解液面高度，酸性蓄电池液面应高出极板10～20mm，碱性蓄电池则应高出5～12mm；

3)检查电解液比重是否符合要求；

4)检查充电装置运行情况并测量热绝缘电阻不应低于1MΩ；

5)检查应急蓄电池组自动接入各应急线路的动作可靠性；

6)蓄电池室应装防爆式照明灯，不许用明火取亮，且禁止在室内吸烟。

10 船舶电站的维护及常见故障的排除方法

10.1 直流发电机日常维护及保养方法

1)直流发电机日常维护每月不得少于一次。

2)清洁发电机外壳，用压力不超过二个大气压的干空气吹扫电机内部所有部件。

3)清洁换向器，使换向器表面光洁平滑，带有光泽的古铜色氧化膜是正常现象。

4)当换向器上有灼黑斑点，槽痕、铜绿等现象时，可用00号木砂纸装在直径相当的打磨木瓦上进行研磨。研磨后清除遗留的炭精屑及铜沫，并检查换向片与绕组焊接情况。

5)换向片间的云母片一般应低于换向片0.5～1.5mm，否则进行修正。

10.2 电刷、刷握及刷握架的维护

1)清洁电刷刷握架并检查刷架和电刷软线有否移位、松动。

2)电刷在刷握内应能上下移动，电刷与刷握的正常间隙应符合表8.3.1－29规定。

表 8.3.1—29　　　　　　　　　**电刷与刷握的正常间隙表**

电刷空隙	轴向间隙	转向间隙	
	mm	刷厚由5至16mm	刷厚超过16mm
最小	0.2	0.1	0.15
最大	0.5	0.3	0.4

3)电刷对换向器的压力为10～30Kpa并列电刷对换向器的压力差不能超过10%。当电刷磨损与刷握高度相等时应按相同型号进行更换。电刷更换后接触面必须与换向器相吻合。

4)检查刷握离换向器表面高度应在1.5～4mm范围内。

10.3　其它项目清洁和检查

1)清洁发电机定转子及空隙。

2)检查轴承有无噪声过热漏油等异常现象。

3)测量发电机的绝缘电阻，当低于规定值时应加以处理。

4)检查火花情况，当不符合要求时应加以处理。

5)当发电机长期停止运行时必须按上述要求进行维护。

10.4　交流发电机的一般性维护

1)交流发电机的一般性维护每月不少于一次。

2)清洁发电机外壳，用压力不超过二个大气压的干燥空气吹扫电机内部所有部件。

3)电刷、刷握、刷握架及滑环的检查。

(1)滑环刷握、刷架不应松动并清洁。

(2)电刷在刷握内应能上下移动，参考表8.3.1—29。

(3)电刷压力应保持15～20Kpa，彼此间的压力相差不应大于±10%。

(4)当电刷磨损到原始长度的1/3时应按同型号并与同一极性的电刷一起更换，更换后保证有效接触面不小于70%，(用轻负载的1/3～1/4)运转使其表面光滑。

(5)刷握与滑环之距离应保持在2～3mm。

(6)滑环表面应保持圆滑，表面有铜绿、铁锈及灼痕时应进行研磨。

4)励磁机的维护可参照直流发电机的维护方法进行。

5)检查轴承有否异常的噪声过热及漏油现象。

6)测量绝缘电阻，若低于规定值应进行绝缘处理。

10.5　交流发电机空载电压过低或过高分析和检查方法

交流发电机空载时，出现空载电压过低或过高时，一般可从调压器方面查找原因。根据相复励自励恒压原理其励磁电流为：

$$\dot{I}_l=\frac{1}{jX_k}(K_{12}\dot{U}_f+jX_kK_{32}\dot{I}_f) \qquad (8.3.1-46)$$

当空载时即 $\dot{I}_f=0$，则 $\dot{I}_l=\frac{K_{12}\dot{U}_f}{jX_k}$

当 $\dot{U}_f$ 过低时其原因：

1）X_k 值过大，所以减少 DK 匝数，以降低 DK 之电抗 X_k 值。

2）增大 DK 气隙，以减小 X_K 值，或增加 W_1 匝数增加磁势 F_u。

当空载电压 $\dot{U}_f$ 高其原因：

1）X_k 值过小，所以增加 DK 匝数，以增大 DK 之电抗 X_k 值。

2）减小 DK 气隙，以增大 X_k 值或减少 W_1 匝数，减小磁势 F_u。

10.6 两台机组的有功和无功功率分配不均的原因和排除方法

交流同步发电机并联运行时，若有功功率和无功功率分配不均时表现在功率表和功率因数表反映其差别大小。这主要有两个原因：一个是由于发电机的原动机调速特性不同或调整不一致，使发电机输出功率不同($P_1 \neq P_2$)发电机调压器之间因为有均压线相连无功功率可认为均匀的($Q_1 = Q_2$)由功率三角形可知：

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{p^2 + Q^2}}$$

所以发电机功率因数不一样，这可对调速器进行检查调整，使发电机同时输出相同有功功率，从而达到有功功率均分。另一个原因是调速器正常($p_1 = p_2$)而发电机的外特性不一致造成无功功率分配不均($Q_1 \neq Q_2$)，同样由功率三角形可知其功率因数也不一样。造成 $Q_1 \neq Q_2$ 的原因：可能是由均压线的接触电阻较大造成的，均压电流通过较大的接触电阻势必使发电机激励绕组两端电压不一致，此时如发电机供给有功功率相同，则无功功率分配不均。这时可对均压线联接处进行检查以排除接触不良引起较大的接触电阻。

11 船舶电站自动化

11.1 船舶电站自动化系统结构原理

由于船舶种类不同、船舶电站发电机组原动机的型式配置不同以及船舶建造的年代不同等等原因，致使现今运行的船舶中有各种各样的自动化电站。从供电方式来看有单机运行供电的自动化系统和并联运行供电的自动化系统；从原动机的类型看有柴油发电机组的自动化系统、汽轮发电机组的自动化系统、废气涡轮和柴油发电机组的自动化系统，以及主机轴带发电机和柴油发电机的自动化系统；从构成自动化系统所采用的元器件来看有全继电器式的自动化系统、有半导体分立元件或集成块构成的自动化系统以及以微型计算机为基础的电站自动化系统等。但是电站自动化系统又都是由一些最基本的自动化功能单元所组成。在各种各样的自动化系统中，那些具有相同功能的单元由于它们所完成的任务相同，因而其基本工作或控制原理也大体相同。

电站自动化系统通常包括如下一些基本功能单元：

1）船舶发电机组的自动起动；

2）发电机的自动并车；

3）同步发电机的自动恒压和无功自动分配；

4）自动恒频和并联机组间的有功分配；

5）重载询问；

6)综合自动保护等。

这些基本功能单元在电站自动化系统中既相互联系又都具有一定的相对独立性。不同的电站自动化系统中所包含的基本功能单元不尽相同;在同一系统中由于故障等原因也可以切除部分功能单元而不影响全局。图 8.3.1—59 为一电站自动化系统的简化结构原理图。

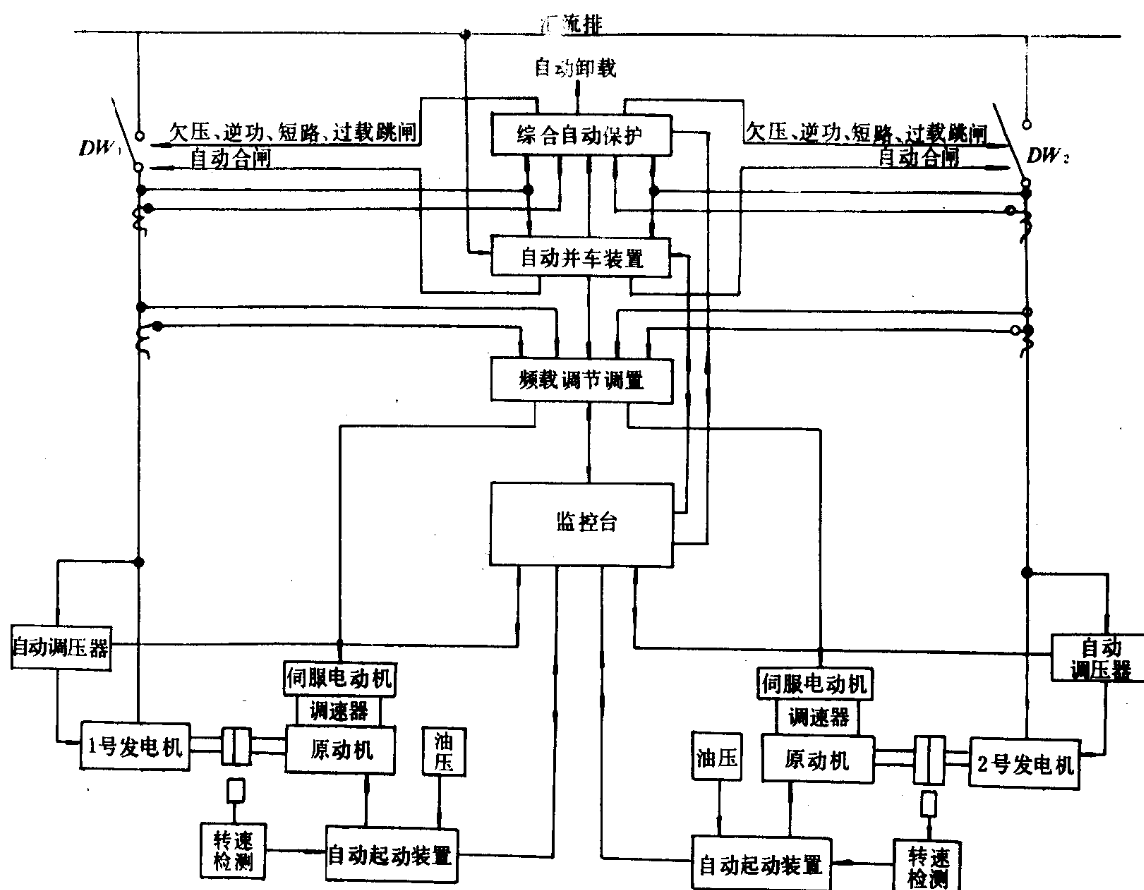


图 8.3.1—59　船舶电站自动化系统结构原理

11.2　船舶发电机组自动起动的要求

根据"中华人民共和国船舶检验局钢质海船入级与建造规范"(1983)对船舶自动化电站有关发电机组自动起动的要求归纳如下几点:

1)无论是单机供电或并联运行供电的自动化电站,当出现严重失压,或延续的电压降低,或延续的频率变低,或运行机组发生故障,或负载增加达到使发电机组不能保持其预定负载贮备裕量时,除按规定报警外,均应自动起动备用机组,并迅速(不超过 45s)自动投入电网供电。

2)自动起动的发电机组应设有联锁装置,以防止原动机在可能造成危害的情况下进行起动。据此项要求通常在控制程序中设有备用机组起动条件的检测环节。

3)能自动起动的多台发电机组应设有程序系统或人工选择开关,程序系统在某机组起动失灵的情况下除进行报警外,还应能自动将起动指令转移给另一台机组。另外,还应采取延时措施以防止瞬态信号(例如电动机起动电流等)使备用发电机组进行不必要的自动起动。

4)自动起动的柴油发电机组的控制系统应能对起动失败后自动连续再起动的次数进行限

制，使辅起动空气瓶保持足够的空气压力或起动电池保持足够的电力。

5)备用发电机组的自动合闸只允许进行一次，以防止原先由于短路而引起的失电会加重电气系统的损坏。

6)遥控和自动控制系统控制的机电设备，仍应设有手动控制或在系统内设冗余的控制设施，以便在遥控或自动控制系统失灵时能进行控制。周期无人值班机舱的电站自动化系统一般应能自动控制、主控站控制和机旁手动控制。

7)为了维修的安全，对每台机组均应设置能够防止意外的自动或遥控起动的装置。

8)当发电机组发生严重故障时，应切断燃油或电源，使机组停转，并应设置安全手动复位装置，在故障未被消除和手动复位前，故障机组不应自动再起动。

11.3 备用发电机组自动起动条件

当备用发电机组已具备安全、正常的起动条件时，且当备用发电机组收到请求起动的信号时，自动起动条件检测环节将发出自动起动指令。不同类型的发电机组其具体起动条件不尽相同。例如，某柴油发电机组的允许自动起动的条件是：

1)起动气源压力正常；

2)燃油控制手柄置于“运行”位置；

3)机组已置于“自动”操作方式下；

4)无转速信号(即停机状态或转速仍低于点火转速)；

5)发电机自动开关未合闸；

6)机组未“阻塞”(或已手动复位)；

7)盘车杆已置入指定的安全位置内等。

当上述各条件全部得到满足时，发出允许起动信号。

请求备用机组起动的信号或源于“增机”信号或源于运行机组的故障信号或源于前序备用机组起动失灵或起动失败信号。例如，某运行机组发生下述任一情况时均产生请求起动备用机组的信号。

1)原动机的滑油压力低或冷却水温高或超速；

2)电网电压 V＞106％或 V＜90％延续 5s(动作值可整定，下同)；

3)电网频率 f＞105％，或 f＜95％延续 5s；

4)发电机电流 I＞126％延续 9s；

5)发电机自动开关误动作等。

当备用机组不满足起动条件或起动失败时，除报警外把请求起动的信号按设定的次序转移给后序备用机组；当无备用机组可用时应给出“机组用尽”的指示信号。

11.4 备用发电机组自动起动过程的控制

起动过程的控制通常包括下述一些基本环节：

1)起动能源(气源、电源、液力和燃油)的控制；

2)起动次数的监视(用定时或计数)；

3)起动周期(起动持续时间和连续起动的间隔时间)的控制；

4)起动成功的检测。通常以点火转速或与点火转速相应的滑油压力作为检测起动成功的整定值；或者以达到正常转速或正常电压作为整定值。

5)起动失败的处理,包括报警、发停机指令、“阻塞”本机再起动和转移起动指令等。

以图 8.3.1－60 所示的 6250－ZC 柴油机自动起动装置为例来说明柴油发电机组自动起动控制原理。自起动控制信号接通电磁阀 8,起动动力缸 7 在顶起油门压板打开油门的同时将主空气阀 6 打开,使压缩空气经空气分配器进入柴油机气缸,开始起动;直到有起动中止或起动成功或起动失败信号时,才断开起动电磁阀 8;电磁阀 8 关闭,动力缸 7 复位,关闭主空气阀 6,停止起动。当发生延续超速时,超速信号接通超速保护电磁阀 4,超速动力缸 5 压下油门杆压板,关闭油门,自动停机。当柴油机的滑油压力过低时,低压保护缸 3 由于低压而拉下油门杆压板,关闭油门,自动停机。不论何种原因,要执行停机时,使停机信号接通停机电磁阀 2,滑油压力被旁路,造成“低压保护缸 3”动作而关闭油门,自动停机。

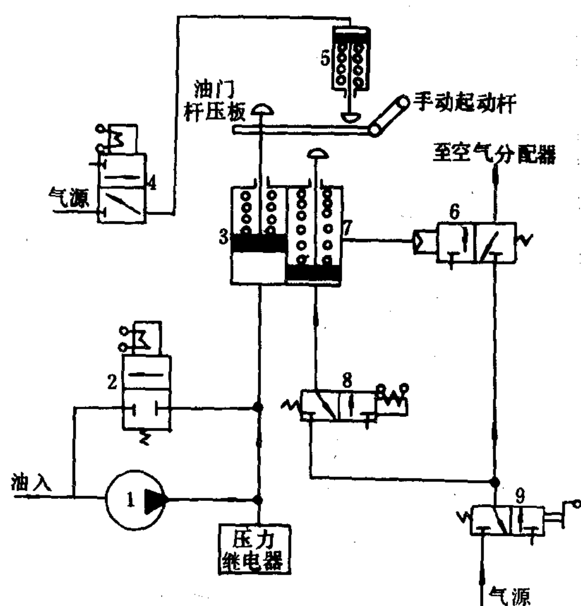


图 8.3.1－60 6250－ZC 柴油机起动控制原理

1－油泵;2－停机电磁阀;3－滑油低压保护缸;

4－超速电磁阀;5－超速动力缸;6－主空气阀;

7－起动动力缸;8－起动电磁阀;9－手控阀

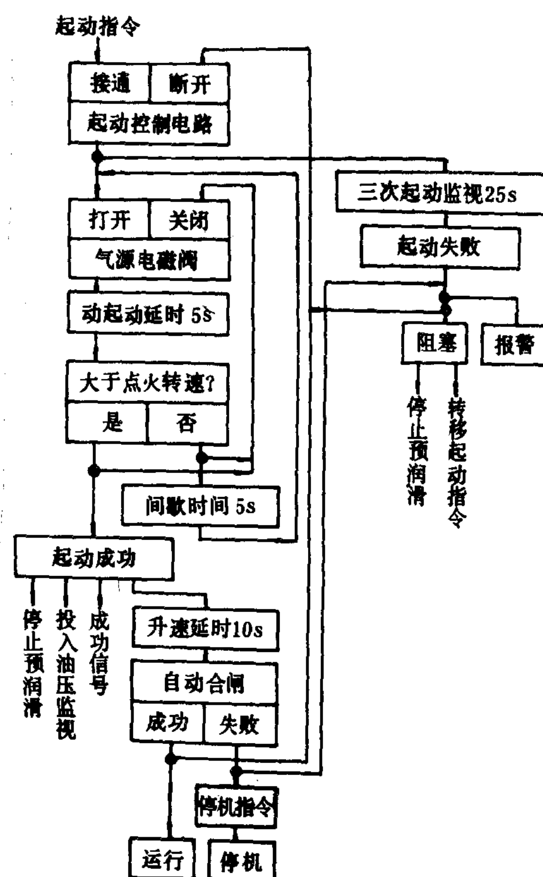


图 8.3.1－61 单机运行自起动控制流程图

对于自动起动过程的控制部分,单机运行自动化与并联运行自动化系统有所不同。单机运行自动化系统通常是当备用机组起动并达正常电压时,发电机的自动开关便自行直接合闸投入电网;而在并联运行自动化系统中备用机组起动后往往需要自动并车投入电网。例如运行机组发生过载而要求增机时,或运行机组发生非严重故障时,均要求先自动并联备用机组而后解列故障运行机组。

图 8.3.1－61 为一单机运行自动化系统的柴油副机自动起动控制流程图。图 8.3.1－62

是一并联运行自动化系统的自动起动的控制流程图。

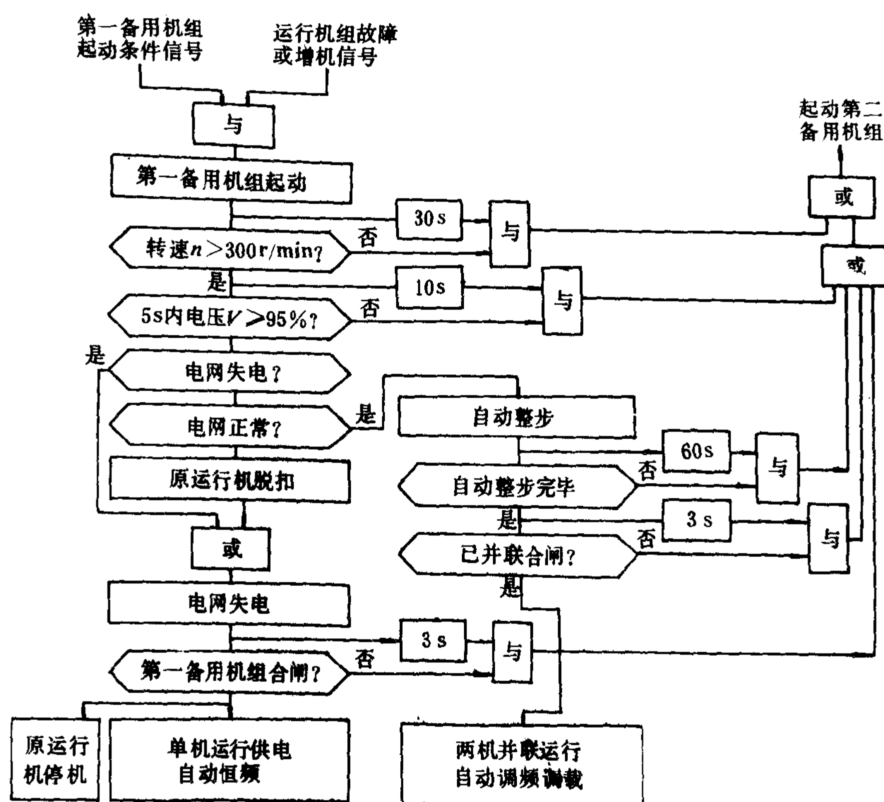


图 8.3.1-62 并联运行的自起动控制流程图

11.5 柴油发电机组自动停机的控制

自动停机的控制通常作为发电机组自动起动控制系统中的一个环节，根据自动化电站的类型和停机原因的不同而有不同的控制程序。由于严重故障而引起的自动停机称为故障(或紧急)停机，如超速、滑油压力过低或冷却水温过高等。这种停机的控制，不论是单机自动化或是并联自动化的电站，都将直接控制停机电磁阀(见图 8.3.1-60)或燃油电磁阀，使机组停转，并执行故障处理程序，如报警、发出起动备用机组信号和"阻塞"本机组自动再起动等。对于正常停机则没有故障处理程序，但在控制上须保证在执行停机过程中不接受自动起动或自动合闸的信号，直到转速为零后重新恢复自动起动和自动合闸的功能。

图 8.3.1-63 为一单机运行自动化电站的停机控制流程图。图 8.3.1-64 为一并联运行自动化电站的正常停机控制流程图。

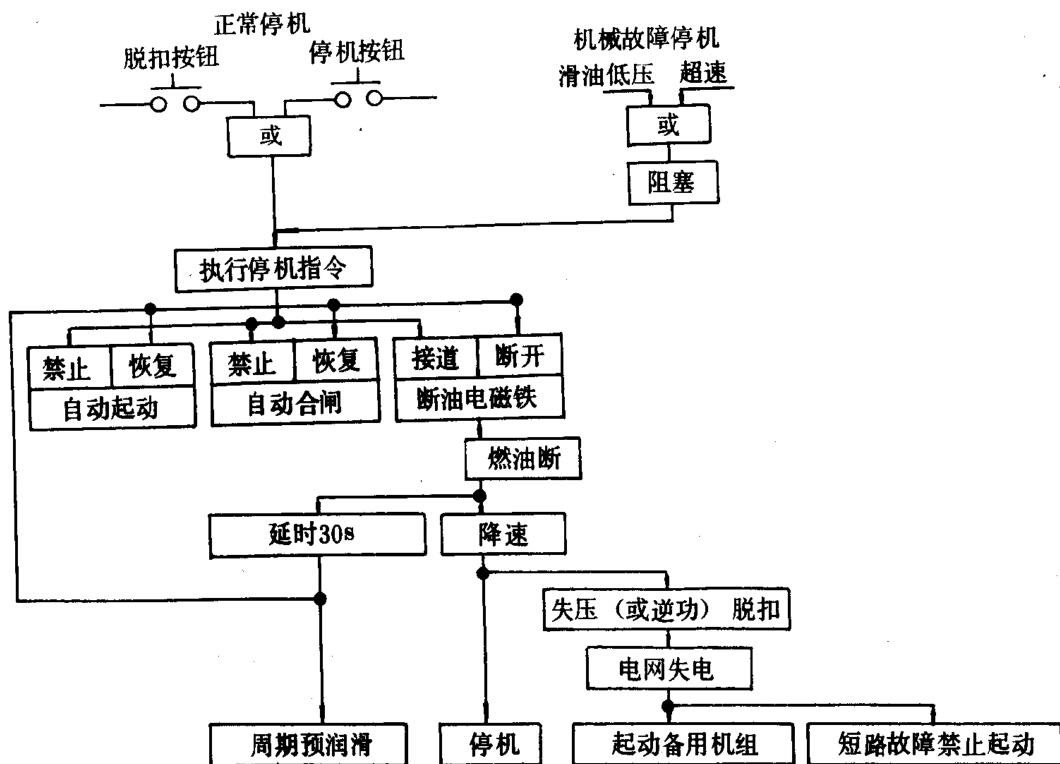


图 8.3.1—63 单机运行自动停机控制流程图

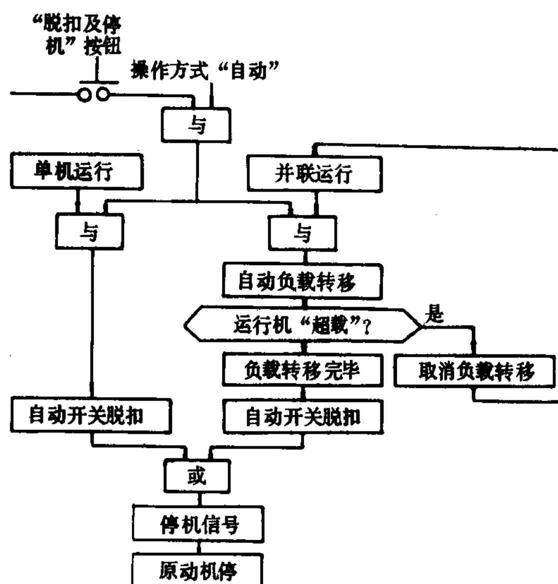


图 8.3.1—64 并联运行自动电站停机控制流程图

11.6 自动并车装置

自动并车装置(或称自动整步器)是并联运行自动化电站不可缺少的环节。它的基本功能

是对待并发电机实现自动整步和自动合闸，即：

1）自动检测待并发电机电压和电网电压之间的频率差和频差方向（或称频差符号）。根据频差方向发出相应的“加速”或“减速”信号，以便减小频差，创造合闸条件。

2）自动检测合闸条件。当待并发电机与电网之间的电压差、频率差和相位差同时满足合闸要求时，发出合闸指令以实现准同步合闸。

因此，自动并车装置通常是由两大基本部分所组成，即调速部分和合闸控制部分。此外，各种具体的自动并车装置还有些不同的附加功能环节，如呆滞扰动和单机投入环节等等。

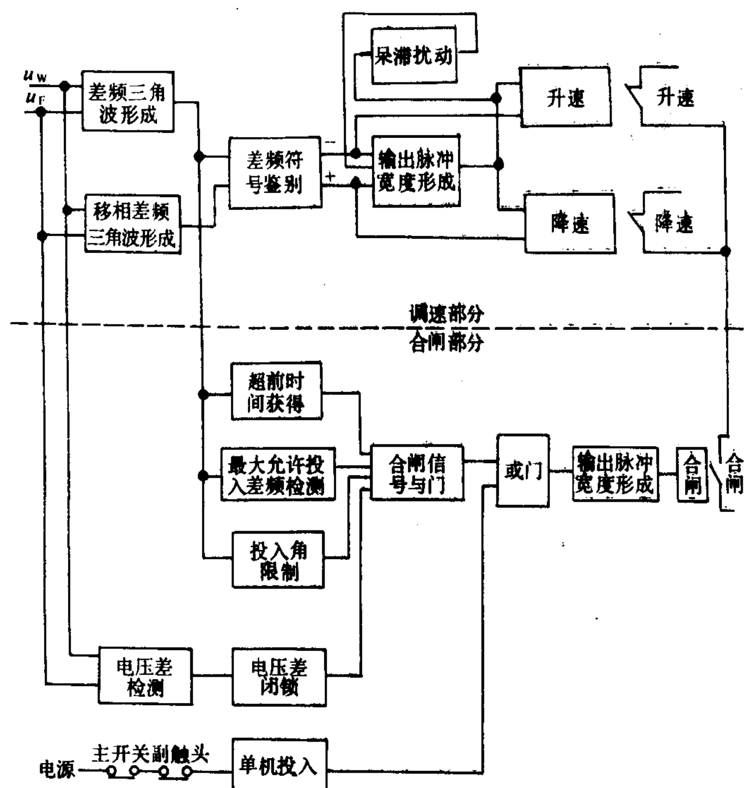


图 8.3.1－65　ZB－1(A)自动整步器方框图

图 8.3.1－65 是国产 ZB－1(A)自动整步器的方框图。图中差频电压的形成环节给合闸部分提供频差和相位差的信息；差频电压和移相差频电压向调速部分提供频差方向的信息。考虑到发电机自动开关的固有动作时间，合闸指令须提前发出，因此有恒定超前时间（如 ZB－1A）或恒定超前相角这两种不同方式的自动并车装置。ZB－1(A)自动整步器还采用“最大允许频差检测”和“投入角限制”这样双重环节来保证合闸的频差条件。

11.7　发电机与电网间的差频电压

由发电机电压与电网电压所形成的脉动差频电压 u_s（以下简称差频电压）为自动并车提供频差（或角频差 ω_s）和相位差 δ 的信息。利用各种波形的差频电压 u_s 与相位差 δ 之间的数值对应关系，可用检测电压值 u_s 来代替检测对应的相位差值 δ；利用各种波形差频电压的变化周期 T_s 与频差之间的反比关系，用检测频差周期 T_s 来代替检测频差；同时，频差方向的信息也往往来源于差频电压。以下是自动并车装置最常采用的几种差频电压波形的形成原理。

1）正弦波差频电压

图 8.3.1－66 为正弦波脉动电压形成的原理电路。将输入的发电机电压信号 U_F 和电网电压信号 u_w 反相串联形成合成电压 u，再经整流、滤波后便得到正弦脉动差频电压 u_s，设发电机电压信号（或电网电压信号）的最大值为 U_m，则：

$$U_S \approx 2U_m|\sin\omega_s t/2| = 2U_m|\sin\delta/2| \qquad (8.3.1-47)$$

其波形如图 8.3.1－67 所示。应注意到图中 u_s 的大小与相位差 δ 间的一一对应关系和 u_s 的变化周期 T_s 与频差 f_s（或角频差 ω_s）间的反比关系。

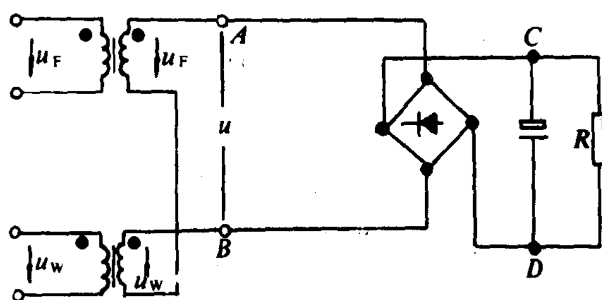


图 8.3.1－66　正弦波差频电压的形成

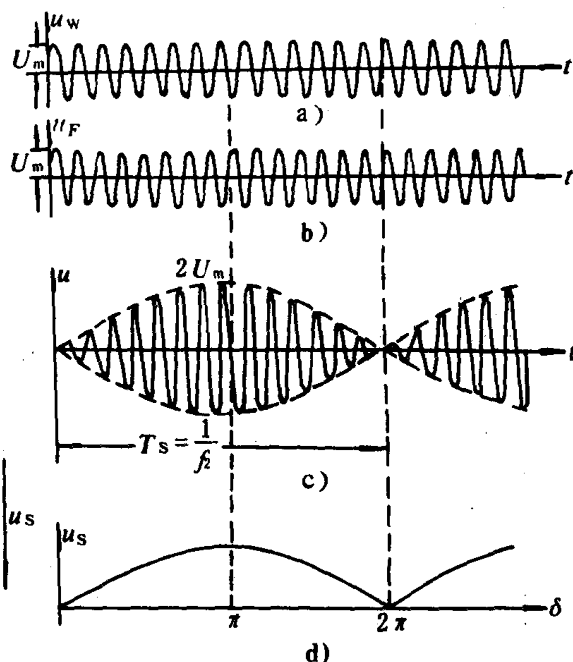


图 8.3.1－67　正弦差频电压的波形图

2)三角波差频电压

能够产生三角波差频电压的电路有各种不同的形式，但其主要组成部分是相敏电路和滤波电路。图 8.3.1－68 即为原理电路之一。它由具有“异或”逻辑门功能的相敏电路和滤波电路两部分组成。发电机和电网的正弦波电压分别经整形后变成开关量信号电压 F 和 W，作为相敏电路的输入信号。根据“异或”逻辑功能，相敏电路输出的开关量电压为：

$$P_2 = W \cdot \bar{F} + \bar{W} \cdot F \qquad (8.3.1-48)$$

脉冲序列 P_2 经滤波后得到“同相”三角波差频电压 u_s，其波形如图 8.3.1－69 所示。

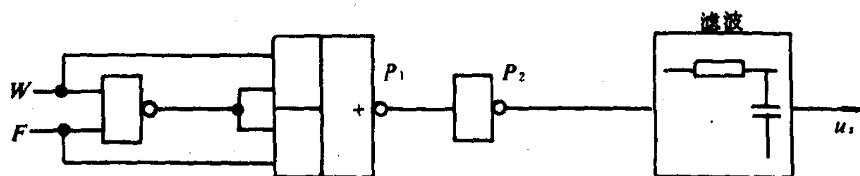


图 8.3.1－68　三角波差频电压形成原理

按照检测并车条件的需要，可写出“同相”三角波差频电压下降部分的电压关系式：

$$U_s = -\frac{H}{\pi}\delta = -\frac{H}{\pi}\omega_s t = -\frac{2H}{T_s}t \qquad (8.3.1-49)$$

式中：H——三角波差频电压的最大值；

δ ——超前相角($-\pi<\delta<0$)；

t ——超前时间($-T_s/2<t<0$)。

由式 8.3.1－49 可知，U_s 与 δ 有直线性数值关系，且当 $\delta=0$ 时 $U_s=0$，$\delta=-\pi$ 时 $U_s=H$（最大）。三角波差频电压的周期 T_s 与角频差 ω_s 成反比。

若将信号由相敏电路的 P_1 端引出，则输出信号与输入信号间具有“同或”逻辑关系，即：

$$P_1 = W \cdot F + \overline{W} \cdot \overline{F} \quad (8.3.1-50)$$

而 P_1 脉冲序列的波形恰好与“异或”相敏电路的 P_2 反相，即 $P_2 = \overline{P}_1$。因而，经滤波后将得到叫做“反相”的三角波差频电压 U_s。当 $\delta=0$ 时反相 $U_s=H$ 最大；而当 $\delta=\pm\pi$ 时 $U_s=0$。

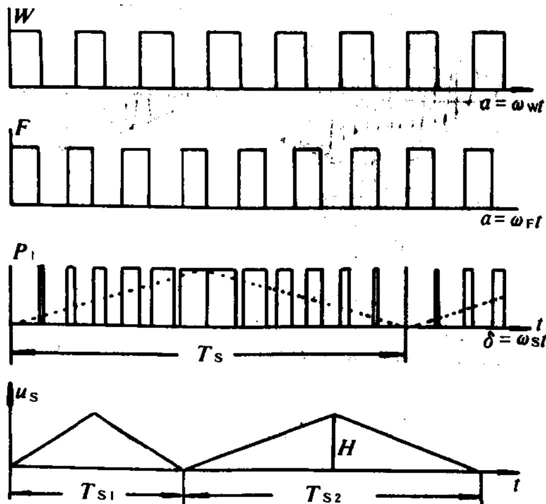


图 8.3.1—69　三角波差频电压的波形图

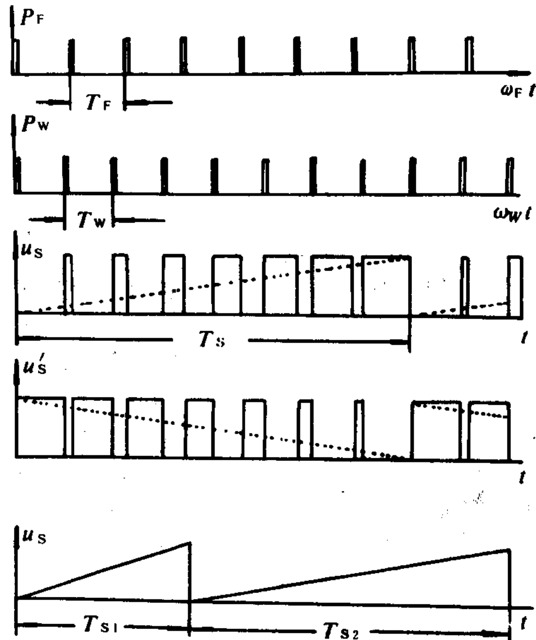


图 8.3.1—70　锯齿差频电压波形图

3)锯齿波差频电压

图 8.3.1—70 中由“与非”门、R—S 触发器和滤波器构成了锯齿波差频电压的形成电路。电路中输入脉冲电压 P_F 和 P_W 的频率分别代表发电机电压的频率 f_F 和电网电压的频率 f_w。根据“与非”与 R—S 触发器的逻辑功能和触发原理可知，电路将同时输出两个周期相同而跳沿方向相反的齿锯电压 U_s(图中 V_2 端)和 U_s'(V_1 端)。U_s(或 U_s')的跳沿方向与频差方向有关。图 8.3.1—70 和图 8.3.1—71 中所示为负频差情况，即发电机电压频率低于电网电压的频率。当正频差时，与图示 U_s 和 U_s' 的跳沿方向恰好相反，即正频差时 U_s 的波形及跳沿方向恰与负频差时的 U_s' 相同，而正频差时的 U_s' 与负频差时的 U_s 相同。因此，可通过鉴别锯齿差频电压的跳沿方向来判别频差方向，从而提供正确的调速信号。同时，U_s(或 U_s')与相位差 δ 有直线关系，因而由 U_s(或 U_s')的大小可检测相位差 δ 的大小。此外，与其它差频电压一样，锯齿波差频电压的周期即为发电机电压与电网电压的频差周期 T_s，而 T_s 与角频差 ω_s 呈反比关系。

4)离散型差频电压

在数字计算机控制的自动并车装置中常采用离散正弦差频电压 U_s^* 和发电机的余弦开关量电压来检测并车条件。

以电网电压的周期 T_w 为采样周期，每当电网电压由负到正的过零时刻，计算机就对发电机的正弦信号电压 u_F 和它的余弦开关量电压 U_Y 进行一次数据采样，这些数据将构成离散型正弦差频电压 u_s^* 和离散型余弦开关量电压 u_Y^*，其采样原理如图 8.3.1—71 所示。离散差频电压的周期 T_s 与频差 ω_s 成反比；离散差频电压 u_s^* 的符号与频差方向有关。正频差时，$u_s^*=\sin\delta$；负频差时 $u_s^*=-\sin\delta$，如图 8.3.1—72 所示。

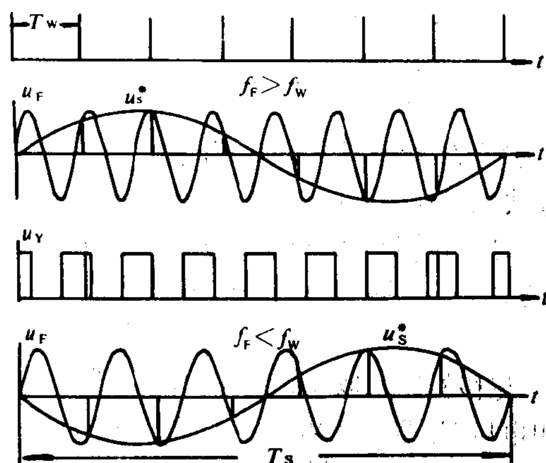


图 8.3.1—71 采样原理

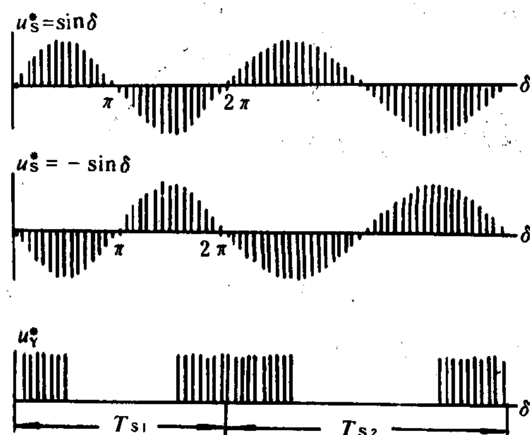


图 8.3.1—72 u_s^* 与 u_Y^* 波形图

离散型差频电压 u_s^* 每一频差周期两次过零点，$\delta=0$（或 2π）的零点称为同相点；$\delta=\pi$ 的零点称为逆相点。在同相点前后 $\pi/2$ 的范围内，余弦开关量的 $u_Y^*=1$；在逆相点前后 $\pi/2$ 范围内 $u_Y^*=0$。根据这些特点来检测并车条件。用余弦开关量来确定同相点和逆相点；用 u_s^* 值的大小来确定发出超前合闸指令的相位 δ；用过逆相点前后 u_s^* 符号变化的方向不同来判别频差方向；用检测 u_s^* 半个周期（即 $1/2T_s$）的长短来检测合闸允许的频差。

11.8 频差符号的鉴别

1）单相法鉴别频差符号

通过鉴别锯齿波差频电压的跳沿方向来鉴别频差符号的方法（见 11.7）即为单相鉴别法，如图 8.3.1—73 所示电路。锯齿波差频电压形成电路的两输出端 V_1 和 V_2 分别接微分电路，则微分电路将输出与锯齿波跳沿方向相同的尖脉冲。频差符号不同时，每个输出端输出的尖脉冲极性相反，从而可获得“加速”或“减速”的信号。

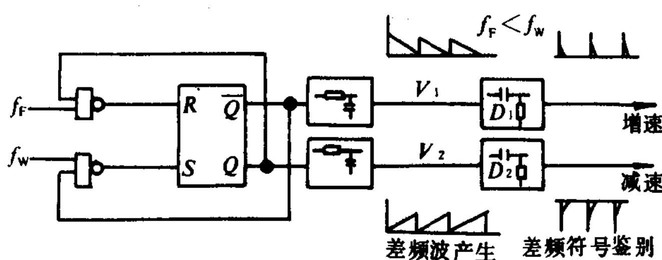


图 8.3.1—73 用锯齿差频电压鉴别频差符号

2）移相法鉴别频差符号

移相法鉴别频差符号的原理是通过鉴别差频电压和移相差频电压的超前、落后关系来判别频差符号。取电网电压相量 $\dot{U}_w$ 和将电网电压移相 θ 角的电压相量 $\dot{U}_w'$ 作为两个相对静止的参考相量，则发电机电压相量 $\dot{U}_F$ 将以频差角速度 ω_s 和频差符号所确定的方向相对于两参考相量 $\dot{U}_w$ 和 $\dot{U}_w'$ 旋转。由于正、负频差时 $\dot{U}_F$ 的相对旋转方向相反，因此 $\dot{U}_F$ 分别与 $\dot{U}_w$ 和 $\dot{U}_w'$ 相重合的前后次序也相反，反过来可用判别 $\dot{U}_F$ 分别与 $\dot{U}_w$ 和 $\dot{U}_w'$ 相重合的前后次序来判别频差符号。设 u_s 是 u_F 与 u_w 之间形成的差频电压，u_s' 是 u_F 与 u_w' 之间形成的差频电压，则 u^s 与 u'_s 将是波形和频率相同而相位相差 θ 角的两个差频电压。根据上述重合原理可知，当正频差时 u_s 超前于 u'_s θ 角；负频差时则 u_s' 超前于 U_s θ 角。图中的 u_s 和 u_s' 均为“反相”三角差频电压。

频差符号的鉴别和调速信号的控制电路如图 8.3.1—74 所示，各点波形图如图 8.3.1—75 所示。负频差时只输出加速信号，由于 u_s' 产生的矩形脉冲门控信号 S_2 提前打开加速信号控制门，所以落后的 u_s 的微分信号得以通过，发出加速信号 A_1。相反，u_s' 的微分信号不能通过减速信号控制门。因为当 u_s' 被微分生成减速信号时，受 u_s 控制的减速信号控制门还未打开。同理，正频差时 u_s 超前于 u_s'，因此将只发出减速信号。图示为负频差情况。

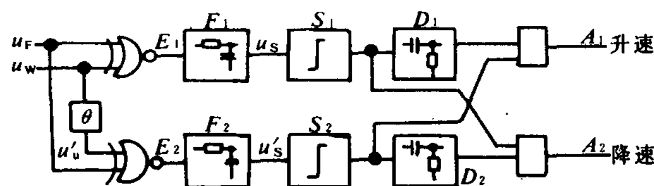


图 8.3.1—74 移相法频差符号鉴别原理

3)多相法鉴别频差符号

与移相法相似，取发电机(或电网)的三相电压 V_A、V_B 和 V_C 作为相对静止的参考相量，则电网电压相量 U_w 将按频差方向以角频差 ω_s 相对于各参考相量旋转，U_w 与 V_A、V_B 和 V_C 分别形成依次相差 120°的三个差频电压 u_A、u_B 和 u_C。正频差时，U_W 的重合次序是 $V_A \to V_B \to V_C$，u_B 超前于 u_C120°；负频差时，U_W 的重合次序是 $V_A \to V_C \to V_B$，u_C 超前于 u_B120°。若取 U_A 为调速的门控信号，用于打开调速信号控制门；取 u_B 作减速信号；取 u_C 作加速信号；并且每次只取第一个通过调速信号控制门的信号作为有效调速信号；那末用这种方法就可在正频差时只发出减速信号；在负频差时只发出加速信号。

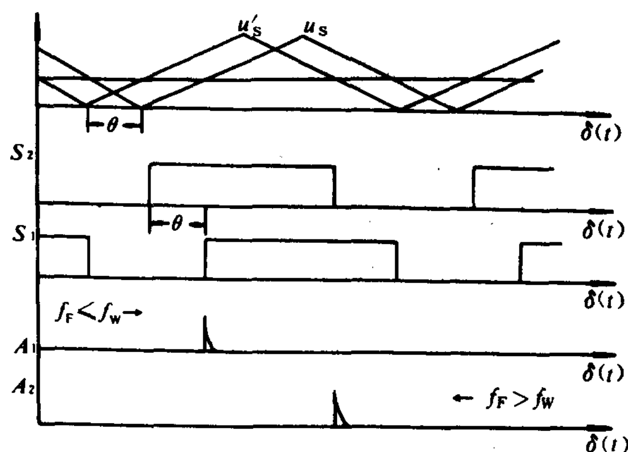
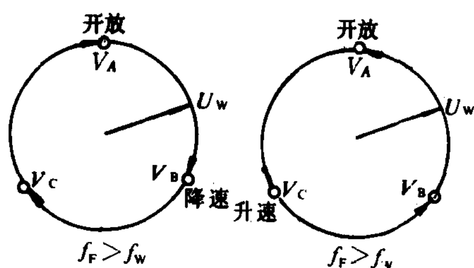


图 8.3.1—75 波形图



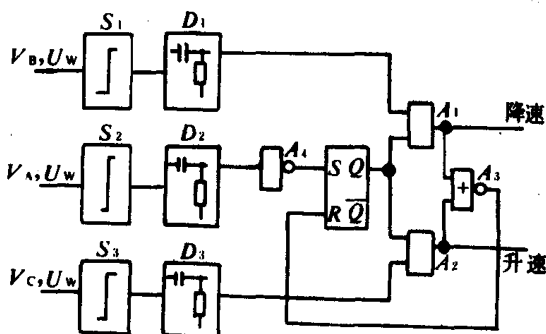


图 8.3.1—76 三相法鉴别频差符号的原理图

图 8.3.1—76 为一三相法鉴别频差符号的原理图。输入三个合成差频波电压，经整形、微分后得到三个相差 120°的正脉冲。A 相门控信号脉冲触发 R—S 触发器，使其置“1”，同时打开两个调速信号控制门。当正频差时，B 相的减速脉冲信号第一个通过调速信号控制门，发出减速信号 A_1；同时 A_1 又通过“或非”门产生反馈信号 A_3，使 R—S 触发器复位，同时关闭两个调速控制门。因此，使落后 120°的 C 相加速脉冲信号不能通过。同理，负频差时将只输出加速信号 A_2，落后于 C 相 120°的 B 相减速脉冲信号不能通过。

4)四相法鉴别频差符号

在三相法的基础上再增加一与 $\dot{V}_A$ 反相的电压 $-\dot{V}_A$ 作为第四个参考相量。电网电压 $\dot{U}_W$ 与 $-\dot{V}_A$ 的合成差频波电压经整形、微分和反相后作为 R—S 触发器的复位信号，代替三相法中的反馈复位信号，从而取消了三相法中的反馈“或非”门。

11.9 调速脉冲宽度

频差符号鉴别环节给出加速或减速信号后，还需要产生相应的具有一定宽度的调速脉冲电压。在该脉冲电压作用期间也就是开大或关小原动机油门的过程。若调速脉冲太窄，必然调速太慢；若太宽则将引起过调整。调速脉冲宽度应与发电机组旋转系统的转动惯量相匹配，使调速过程迅速而平稳。

调速脉冲展宽电路受调速信号的触发。脉冲展宽电路实质是定时控制电路。可采用 R—C 充放电的延时来控制开关电路或用单稳态触发器的延时或用软、硬件计数定时等方法来实现。

图 8.3.1—77 为一调速脉冲展宽和调速信号控制的原理图。图中 V_E 为调速信号，J_1、J_2 分别为加速和减速继电器。脉冲宽度电路用 R—C 充放电控制晶体管开关(图中未画)形成脉冲宽度。调整电阻 R 可改变脉冲宽度，以适应不同发电机组的调速。

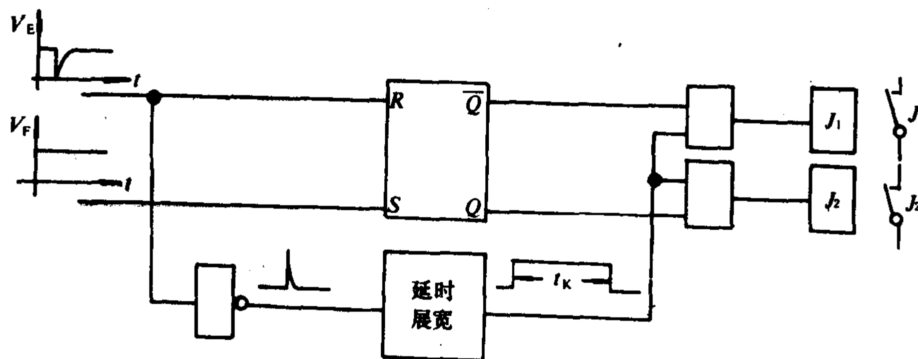


图 8.3.1—77 调速脉宽形成原理

图示为负频差情况，调速信号负脉冲 V_E 触发 R—S 触发器复位，$\overline{Q}$端输出高电平，打开加速继电器 J_1 的控制门；与此同时，V_E 反相触发脉冲展宽电路，产生调速脉冲电压，并通过已打开的控制门，接通加速继电器 J_1，开始加速这一过程一直持续到展宽电路的定时 t_k 时，输出脉冲电压为 0，J_1 断电。在未合闸前，每一频差周期都有一调速信号 V_E(或 V_F)，都要输出一个一定宽度的调速脉冲电压。

11.10 呆滞扰动及单机投入

有些自动并车装置中设有单独的呆滞扰动环节和单机投入环节。

11.10.1　呆滞扰动环节

为减少合闸等待时间，在整步过程中当出现频差周期大于设定值(如 10s)时，呆滞扰动环节将触发调速脉冲控制电路，使发出“加速”或“减速”的扰动调速信号，以增大频差减小频差周期，达到迅速合闸的目的。呆滞扰动环节也是定时控制环节。该定时与频差周期 T_s 相比较，当 T_s 等于或大于呆滞扰动定时(或称呆滞扰动周期)时，将产生呆滞扰动信号。

11.10.2　单机投入环节

自动并车装置通过对电网电压的检测和通过对电站所有发电机自动开关的开闭状态的检测，确信没有任何发电机合闸，确信电网无电时，则发电机的投入不需要整步并车，而是直接产生合闸指令，即单机投入。

11.11　获得恒定超前合闸指令的方法

从发出合闸指令到发电机电压与电网电压同相位接通这段时间称为超前时间。在各种自动并车装置中最常见的有两种不同的方式用来确定发出合闸指令的提前量。一种是采用恒定超前时间方式，另一种采用恒定超前相角方式。但这两种方式均依发电机自动开关的固有动作时间 t_Z 来确定其提前量。

11.11.1　恒定超前时间方式

通常采用比例微分电路来确定恒定超前时间 t_Z。比例微分电路的输入信号为差频电压 u_s，其输出信号为差频电压 u_s 的微分量 du_s/dt 和比例分量 K_2u_s 的合成信号。由于合成信号的零值点比差频电压 u_s 的零值点超前一恒定的时间，且不受频差变化的影响，因此用检测比例微分合成信号的零值点的方法来确定发出合闸指令的超前时间，只要通过调整比例或微分量，使合成信号出现零值点的超前时间恰好等于发电机自动开关的固有动作时间 t_Z 即可。

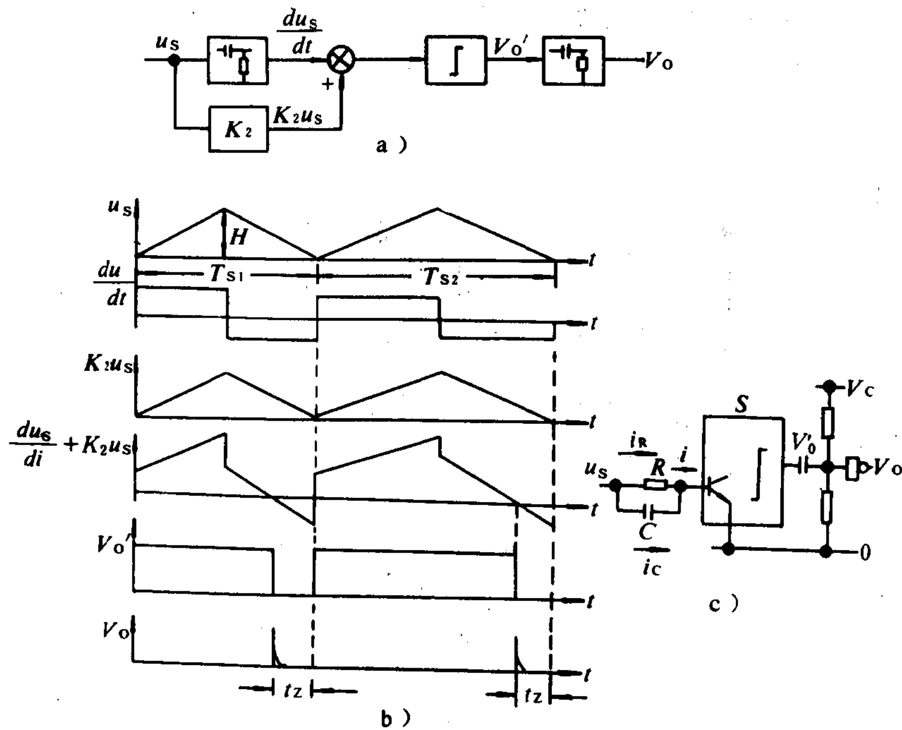


图 8.3.1—78　获得恒定超前时间的原理

a)检测原理图；b)波形图；c)原理线路图

图 8.3.1—78 是获得恒定超前时间的原理图。图 c 电路中的 R 和 c 构成比例微分电路。设输入信号为三角波差频电压 u_s，则其比例分量和微分量以及合成信号的波形如图 b)所示。三角波下降部分的电压由式(8.3.1—49)确定，那末该部分的合成信号则为：

$$i=\frac{u_s}{R}+c\frac{du_s}{dt}=-\frac{2H}{RT_s}t-\frac{2c}{T_s}H \qquad (8.3.1-51)$$

当合成信号 i＝0 时，即可求得超前时间：

$$t=-RC \qquad (8.3.1-52)$$

可见，在一定的频差范围内，超前时间（负号表示超前）是与频差无关的恒定常数。只须调电路参数 R 或 C 便可获得与发电机自动开关的固有动作时间 t_Z 相等的恒定超前时间。

合成信号通过检零整形电路得到矩形脉冲电压（图 b 中的 V_0'），该矩形波的下跳沿处即为恒定的超前时间。因此，将矩形波通过微分电路，则其下跳沿所对应的正脉冲即为恒定超前时间的合闸指令。

11.11.2 恒定超前相角方式

超前相角与超前时间的关系是：$\delta=\omega_s t$。若超前相角恒定则当频差 ω_s 变化时超前时间 t 将与之反比变化而不能保持恒定。为获得满意的合闸效果恒定超前相角应按下式确定，即

$$\delta_Z=\omega_Y t_Z \qquad (8.3.1-53)$$

式中：ω_Y——预定的最合适的合闸频差；

t_Z——自动开关的固有动作时间。

恒定超前相角所对应的差频电压值为：

$$U_{sZ}=2U_m\sin\frac{\delta_Z}{2} \qquad (8.3.1-54)$$

或

$$U_{sZ}=-\frac{H}{\pi}\delta_Z \qquad (8.3.1-55)$$

若鉴幅器的返回电平调整为 u_{sZ} 值，则 u_{sZ} 值所对应的超前相角即为 δ_Z。将鉴幅器整形电路输出的矩形波进行微分，则其下跳沿所对应的正脉冲即为恒定超前相角的合闸指令，如图 8.3.1—79 所示。

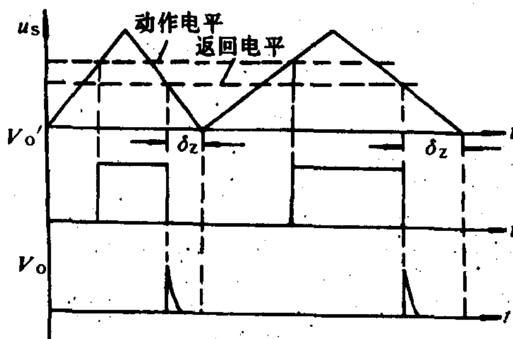


图 8.3.1—79 获得恒定超前相角原理

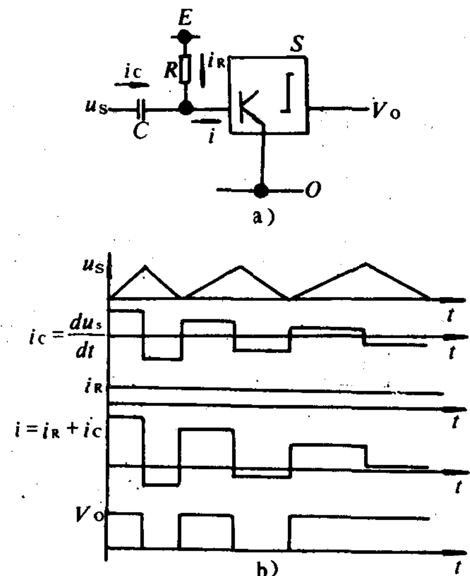


图 8.3.1—80 微分法频差检测原理

a）原理电路；b）波形图

获得恒定超前相角比获得恒定超前时间来得简单，但很难保证准确的同相位合闸。它适用于发

电机自动开关固有动作时间小的(如 $t_Z \leqslant 0.1s$)自动并车装置。

11.12 允许频差的检测原理

1)微分法频差检测原理

差频电压的最大幅值不变,则差频波的斜率将随频差(或频差周期)的大小而变。例如,三角波差频电压的斜率与频差成正比(与频差周期成反比)。即频差越大,三角波差频电压的斜率越大。因此,通过检测差频电压的斜率值可获得相应的频差值。

差频电压的斜率即差频电压对时间的导数。因此,通过微分电路即可得到差频电压的斜率值。然后将微分电路的输出值与给定的最大允许频差的对应值相比较,以确定发出频差"开放"或是频差"闭锁"的信号。

图 8.3.1—80 是微分法检测频差的原理图,图 a)中 $i_R = E/R$ 是对应于最大允许频差的设定值;$i_c = cdu_s/dt$ 是与实际频差成正比的差频电压的斜率;其合成信号电流是 i_R 与 i_c 的代数和。在差频电压 u_s 的后半周$(-\pi \sim 0)$,i_c 幅度与给定值 i_R 相比较,当合成电流 $i<0$ 时表示实际频差大于给定值,检零开关电路输出低电平的频差"闭锁"门控信号;当合成电流 $i>0$ 时表明实际频差小于给定值,检零开关电路输出高电平的频差"开放"的门控信号,其波形见图 b)。

2)恒定超前时间、恒定超前相角监视频差

对于采用恒定超前时间的自动并车装置,还可以同时采用恒定超前相角来共同监视并车的允许频差条件。根据 $\delta = \omega_s t$ 的关系,一恒定的超前相角 δ 在不同的频差下将对应不同的超前时间 t。频差周期越长 δ 所对应的超前时间 t 也越长。或说 δ 所对应的超前时间越长则频差越小。因此,可用检测恒定超前相角所对应的超前时间 t 的长短来代替检测频差的大小。

通常恒定超前相角的整定值是用最大允许频差 w_{sm}和自动开关的固有动作时间 t_Z 所确定的,即 $\delta_Z = \omega_{sm} t_Z$。将恒定超前相角 δ_Z 在任一频差下所对应的超前时间 t 与恒定超前时间 t_Z 相比较;当 $t<t_Z$ 时,说明实际频差大于最大允许频差,禁止合闸;当 $t \geqslant t_Z$ 时即为实际频差小于或等于最大允许频差,可以发出频差"开放"门控信号。

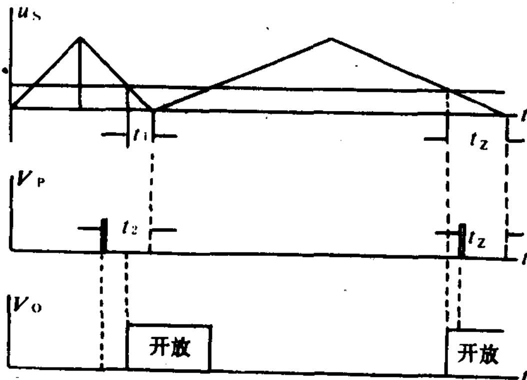


图 8.3.1—81　允许频差监视原理图

恒定超前相角 δ_Z 的整定值可用电压鉴幅器监测其所对应的差频电压值 u_{sZ}来代替。图 8.3.1—81 为合闸的允许频差的监视原理波形图,图中 t_1、t_2 是在不同频差下恒定超前相角 δ_E 所对应的超前时间,t_1 是实际频差大于最大允许频差的超前时间;t_2 是小于最大允许频差的超前时间。图中 V_p 是恒定超前时间的合闸指令脉冲;V_0 是恒定超前相角所对应的矩形脉冲。用 V_p 与 V_0 构成的"与"逻辑关系来实现对允许频差的监视。在 $t_1<t_Z$ 时,合闸指令 V_p 恰出现在频差"闭锁"期间,所以 V_p 为无效指令;在 $t_2>t_Z$ 时,合闸指令出现在频差"开放"期间,表明频差已达到允许合闸的条件。

11.13 允许电压差检测原理

电网电压和发电机电压分别经整流、滤波并相减后得到差值电压。将差值电压再经整流后得到电压差的绝对值 $|\Delta U|$。将 $|\Delta U|$ 输入到鉴幅器,当 $|\Delta U|$ 大于鉴幅器的整定值时,输出电压

差“闭锁”的门控信号；当$|\Delta U|$小于整定值时，输出电压差“开放”的门控信号。

11.14 微型计算机自动并车原理

11.14.1 采用中断方式的自动并车原理

1)数据的采集与处理

设以电网电压的周期T_w为中断周期，每中断一次对发电机的正弦模拟电压u_F和它的余弦开关量电压u_Y进行一次数据采样，并对数据进行处理，然后发出控制信息。此后，等待下次中断，重复进行，直到完成合闸。

每次中断采样后计算机中存贮的数据是：上次采样的u_F值OLDsinδ和本次采集的u_F值NEWsiniδ以及本次采集的余弦开关量u_Y^*。每次中断处理完毕，NEWsinδ变成OLDsinδ，准备下次采集新数据。

2)频差符号的鉴别

这是中断处理的内容之一。每当离散的正弦差频电压sinδ过逆相零点时都做一次频差符号的鉴别，并发出相应的调速指令。其方法是每采样一次，就对NEWsinδ和OLDsinδ的符号进行一次比较，若两者符号相反，则说明刚过了零点。接着检查余弦开关量的采样值，若u*r=0则所过的零点为逆相点。此后，再根据过零点后的NEWsinδ的符号来判别正、负频差。当NEWsinδ为正号时即为正频差情况，应发减速信号；若符号为负时则为负频差，应发加速信号(见图8.3.1—82波形图)。

3)频差周期T_s的检测

频差周期的检测是中断处理的内容之二。从sinδ过零开始，每采样一次就进行一次加1计数，半个频差周期的采样计数时间即为$1/2T_s$。将此计数与设定数(如相当于3s的数)相比较，当所计之数小于设定值时，即频差大于允许频差，应继续采样、调速、计算和比较，直到计数值等于或大于设定值时则程序将转入超前时间的预测程序。若频差周期计数大于相当于5s的数值时则将发出扰动调速信号。

4)超前时间的预测

由程序限定，当进入同相点前90°范围内时便开始预测超前时间。当检测到$|NEWsin\delta|<|OLDsin\delta|$，且余弦开关量$u_Y^*=1$时，即进入了同相点前90°范围，由此开始计算超前时间t。由于在超前相角δ=30°范围内可近似认为sinδ是直线变化的，因而可用相似三角形法乘计算超前时间t。根据图8.3.1—82的相似三角形可得：

$$t=\frac{|NEWsin\delta|}{|OLDsin\delta|-|NEWsin\delta|}\cdot T_w \quad (8.3.1-56)$$

将计算的t与发电机自动开关的固有动作时间t_Z相比较，若：

$$|t-t_Z|<T_w \quad (8.3.1-57)$$

则发合闸指令。否则，等待下一采样周期，重复进行，直至满足上式，发出合闸指令发电机投入电网为止。

11.14.2 采用软件计数法的并车原理

电网电压、发电机电压以及这两者之间的电压差均以开关量的形式输入计算机接口。

1)周期差(指发电机电压的周期T_F与电网电压的周期T_w之差)及其符号的检测。

在周期差的检测中规定了两个限定数字。一是代表最大允许周期差$\triangle T_2$的数字，另一是代表呆滞周期差$\triangle T_1$的数字，并且程序限定须在发电机频率高于电网频率时进行合闸。因此

允许合闸的周期差范围是：

$$\Delta T_1 \leqslant T_w - T_F < \Delta T_2 \qquad (8.3.1-58)$$

T_W 和 T_F 之差可用软件循环计数法检测。从电网电压的正跳沿开始作循环加 1 计数直到后跳沿为止，所计之数即为 $1/2T_W$。然后从发电机电压的正跳沿开始进行减 1 计数。若在发电机电压后跳沿到来之前计数器已减为 0，即 $T_F > T_W$，应发加速信号；若在后跳沿到来时计数器仍未减到 0，即 $T_F < T_W$（此时已进入正频差）；这时还要将计数器所余之数（即 $1/2(T_W - T_F)$）与呆滞周期 ΔT_1 相比较，若小于 ΔT_1 应继续发加速信号以增大频差；若余数大于最大允许周期差 ΔT_2，应发减速信号。当周期差处于 ΔT_1 和 ΔT_2 之间时则转入合闸程序。

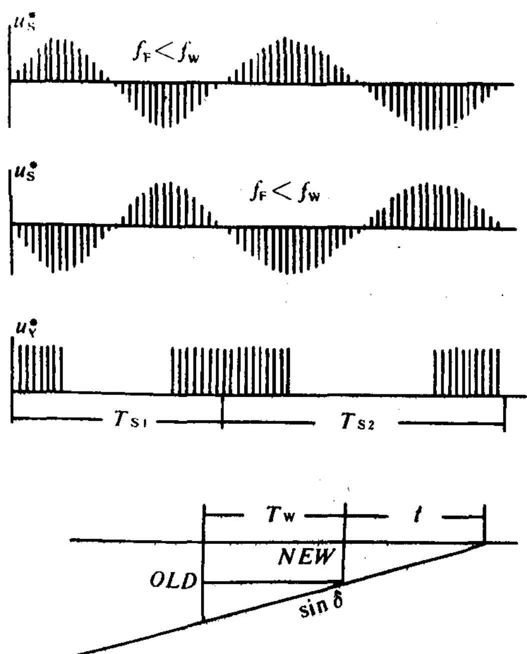


图 8.3.1－82　并车条件检测原理

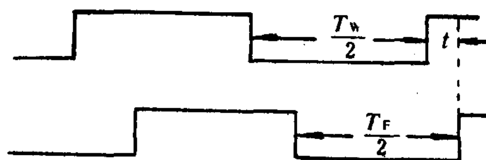


图 8.3.1－83　时间相位差检测原理

2）恒定超前相角的预测

以电网电压的周期 T_W 为标准，则电网电压与发电机电压之间的“角度”相位差 δ 和它们之间的“时间”相位差 t 的关系为 $\delta = 2\pi \cdot t/T_W$。设相角差为 δ_Z 时所对应的“时间”相位差为 t_p，则：

$$\delta_Z = 2\pi \cdot t_p/T_W \qquad (8.3.1-59)$$

另一方面，在给定允许频差 ω_Y 时则恒定的超前相角 δ_Z 与恒定的超前时间 t_Z（自动开关的固有动作时间）的关系为：

$$\delta_Z = \omega_Y t_Z = 2\pi f_F \cdot \frac{\Delta T_1}{T_W} \cdot t_Z \qquad (8.3.1-60)$$

式中：ΔT_1——与允许频差相应的周期差；

f_F——发电机的频率。

比较上述两式，并设 $f_F \approx 50\text{Hz}$，则可得：

$$t_p = f_F \cdot \Delta T_1 \cdot t_Z \approx 50 \cdot \Delta T_1 \cdot t_Z \qquad (8.3.1-61)$$

因此，可用预测“时间”相位差 t_p 代替预测恒定超前相角 δ_Z。

3）时间相位差 t_p 的预测

用计数比较法，从电网电压的正跳沿开始做循环加1计数，直到发电机电压的正跳沿出现为止（如图8.3.1－83所示），所计之数即为时间相位差 t。将计算的 t 与给定的 t_p 相比较，若 $t \neq t_p$，则在下一个周波再重复计算和比较，直到 $t \approx t_p$ 时发出合闸指令。

11.15 自动频载调节装置

自动调频调载装置又称频载调节器或自动有功负荷分配器，是属于代替人工操作的二次自动调节装置，用以弥补一次调节器的有差特性和调差系数不一致所造成的频率偏差和有功分配偏差较大的缺陷。自动频载调节器可在不同的负荷下自动保持电网频率恒定不变，自动保持各并联机组间的有功负荷按容量比例或预定的要求合理分配，并且有接受对并联机组的解列指令自动进行负载转移的功能。

船舶电站的频载调节器多为按虚有差准则进行工作的。虚有差准则可用下式表示：

$$\Delta f + K_i(P_i - \alpha_i \sum_1^n P_i) = 0 \qquad (8.3.1-62)$$

对同容量的并联机组可改写为如下形式：

$$\Delta f + K_i(P_i - \frac{1}{n}\sum_1^n P_i) = 0 \qquad (8.3.1-63)$$

或

$$\Delta f + K_i(P_i - P_0) = 0 \qquad (8.3.1-64)$$

式中：n ——并联机组台数；

α_i ——第 i 台机组承担总功率的百分数；

P_i ——第 i 台机组的实际功率；

K_i ——第 i 台机组调速器的调差系数；

Δf ——实际电网频率与额定频率之差；

P_0 ——平均功率（$=\frac{1}{n}\sum_1^n P_i$）。

若用与频率偏差和有功分配偏差信号成比例的信号电压表示，则虚有差准则可写为：

$$\Delta U_f + \Delta U_i = 0 \qquad (8.3.1-65)$$

式中：ΔU_f——与频率偏差成比例的信号电压；

ΔU_i——与有功分配偏差（$P_i - P_0$）成比例的信号电压。

11.16 虚有差频载调节系统工作原理

频载调节系统是由共用的频率检测环节和各发电机的有功检测和转速调整环节组成，其原理图如图8.3.1－84所示。

1）频率偏差检测环节

主要部件是频率——电压变换器，用来检测电网电压的实际频率对额定频率的偏差，并输出与此偏差成正比的信号电压 ΔU_f。

2）有功分配偏差检测环节

由各发电机的功率——电压变换器和各"均衡"电阻 R 构成"均功"电路（或称有功分配比较电路），其近似等效电路如图8.3.1－85所示。图中 U_1、U_2和 U_3分别为与各发电机实际功率成正比的信号电压；电路的节点电压 $U_0 = 1/3(U_1 + U_2 + U_3)$与平均功率成正比；$\Delta U_1$、$\Delta U_2$和 ΔU_3分别为各发电机的有功分配偏差信号电压，即 $\Delta U_i = U_i - U_0$。

3）调整器环节

按照虚有差准则，将频率偏差信号电压与各发电机的有功分配偏差信号电压分别串联后输入到相应发电机的转速调整器。各调整器将根据综合偏差输入信号电压 $U_{ri}=\Delta U_f+\Delta U_i$ 的正、负和大、小发出相应的“加速”或“减速”信号，直到消除这种偏差使 $U_{ri}=0$为止。

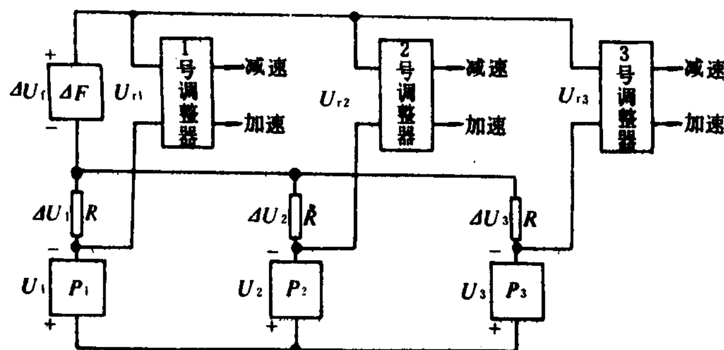


图8.3.1－84 虚有差频载调节系统原理图

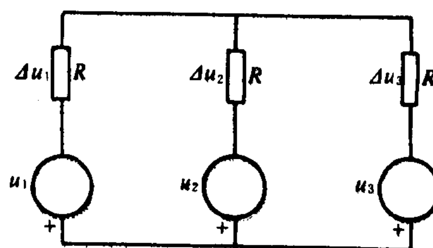


图8.3.1－85 “均功”等值电路

11.17 负载转移控制原理

频载调节器在发电机自动开关合闸后立即投入工作，接受频率偏差和有功分配偏差信号。进行负载转移，实现恒频和“均功”。例如，在图8.3.1－86中，设2号机为刚投入的机组，1号机为原运行机组，则由于 $P_2=0$而在 P_1P_2回路中产生均衡电流，并在 R_1和 R_2上产生极性相反的有功分配偏差信号电压，使2号机“加速”，1号机“减速”。直到 $P_2=P_1$、偏差信号电压为0，负载转移完毕，实现了“均功”。

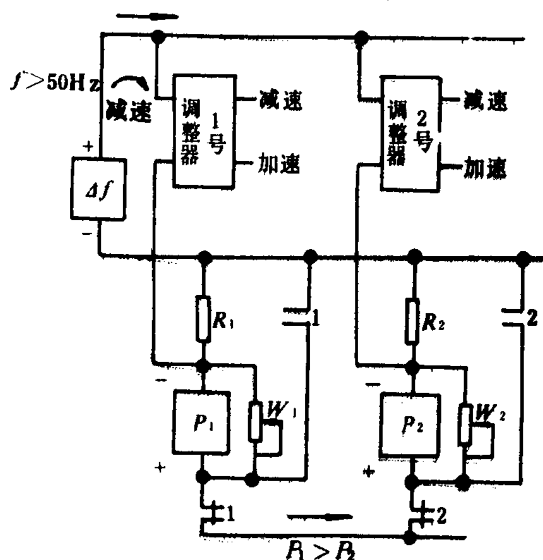


图8.3.1－86 负载转移的控制

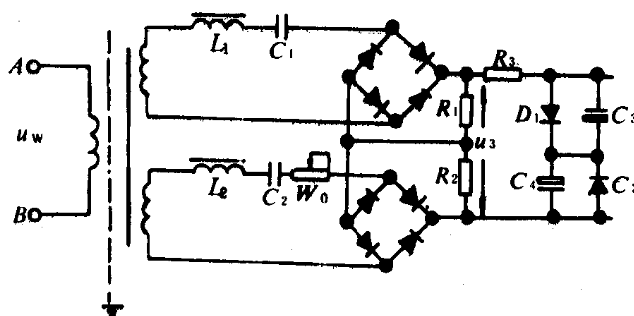


图8.3.1－87 频率变换器原理图

当某并联运行机组被解列时，由解列继电器控制负载转移。设图中1号机组被解列时，解列指令首先使1号机组的解列继电器1动作。它的常闭触头断开1号机的“均功”联接，使发电机退出“均功”；而它的常开触头闭合，使1号机的功率信号与 R_1构成闭合回路，则该回路电流在 R_1上产生的偏差信号电压使1号机减速。由于同时保持频率不变，则在1号机功率减小时2号机功

率增加。直到1号机的功率为0时，R_1上的偏差信号电压为0，负载转移完毕。此时可由空载继电器检测使1号发电机的自动开关脱扣或由手动按钮脱扣。

11.18 频率变换器

频率——电压变换器输入电网电压，输出直流信号电压U_f（或用Δu_f表示）与频率偏差$\Delta f=f-f_e$成正比。f为电网频率，f_e为额定频率。

11.18.1 谐振时频率变换器

由两个R－L－C串联谐振回路和直流平均值电路构成。第一回路的谐振频率$f_1=\frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}}=55Hz$，第二谐振回路的频率$f_2=\frac{1}{2\pi\sqrt{L_2C_2}}=45Hz$。当$f=f_e=50Hz$时，$U_1=U_2$，输出的直流平均电压$U_f=0$；当$\Delta f=f-f_e>0$时，$U_f>0$；当$\Delta f<0$时，$U_f<0$。图8.3.1－87、88分别为其电路原理图及其输出特性曲线图。

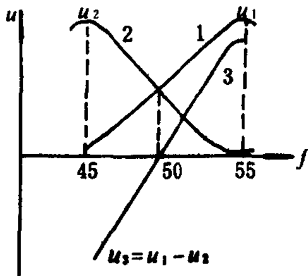


图8.3.1－88 频率变换器输出特性

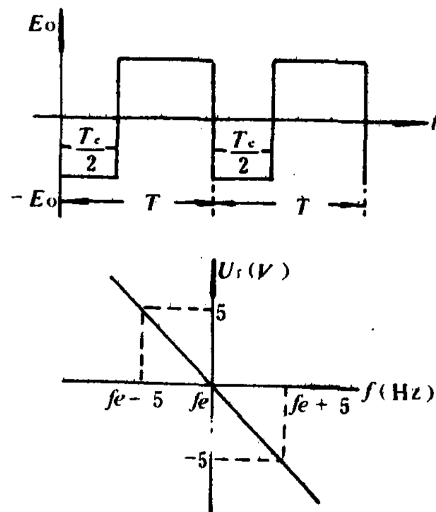


图8.3.1－89 频率－电压变换原理

11.18.2 EPF－3F型频率变换器原理

变换器输入电网电压，产生与电网电压频率相同、幅度为$\pm E_0$的脉冲电压。脉冲电压负半周的宽度为一不变的常数，等于1/2额定周期T_e。脉冲电压正半周的宽度则随频率f的变化而变化，见图8.3.1－89。因此一个周期中脉冲电压的平均值也将随电网频率的变化而变化。由波形图可写出一个周期中脉冲电压的平均值为：

$$U_f=[-E_0\cdot T_e/2+E_0(T-T_e/2)]/T=-E_0\Delta f/f_e \quad (8.3.1-66)$$

式中：$T=1/f$；$\Delta f=f-f_e$。

由上式可知，频率变换器输出的平均直流电压与频率偏差成正比，其输出特性如图中所示。

11.19 功率变换器

功率变换器输入发电机电压和发电机负载电流，输出的直流平均电压与发电机的有功电流成正比，即与发电机的有功功率成正比。因此，功率变换器也称功率－电压变换器。

图8.3.1－90为单相功率变换器的原理电路，由相敏整流和取平均值电路组成。二极管作

为无触点开关，由电压 u_v 控制其导通和截止。电压互感器 YH 的原边电压为发电机的 u_{cA}，电流互感器 LH 原边的电流是与输入电压同名的线电流 $i_{cA}=i_c-i_A$；当负载对称时，U_{cA} 与 i_{cA} 之间的相位差角即为负载功率因数角 φ。设 $u_{cA}=\sqrt{3}$、$\sqrt{2}\,U\sin\omega t\,V$，$i_{cA}=\sqrt{3}\cdot\sqrt{2}\pm\sin(\omega_t-\varphi)$ A，则电压互感器和电流互感器的副边电压分别为：

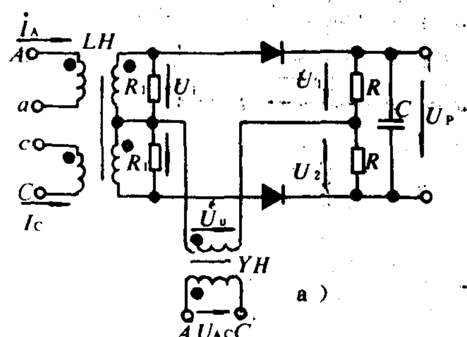
$$u_v=K_vU\sin\omega t\cdot V \tag{8.3.1-67}$$

$$u_i=K_iI\sin(\omega t-\varphi)\quad V \tag{8.3.1-68}$$

式中：K_v、K_i——比例常数。

为减小二极管的导通误差，通常取参考相位电压 $U_v>>U_i$。因此，当 $u_V>0$ 时二极管导通，相敏整流输出电压等于2倍的 u_i；当 $u_v<0$ 时二极管立即截止，故相敏输出电压为0。功率变换器输出的平均直流电压为：

$$U_P=\frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi}2K_iI\sin(\omega t-\varphi)d\omega t=K_pI\cos\varphi \tag{8.3.1-69}$$



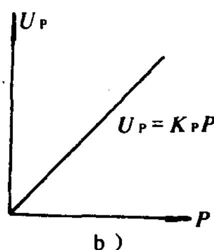


图8.3.1—90　单相功率变换器

a)电路图；b)输出特性

可见，功率变换器输出的直流平均电压与发电机的有功电流成正比。其输出特性如图 b)所示。

图8.3.1—91为另一种形式的相敏整流构成的功率变换器。参考电压 u 正半波时四只二级管均导通，若忽略二极管的正向压降，则1、2两点的电位差为0，所以 $u_p=u_i$；而参考电压负半波时二极管截止，则 $u_p=0$ 输出的直流平均电压为：

$$U_p=KpI\cos\theta \tag{8.3.1-70}$$

式中：θ——参考电压 u 与电流 i 之间的相位差角。

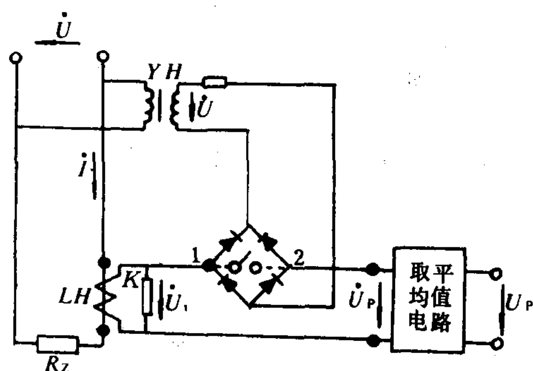


图8.3.1—91　功率—电压变换原理

图8.3.1—92为两瓦特表法检测发电机三相功率的功率变换器。它是由两个图8.3.1—91所示电路所构成，其输出的直流平均电压等于两个相敏整流电路输出的迭加。图中参考电压 u_{Uv} 和电流 i_U 构成一组；参考电压 u_{wv} 与电流 i_w 构成另一组。设发电机负载的功率因数角为 φ，则 u_{Uv} 与 i_U 的相位差角为30°+φ；u_{wv} 与 i_w 的相位差角为30°—φ。根据相敏整流和平均值输出的原理，第一组的平均值电压 $U_{p1}=K_pI\cos(30°$

$+\varphi$)，第二组的平均值电压 $U_{p2}=K_pI\cos(30°-\varphi)$，则总的输出直流平均电压为：

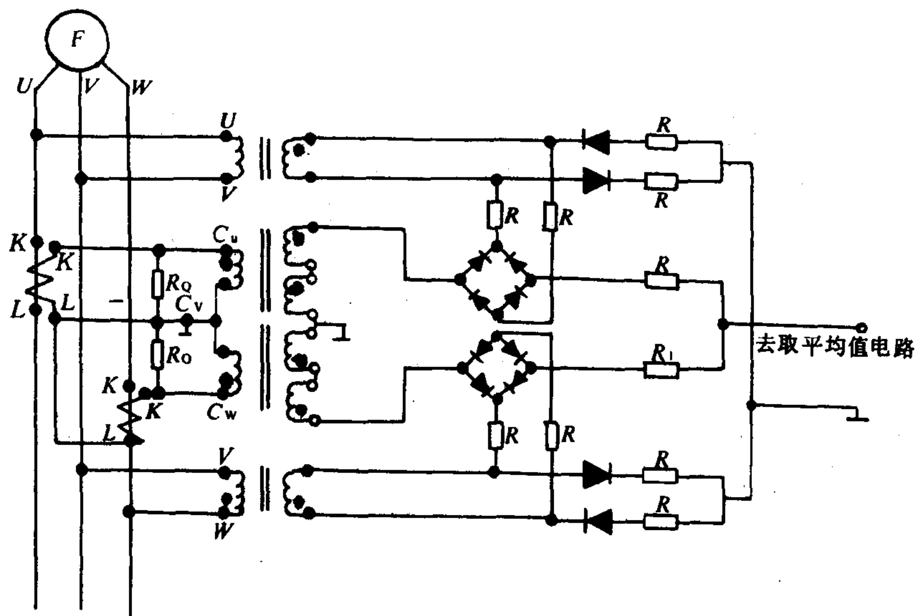


图8.3.1－92　三相功率变换器

$$U_p=U_{p1}+U_{p2}=\sqrt{3}K_pI\cos\varphi \qquad (8.3.1-71)$$

与发电机的三相功率成正比。

11.20　速度调整器

速度调整器的基本功能是根据输入的综合信号(频率偏差及有功分配偏差)电压的幅度大小和极性的不同发出相应的调速信号。其基本组成部分为：

1)输入信号电压幅度的检测环节；

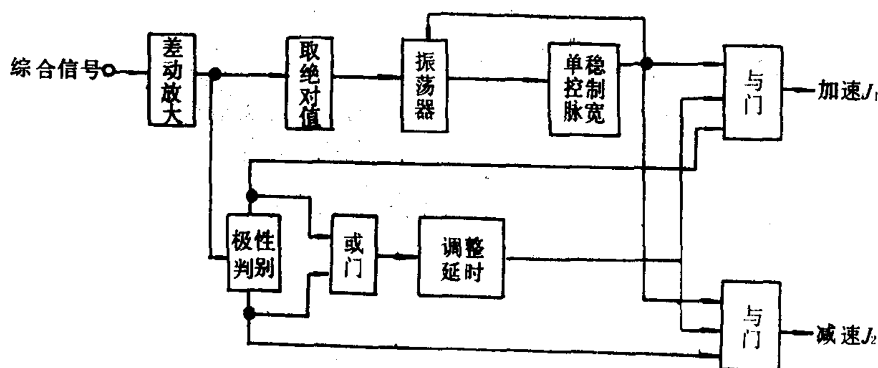


图8.3.1－93　速度调整器原理方框图

2)调速脉冲的形成环节。它产生的调速脉冲宽度或调速脉冲的频率与综合输入信号幅度成正比。

3)输入信号极性的判别环节。根据输入信号的极性发出加速或减速信号。

4)防瞬变干扰的延时环节。

5)调速信号输出控制门等。如图8.3.1－93所示。

11.21　EPF－3型自动频载调节装置

日本产EPF－3型自动频载调节装置除自动恒频外还有下列两种不同的有功负载分配方

式供选择。

1）按比例分配

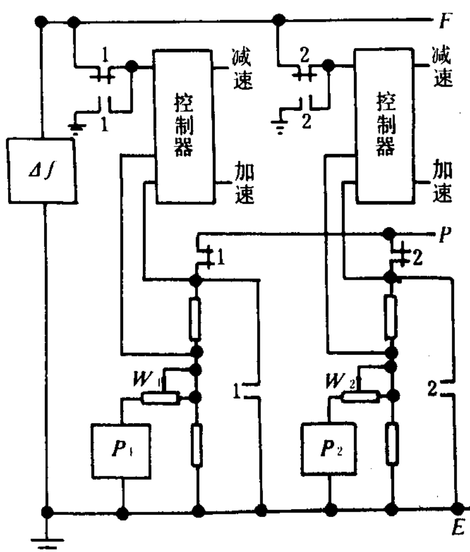


图8.3.1－94 按比例分配时的系统联接

频载调节系统按虚有差法进行外部接线，因此各并联运行机组按容量比例实现“均功”并且当有解列指令时能自动转移负载和由空载检测器控制解例机自动开关的脱扣。若在负载转移过程中发生运行机组超载时，超载检测器将发出停止负载转移信号并恢复并联“均功”运行状态。其系统接线原理如图8.3.1－94所示。图中只画了两台机组的联接，并且只画了解列控制继电器触头的联接。图8.3.1－95是各发电机的频载调节控制器EPF－3P和共用的频率变换器EPF－3F与各发电机的外部接线图。图中只画了3号发电机的接线，其余两台机组的接线与3号机相同。

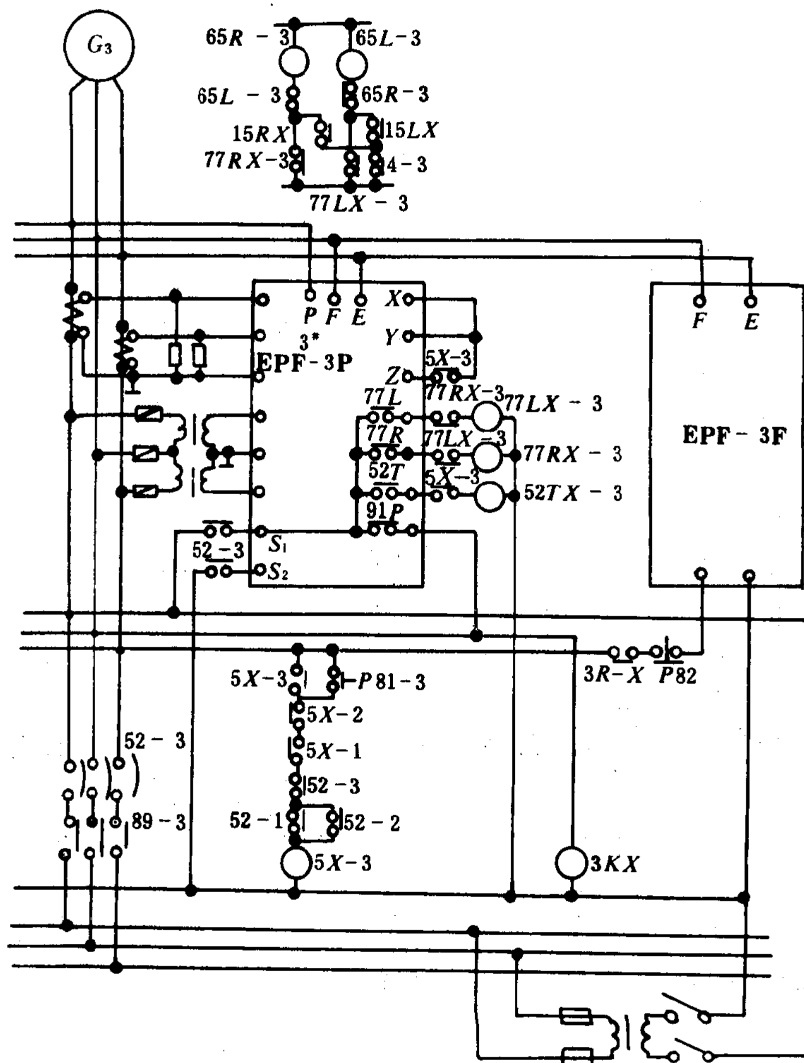


图8.3.1－95 按比例分配方式的外部接线

2)超载负荷分离(或称溢流分配)方式

当频载调节系统采用不同的外部联接方式时,可将按容量比例分配改为溢流分配法工作。在这种方式下每台发电机组都以其最大负荷设定值作为运行的负荷极限。当负荷超限时,按照事先选定的起动顺序自动起动备用机组,自动并车投入电网。后投入的机组将首先承担运行机组的超额负荷,使原机组脱离超载状态以设定的"满负荷"运行,并退出自动调频调载。电网的频载调节任务全部由后投入的机组承担。若后投入的机组再"超载"时,则按上述同样的方式再起动一台后序备用机组,投入后的控制过程也与上述相同。当后投入的机组负荷减小到接近于空载时,空载检测器将自动的使其退出并联运行。

这种负荷分配方式特别适用于废气涡轮发电机与柴油发电机并联运行的情况,即尽可能使废气发电机满负荷运行。

EPF－3型频载调节系统是由共用的频率变换器和每台发电机的频载调节控制器组成的。

频载调节控制器是由下述一些环节组成,见图8.3.1－96。

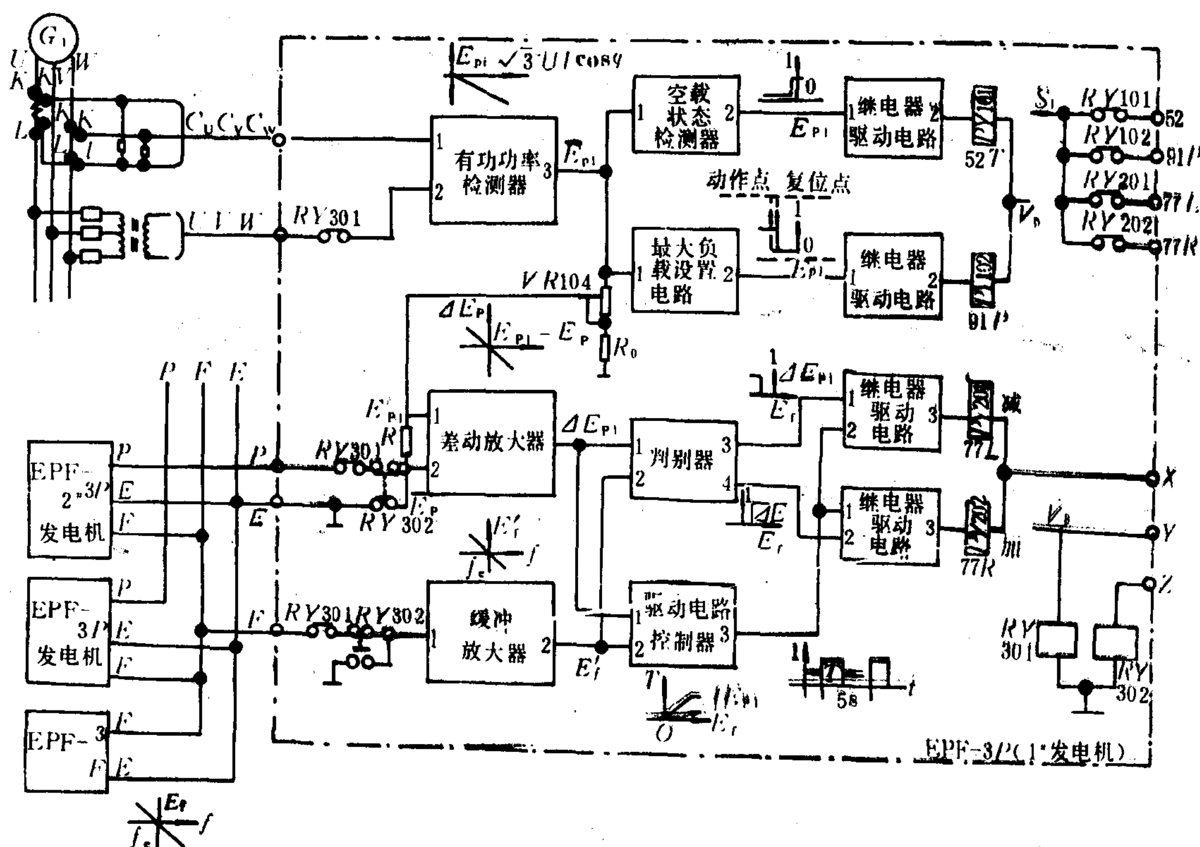


图8.3.1－96 EPF－3型频载调节控制器方框图

1)二瓦特表式三相功率变换器:检测发电机的三相功率。

2)空载检测电路:当并联运行的发电机组功率降到额定功率的10%以下时,电路输出"0"信号驱动空载继电器RY101动作,使发电机自动开关脱扣。

3)超载检测电路:当发电机功率超过设定的最高限值时,电路输出"0"信号驱动超载继电器RY102动作,或发出增机信号或中止解列的负载转移。当功率下降到最高限值的90%时、超载检测电路复位。

4)差动放大电路:放大器的一个输入端接平均功率信号 $U_0=\frac{1}{3}(U_1+U_2+U_3)$,另一端接

发电机的功率信号电压 U_i，故其差动输入信号电压 $\Delta U_i=(U_i-U_0)$。

5)缓冲放大电路：作为频率变换器与各频载调节控制器之间的阻抗匹配环节。

6)极性判别电路：判别综合输入信号的极性，以发出相应的调速信号，驱动调速继电器RY201(减速)或RY202(加速)。

7)调速脉冲形成电路：产生恒定周期而脉宽与综合偏差信号幅度成正比的调速脉冲序列。

8)调速控制门：由极性判别信号控制加速或减速信号控制门，使调速脉冲通过加速控制门或减速控制门。

9)频载调节器投入和负载转移控制继电器：RY301为投入控制继电器，发电机自动开关合闸后RY301保持通电，接通频载调节器的信号电路。RY302受解列指令和超载信号控制的负载转移继电器。当有解列信号时RY301通电，断开频载调节器的"均功"联接和频率信号，开始负载转移。若在负载转移过程中有超载发生时，则超载继电器将断开RY302电路，中止负载转移恢复调频调载状态。

EPF－3型自动频载调节器可提供两种自动解列方式供选择。一种是不保留解列指令的控制。这种控制方式如前所述，若在负载转移过程中有超载发生时将中止负载转移，恢复自动调频调载，并不保留解列指令。若想再次进行解列，须重新发解列指令。若将此种控制电路稍加改动，则将变成另一种保留解列指令的控制。这种控制虽然在负载转移过程中发生超载时也中止负载转移，恢复"均功"状态，但它仍保留解列指令，一旦超载现象消失，它将自动重新进行负载转移，直到解列成功为止。

11.22 投入并联机组台数的控制

根据电网功率裕量不小于单机额定功率25%的基本原则，又考虑到机组的经济运行和避免频繁起、停操作，增、减机条件可用下述不等式确定。当：

$$nP_e-\sum_{i=1}^{n}P_i<0.25P_e \qquad (8.3.1-72)$$

时，应增加机组；当：

$$nP_e-\sum_{i=1}^{n}P_i>1.5P_e \qquad (8.3.1-73)$$

时，应减少机组；当重载"询问"的结果如下式时，也应增加机组。

$$nP_e-\sum_{i=1}^{n}P_i-\Sigma P_Z<0.25P_e \qquad (8.3.1-74)$$

式中：n——并联机组台数；

P_e——单机额定功率；

P_i——单机实际功率；

P_z——拟投入的大负载功率。

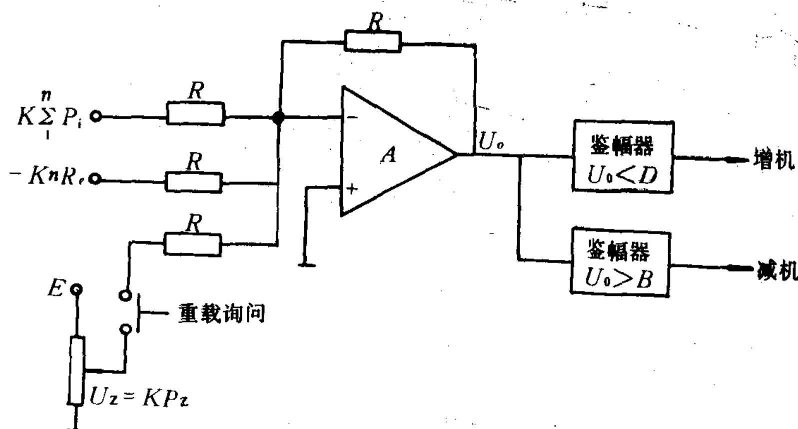


图8.3.1－97 增减机条件鉴别原理

图8.3.1－97即为实现对上述条件的运算和鉴别的电路。与功率成正比(比例系数为K)的各输

入信号电压通过加法运算电路后，输出功率裕量信号电压：

$$U_0=K(nP_e-\sum_1^n P_i)\text{或}U_0=K(nP_e-\sum_1^n P_i-P_z) \quad (8.3.1-75)$$

后式为有重载"询问"的情况。当 U_0 小于最小功率裕量电平 D($D=0.25KP_e$)时，发出增机信号；当 U_0 大于最大功率裕量电平 B($B=1.5KP_e$)时，发出减机信号。

对两台同容量发电机并联运行的电站，按上述条件：当单机功率超过 $0.75P_e$ 时将发出增机信号；当并联机组的平均功率小于 $0.25P_e$ 时将发出减机信号。

11.23 自动分级卸载

为了最大限度地保持连续供电，要求船舶自动化电站要有自动卸载装置。不论船舶发电站经常使用一台发电机组供电的或是经常使用两台机组或多台机组并联供电的，不论是由于电网负荷的增加而引起运行机组的过载，或是由于某一并联机组的停机而引起运行机的过载，均应能自动卸除非重要用途的负载，并在主控站和轮机员居住舱室报警。

鉴于上述要求，自动卸载装置均以发电机组的过载量和过载时间来整定自动卸载的控制。自动卸载可分一级或二级。当一级卸去次要负载后，发电机仍有过载或非正常运行的可能，则采用二级卸载。第二级将卸去部分重要负载，以保证船舶安全航行的最低限度的供电。

为避开瞬时性过载，自动分级卸载也要延时动作，但要比主开关的同级过载保护的延时稍短些，以避免自动开关跳闸。自动卸载可按功率原则进行整定，通常在100%～110%额定功率时卸载；也可按电流原则进行整定，通常在100%～125%额定电流时卸载。

图8.3.1－98为按电流原则进行整定的分级卸载保护。当发电机的负载电流 $I>1.05$ 额定电流 I_e 时，SJ_1 延时20s(5～60s 可调)使继电器 J_1 动作，卸去一级负载；当 $I>1.20I_e$ 时，延时5s使 J_1 动作，卸去第一级负载；延时12s(5～60s 内可调)使继电器 J_2 动作，卸去第二级负载。倘若在卸去第一级负载后发电机电流小于第二级卸载检测的返回值，则第二级过流检测器将返回，J_2 不再动作。当发电机电流达到跳闸保护动作值($I>1.30Ie$)时，延时5s，首先卸去第一级和第二级负载；之后，若发电机电流小于跳闸保护检测的返回电平时，J_3 将不动作；否则延时15s 使 J_3 动作，自动开关跳闸。

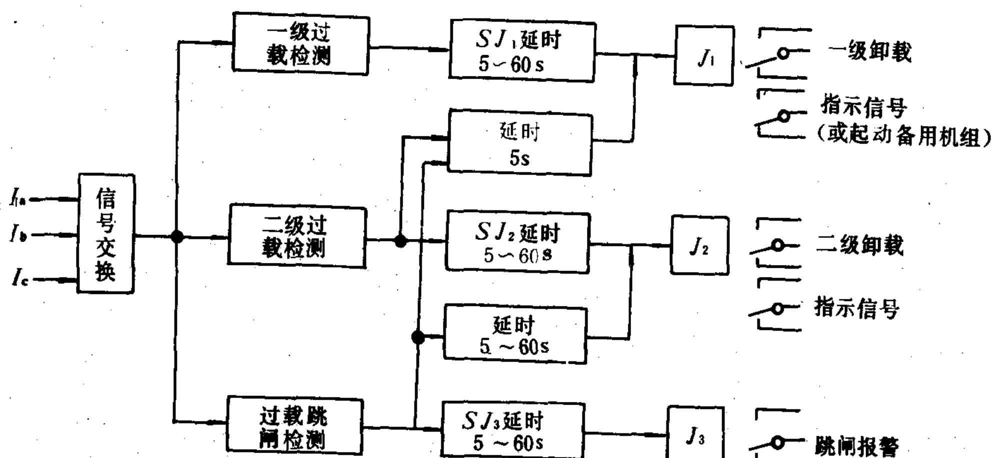


图8.3.1－98 分级卸载保护原理

11.24 GAC—2S 型船舶发电机自动控制系统

日本的 GAC—2S 型船舶发电机自动控制系统具有自动起动、自动并车、自动调频调载和综合自动保护等功能；它既可以自动单机运行也可以自动并联运行。图8·3·1—99为其主要功能单元信号系统图。图中每一注有标号和数字的方框为一功能卡(即一个印刷电路插件板)。各基本功能单元的功能简述如下：

1)电网监视单元

该单元由电压监视器 EIE—322和频率监视器 EIF—322组成。电压监视器动作的上限额定百分值为100%～125%可调，整定值为106%；下限值为75%～100%可调，整定值为90%。频率动作的偏差值为±6Hz(标准频率为60Hz)可调，整定值为±3Hz。它们的延时动作时间为0.5～15s 内可调，整定值为5s。

2)发电机电压监视器 EIE—421

监测发电机起动时的电压。动作额定百分值为60%～100%可调，起压整定值为95%。当发电机电压达到此整定值后经延时(0.5～15s 可调，整定5s)发出发电机已起压信号。

3)备用发电机组自动起动控制单元

它由 EID—111、EID—121、EID—131和 EID—141等控制卡组成。

EID—111为备用机组起动信号卡。输入发电机过载或故障信号，或输入电网不正常信号，发出请求起动备用机组的信号。

EID—121(或122，任选)为备用机组起动顺序控制卡。输入各备用机组的起动条件和起动联锁条件信号#A(见图注)，按预先选择的起动顺序发出起动指定备用机组的信号。EID—121卡是根据“起动顺序选择开关”的指示位置确定备用机组的起动顺序；EID－122卡则是根据各发电机组设定“自动”运行方式的先后顺序来确定备用机组的起动顺序。

EID—131为备用发电机的起动检测卡。根据由 EID—111和 EID—121输入的信号首先向第一备用机组发出起动指令，然后检测起压信号。若在预定的时间内有起压信号则发出起动成功信号；否则，起动第二备用机组，或发“中止”起动(即备用机组用尽)信号。当用半自动“运行及合闸”按钮操作时，则随时可起动第一备用机组。

EID—141(或142、143任选)为备用机组投网方式控制卡，EID—141、EID－142和 EID—143这三种卡的共同功能是接受起动成功信号，发出投入电网的信号。有三种投入方式：(1)先断电后投入。当延续的电网不正常信号存在时，控制卡先发出运行机组跳闸信号，然后对起动的备用机组发出合闸信号。(2)单机投入。因原动机故障或自动开关故障导至电网失电时，控制卡对起动的机组发出直接合闸的信号。(3)自动并车投入。因运行机过载或某一并联机组的停机而起动备用机组时，则发出自动并车信号。EID—141、142和143这三种卡的区别在于：当故障机的自动开关脱扣之前若故障已消失，则对是否继续断开运行机组，对是否继续投入新机组有不同的处理方式。

4)发电机自动开关控制器 EID—211

它的功能是：(1)接受合闸或脱扣信号，使指定发电机的自动开关合闸或脱扣。(2)检测自动开关故障(如误脱扣、合闸失灵，也包括发电机不起压)发出相应的故障信号，而且保持这些故障信号直至外部开关复位。(3)将上述故障信号与原动机故障信号一起送至起动控制单元。

5)故障检测器 EID—311

它的功能是：(1)检查系统故障，即检查每一发电机组的合闸电路和起动电路内的器件，以

及输出继电器组中所有触头故障，并发出相应的故障信号。(2)检查原动机故障，根据输入的故障信号＃B(滑油压力低、淡水温度高、超速或起动失败)发出相应的故障信号和报警信号。这些信号一直保持到“故障复位”为止。(3)发出禁止故障机组再起动的控制信号，使手动或自动操作的起动指令均失效。

6)原动机控制器 EID—411(或412任选)

它的功能是：(1)检测起动联锁条件＃D(盘车杆、燃油手柄位置、气源压力和转速信号)，给出机组可否起动的信号。(2)接受自动或手动起动指令，发出机组准备起动的音响信号，并且在预定的时间(0.5～15s 可调)内发出接通起动电磁阀的信号。(3)在发出准备起动音响信号后的预定时间(5～50s 内可调)内若无转速信号，则向故障控制单元发出起动失败信号。(4)收到故障信号或停机信号后，发出接通停机电磁阀的控制信号，使机组停转。EID—411和 EID—412的区别在于对停机过程的监视方式不同。EID—411用定时监视停机；EID—412用检测转速信号来监视停机。

7)自动并车控制单元

它是由 EIH—215、EIH—222、EIH—212和 EIH—221控制卡所组成。

EIH—215为自动并车合闸控制卡。传送自动并车指令给待并机，条件满足时发出合闸指令。在预定的时间(30～120s 可调)内收不到来自 EIH—212的整步无误信号，则将发出整步失败信号。

EIH—222的功能是完成频差和频差符号的检测，发出相应的加速或减速信号；生成脉冲宽度与频差大小相配的定时调速脉冲电压。

EIH—212为调速器伺服电动机控制卡。它的功能是：(1)接受并车指令，发出接通 EIH—221和 EIH—222两控制卡电源的信号。(2)接通两控制卡电源信号发出后约2秒，检查该两控制卡工作是否正常。若正常，则向 EIH—215卡发出工作正常信号；若2s 后 EIH—215收不到这种信号，它将发出整步失败信号。(3)根据输入的调速信号向调速器伺服电动机发出加速或减速的控制信号。

EIH—221为合闸条件检测卡。它能检测频差和电压差，当达到并车允许值时将以恒定的超前时间向 EIH—215发出合闸信号。

8)有功负荷分配控制单元(即自动频载调节装置)

它是由如下一些功能卡所组成：

EIH—312是频载调节器电源控制卡。其主要功能是：(1)接受发电机的合闸信号，并据此发出接通该机组频载调节控制器(EIH—321和 EIH—322)电源的控制信号，使其投入工作。(2)进行频率一电压变换，向各机组的 EIH—322输出与频率偏差成正比的直流电压信号。

EIH—315是负载转移控制卡。其主要功能是：(1)接受“自动”或“遥控”按钮发来的对某机组进行解列负载转移的指令，并向该机组的 EIH—321发出执行负载转移的信号。该信号一直保持到发电机自动开关脱扣。但在执行过程中若有某机组发生“超载”时，则将取消执行负载转移的信号。(2)在负载转移过程中接受 EIH—321的“空载”信号，并向该机组的自动开关控制器(EID—211)发出脱扣信号。

EIH—321是发电机功率、电流的检测和变换器，其主要功能是：(1)检测发电机的电流和三相功率，并分别转换为直流电压信号，在额定电流和额定功率(功率因数 $\cos\varphi=0.5\sim1.0$)时，它们的输出直流电压均为－2.5v。这些信号(即 I－V 和 P－V)分别送到各自的 EIH—322频载调节控制器和 EIL—131过载监视器。(2)空载检测。当发电机负载减小到额定输出的5％

时则向 EIH—315发出“空载”信号。(3)重载检测。当发电机的负载超过预定的极限值(75～100%内整定)时向 EIH—315发出“超载”信号。当发电机负荷减小到“超载”值的90%以下时，“超载”信号复位，发电机脱离超载。

EIH—322是频载调节控制器，它的功能是：(1)产生“平均”功率信号。接受发电机的功率信号并与其它运行机组的 EIH—322的功率信号相联系产生“平均”功率信号。(2)产生有功分配偏差信号，即发电机的功率信号与“平均”功率相比较产生有功分配偏差信号。(3)产生调速脉冲信号，根据频率和有功分配综合偏差信号的幅度和极性的检测和鉴别，产生相应的周期恒定、脉宽与偏差信号幅度成正比的加速或减速调速脉冲信号。该信号与自动并车调速控制器EIH—212输出的调速脉冲信号进行对应的“或”联接，从而对调速器的伺服电动机进行控制。(4)产生负载转移的减速信号。当 EIH—315发出对某机组执行负载转移信号时，首先使该机组退出自动调频调载，即断开与其它机组的 EIH—322的信号联系，并置“平均”功率信号为0，从而产生减速信号进行负载转移。

通常有功功率是按发电机容量比例进行分配，但根据需要也可以人为的进行整定，按预定的其它比例进行有功分配。

上述各种参数的整定和信号的指示均设在相应功能卡的面板上，便于调整和观察。

11.25 “广河”船电站自动化系统

“广河”船电站自动化系统是西门子公司设计制造的。电站设有三台同容量柴油发电机组。正常航行时一台运行，作业时两台并联运行。该船电站自动化系统方框图如图8.3.1—100所示。其构成和功能如下：

1)自动保护功能

(1)运行发电机发生过载、逆功率或欠压及外部短路时，通过或门使主开关自动跳闸。并发出自动重合闸信号；通过主汇流排失电发出备用机自起动信号；若是短路故障则还发出使第2备用机自起动阻塞信号。

(2)柴油辅机发生滑油压力低或超速时，通过或门发出自动停机指令。并通过主汇流排失电发出备用机自起动信号。

2)主开关自动重合闸功能。当电网故障使主开关自动跳闸后，通过自动重合闸装置使主开关自动重合闸。若自动重合闸成功，则原运行机正常运行，并发出阻止备用机主开关自动合闸信号。如果运行机本身发生故障时，则能使备用机自起动。起动成功后主开关合闸，并发出信号，阻止运行机主开关自动重合闸。

3)柴油发电机组自动控制功能

(1)自动起动

①机组自动起动前的准备：辅机与主机冷却系统相连，使备用机预热。自动周期性预润滑。

②机组自起动程序：用追随起动方式。

③机组自起动指令形成。主汇流排失电信号与备用机准备好信号通过与门形成自起动指令。备用机准备好也是一组与门条件，包括备用机操作方式开关摆在“自动”档；无故障或出现过故障但已消除；不处在停机过程中；主开关没合闸。第一备用机未准备好信号、自起动或自动合闸失败信号经或门再与主汇流排失电信号和第二备用机准备好信号经与门形成第二备用机自起动指令。

④备用机自起动过程。机组自起动装置接受自起动指令后按起动程序可进行三次起动。

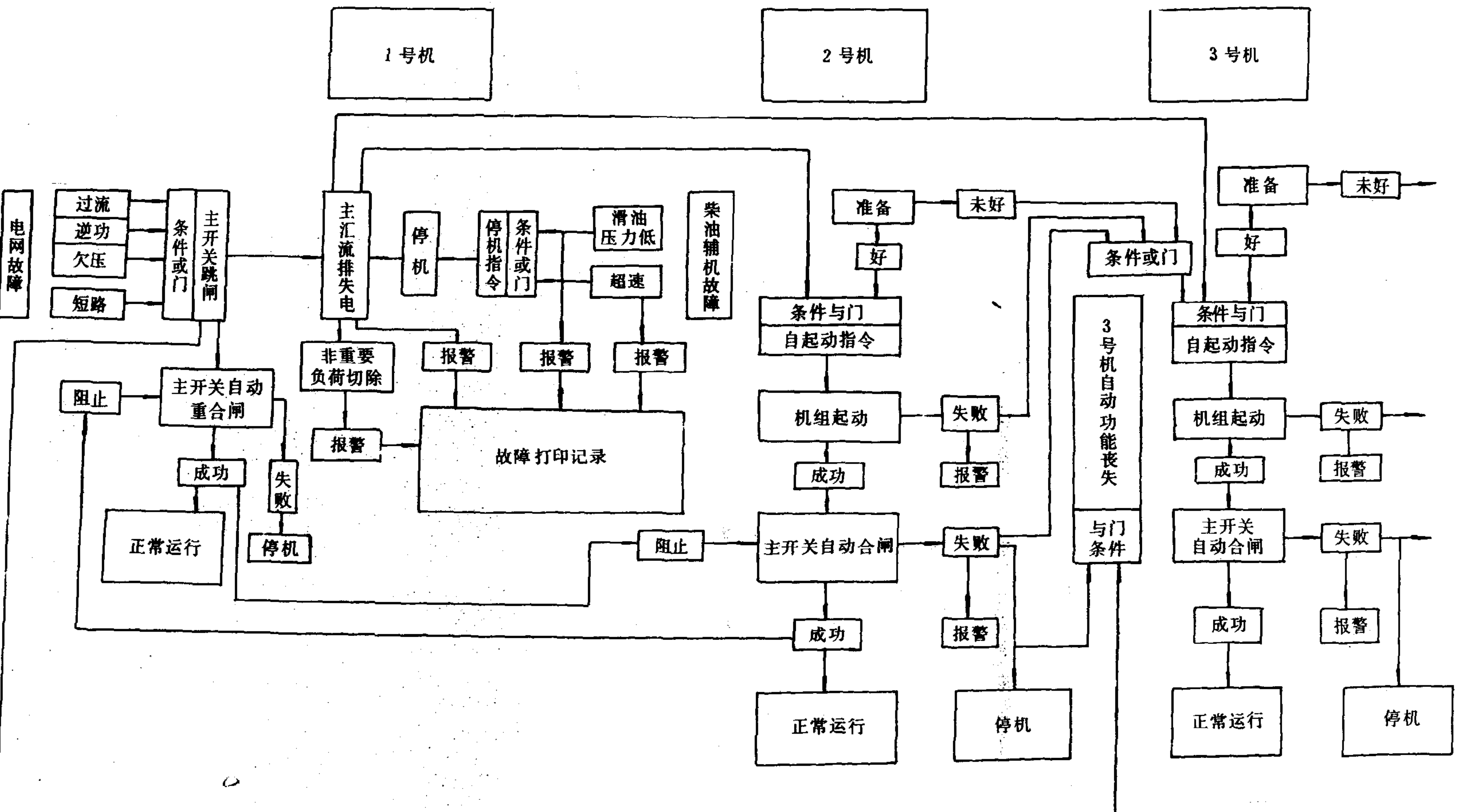


图8.3.1—100 “广河”船电站自动化系统方框图

⑤自起动成功。起动达点火转速时切断起动电源。经延时投入滑油压力监视。达额定电压时进行自动合闸。若合闸失败，则按程序向另一备用机发出自起动信号。

⑥自起动失败。三次起动均未达点火转速时发出起动失败信号，并使机组自起动通道阻塞。查出失败原因并排除后，需先把操作方式开关扳到“机旁”位置，然后再扳回“自动”位置进行复位。

⑦自起动功能丧失。短路故障时，第一备用机自动合闸又失败，则通过与门使第二备用机自起动功能丧失。

(2)故障自动停机

①主开关跳闸且重合闸失败或备用机合闸成功阻止重合闸时，运行机自动停机。

②运行柴油辅机本身故障，自动停机。

③备用机起动成功10s 后主开关未合闸或重合闸成功阻止其合闸时自动停机。

4)故障自动巡检、报警和打印记录。包括故障和不正常运行共有26个测点。

5)自动控制系统模拟试验。柴油辅机静止，通过模拟试验开关可对控制系统自检。

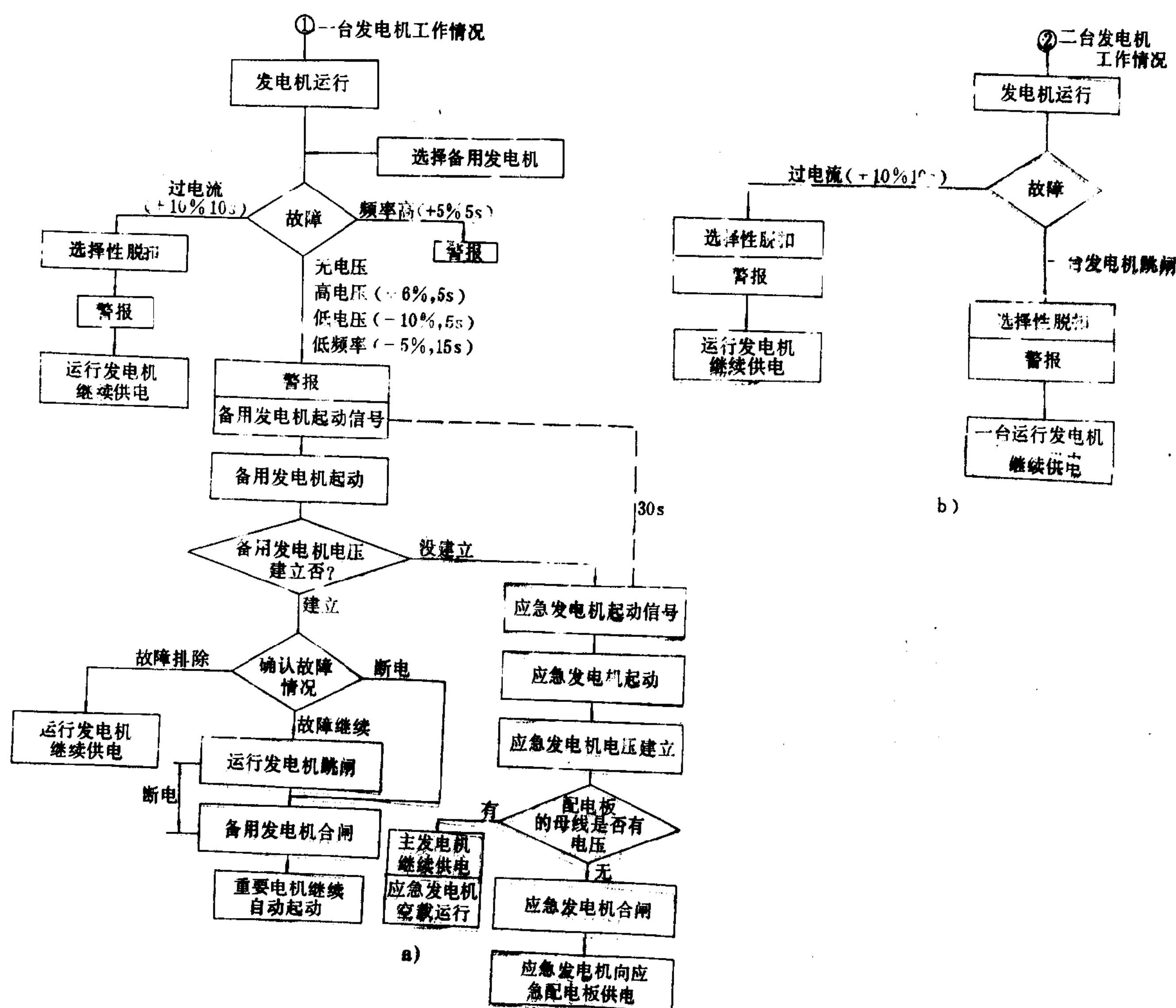


图8.3.1-161 “大城”号电站自动化系统方框图

a)一台发电机工作情况；b)二台发电机并联工作情况

11.26 “大城”船电站自动化系统

“大城”船电站自动化系统是日本设计制造的。电站设有三台柴油发电机组和一台应急发电机。正常航行时一台运行，靠离码头或作业时两台并联运行。该船电站自动化系统方框图如图8.3.1—101所示。其构成和功能如下：

1）一台发电机工作情况

（1）当主母线出现失压、高压（+6%，5s）、低压（-10%，5s）、低频（-5%，15s）时，发出警报及备用机自起动指令。备用机自起动建压后，如原运行机故障排除，则原运行机继续供电，备用机空转手动停车；如故障继续，则运行机自动跳闸，备用机自动合闸，实现断电自动切换。从自起动到换接约25s。换接后重要电动机可自起动。如备用机自起动失败，则在故障发生30s后应急发电机自起动、建压后，如母线无电，自动合闸，由应急发电机供电；如母线有电，则主发电机供电，应急发电机空转。

（2）当运行机出现过载时（+10%，10s），发出警报，同时自动有选择性的卸去次要负载，保证运行机继续供电。

（3）当出现高频（+5%，5s）时，只发出警报，通知值班人员设法排除。

2）两台发电机并联工作情况

（1）如运行机过载（+10%，10s），发出警报，同时自动有选择性的卸掉次要负载，使发电机继续保持并联运行。

（2）如其中一台运行机因故障自动跳闸，则另一台运行机必然过载，这时除发出警报外，并立即卸去次要负载，保持一台机继续运行。这时需手动起动第三台发电机，并手动并车。

3）自动应急停车及报警。当柴油辅机出现滑油压力低、超速或冷却淡水高温时，发出警报并同时自动停车。

4）为保证备用机自起动，柴油辅机经常用主机冷却淡水暖机，并自动地周期性预润滑。

5）该电站自动化系统中除自动调压外还设有自动调频调载装置并可自动转移负荷。

11.27 GENA—S船舶电站自动化系统

GENA—S船舶电站自动化系统是瑞典ASEA公司生产的，它可以控制四台发电机组（其中一台可以是汽轮发电机组）。它由组件构成，各组件按功能制成，根据需要可独立完成简单功能，也可组合起来实现功能相当完善的系统。

1）组件及其功能

（1）QHFG101基本组件：它包括自动保护可编程序；8个监控报警通道，可编为低压、高压、低频、滑油压力低、超速、起动故障、合闸故障、预润滑故障等；自动预润滑程序；自动起动和停机程序；汇流排失电备用机自起动建压后自动合闸；并车自动合闸；故障自动跳闸。

（2）QHFG102同步和负载分配组件：它包括自动同步；自动恒频；自动均功；过载报警。

（3）QHFG103附加监控组件：当所需监控通道超过基本组件的8个监控通道时，可加用附加监控组件。

（4）QHFG104～107中心组件：104、105具有按负载自动增减运行机组的功能。当电站只有柴油发电机组时，选用104。当含有汽轮发电机组时，选用105、106、107，它们具有按负载自动增减机组和重载询问功能。只有柴油机组时选106，含汽轮机组时选107。

（5）QHFG111、113继电器组件：它包括输出继电器和电源变压器。111为101的输出继电器

组件。113为106或107的输出继电器组件。

(6)QHFG112变压器组件:它包括电流、电压、功率及频率等测量变压器;调速电机继电器。112与102组合提供必要参数。

(7)内部监控装置:是指示自动化设备本身发生故障的内部故障自检报警装置。

2)每台机组连接一个101、111、102和112时,可进行机组程序自动起停、自动并车和自动调频调载。其接线图和功能方框图如图8.3.1—102所示。若在电站中再加一个106和113,就可实现自动增减机组和重载询问功能。

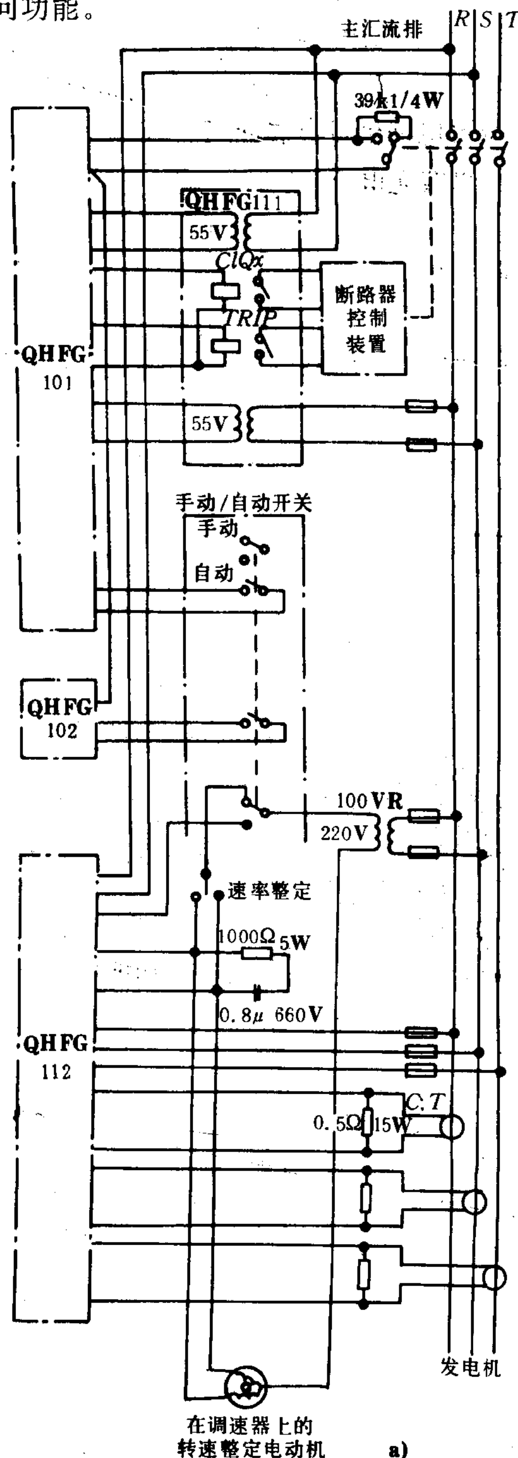


图8.3.1—102

a)接线图;

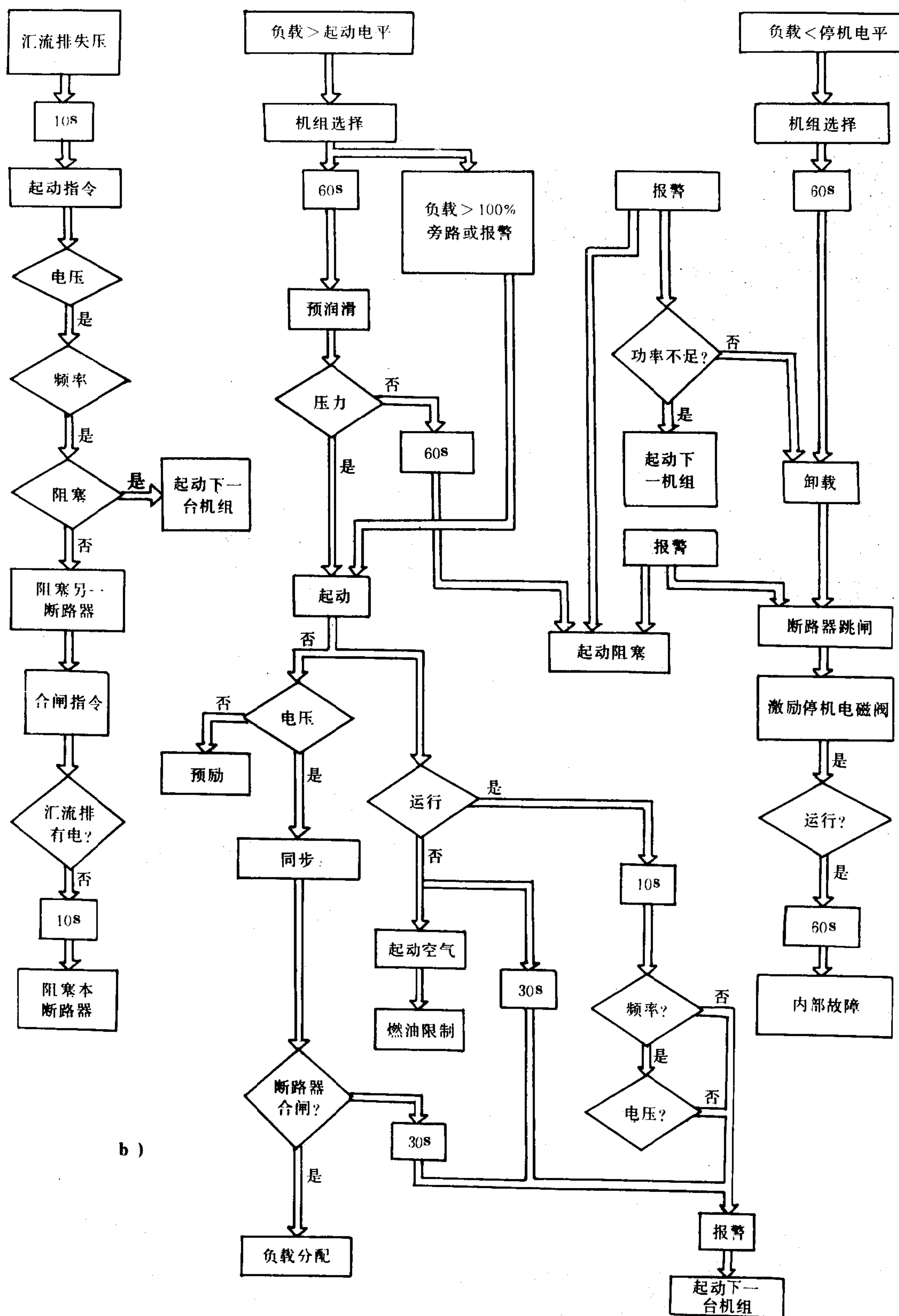


图8.3.1—102 GENA—S船舶电站自动化系统接线和方框图

b)功能方框图

11.28 CDZ 船舶电站自动化系统

CDZ 船舶电站自动化系统是沪东造船厂研制的。其结构为积木式，功能也是按积木式来堆叠的。实际使用时，按设计要求选用其中若干部分组成一个所需系统。它可以控制四台柴油发电机组。该船舶电站自动化系统方框图如图8.3.1—103所示。其功能如下：

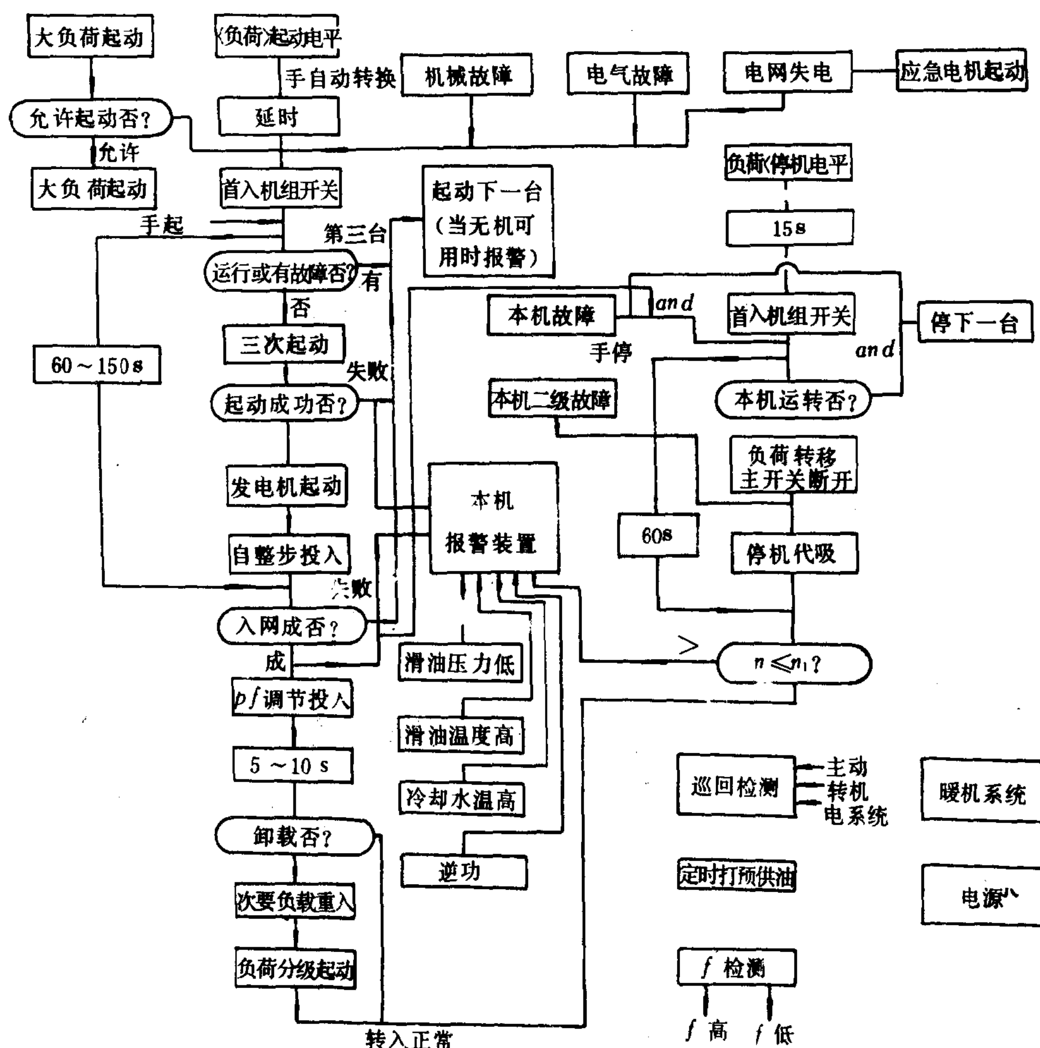


图8.3.1—103 CDZ 船舶电站自动化系统方框图

1)当发生滑油压力稍低、冷却水温高、滑油温高、起动失败、电网过载等一级故障时，发出报警信号；同时发出备用机自起动指令。备用机起动建压后经自动整步自动投入电网，然后将故障机从电网断开并停车，实现不断电自动切换。

2)当发生滑油压力过低、超速、逆功率等二级故障时，同时发出故障机自停机和备用机自起动指令。单机运行时，实行断电自动切换；并联运行时同步投入。

3)并联运行中一台机故障立即停机时，另一台运行机若过载则自动分级卸载。当备用机投入电网后被卸负载可再自动分级起动。

4)当电网失电时，能迅速投入备用机运行，使失电时间缩至最短。

5)电站运行中可按实际负载需要自动增减运行机组。

6)重载询问，可自动起动备用机。

7)自动周期性预润滑。

8)除自动调压外还设有自动并车、自动调频调载装置。

11.29 “南口”船电站自动化系统

“南口”船电站自动化系统是日本川崎重工按劳氏“UMS”规范设计制造的。该船电站由一台主轴带发电机和两台辅柴油发电机组成。正常航行时一台主发电机运行；进出港和作业时两台辅发电机并联运行。主发电机和辅发电机在负荷转移时可短时并联运行。该船电站自动化系统流程图如图8.3.1—104所示。其构成及功能如下：

图8.3.1—104 “南口”船电站自动化系统流程图

1)自动保护功能

(1)高频(102.5%)、低频(97.5%)时发出报警信号。

(2)高频(105%)、低频(95%)、高压(105%)或低压(93%)时发出报警和备用机自起动信号。

(3)高压(120%)或低压(80%)时发出主开关自动跳闸、报警和备用机自起动及主机脱开信号。

(4)原动机故障及发电机逆功率、过载、失压、短路时,发出主开关自动跳闸信号,并发出报警和备用机自起动及主机脱开信号。

2)自动分级卸载。发电机过载时分两级自动卸负荷并发出报警信号。

3)单机运行频率和电压高或低时,备用机自起动建压后,如故障解除,备用机不合闸空载运行;如故障继续则使故障机主开关自动跳闸并使备用机自动合闸,实行断电自动切换。

4)并联运行备用机自起动建压后,如母线无电则自动合闸;如母线有电则自动整步后合闸。解列的发电机自动转移负荷后自动跳闸。

5)柴油发电机组自动控制功能

(1)自动起动

①备用机自起动前采用主机冷却水暖缸,自起动选择开关打到“备用”位置,自动周期性预润滑。

②运行机自动跳闸与备用机准备好信号,通过与门形成备用机自起动指令。备用机“准备好”也是一组条件与门,它包括联锁正常、备用机操作方式开关在遥控/自动位置、选择开关在“备用”位置、同步和负荷分配方式开关在自动同步和负荷分配位置。

③备用机自起动装置接受自起动指令后按程序起动。

(2)辅机故障自动停机。

6)该系统还设有自动调压、自动并车、自动分配负荷及自动故障检测报警装置。

11.30 ACS船舶电站自动化系统

ACS“940”是丹麦STL公司设计制造的船舶电站自动化系统。该系统有59块插件,插件由分立元件和集成块组成,输出采用中间继电器。ACS“940”船舶电站自动化系统流程图如图8.3.1—105所示。该系统具有如下功能:

机组不运转机组不阻塞,主开关打开

有起动指令?

否

是

起动空气

主ΔT_1内起动成功?

否

是

起动次数>3?

是

否

延迟ΔT_1

失电吗?

是

否

同步

否

是

发电机电压大于极限

失电时间$>\Delta T$

否

是

ΔT_2内主开关合闸?

否

是

起动故障指示

主开关合闸

负载分配

失电时间$<\Delta T_2$?

否

是

机组运行机组不阻塞,主开关跳闸

否

负载均分了吗?

是

同步故障指示

有停机信号

否

是

停车指示

有报警信号?

否

是

报警指示

新机组起动?

是

否

起动新机组

新机组合闸?

否

是

主开关跳闸

否

是

主开关合闸指示

是否短路?

否

是

在ΔT内失电吗?

否

是

系统故障

有停机命令!

否

是

负载降

否

主开关电平达到?

是

主开关断开

否

主开关断开?

是

停燃油

延迟ΔT_1

停燃油

减燃油

主开关断否?

否

是

主开关断开

主开关断开?

否

是

失电吗?

是

否

机组运转,机组不阻塞,主联开关

有起动指令?

否

是

机组不运行,机组阻塞 主开关断开

图8.3.1—105　ACS"940"船舶电站自动化系统流程图

1)主汇流排失电而不是短路时，主用机自起动，起动成功并建压后主开关自动合闸。若三次起动失败，按追随起动方式自动转换到第一、第二备用机自起动。

2)运行机滑油压力低、冷却水温高时发出报警信号。同时备用机自起动，起动成功并建压后自动并车。故障机自动转移负荷、自动解列、自动停机。单机运行时实现了不断电自动切换。并联运行时还进行自动分配负荷。

3)柴油辅机滑油压力过低、冷却水温过高、超速、超载或发电机过电流、逆功率时，自动紧急停车并报警。若单机运行，通过主开关自动跳闸失电，备用机自起动。若并联运行，负载转移给另一台运行机。

4)自动增机。在单机运行情况下，负载达额定功率的80%时，经长延时，备用机自起动，起动成功并建压后自动并车、自动均功。负载达100%时，经短延时，备用机自起动、自动并车、自动均功。

5)自动减机。并联运行时，总负载下降至单机额定功率的60%时，按程序有一台机自动转移负载、自动解列、自动停机。

6)重载询问。大功率负载投入前，先按重载询问钮，如电网功率不够，将使备用机自动起动、自动并车、自动均功，然后投入重载；如电网功率够，则给出指示，不起动备用机。

7)自动卸载。单机运行时，负载达115%时，又无机可增，经延时将次要负载自动卸掉。

8)自动周期性定时预润滑，每隔1h 润滑5min。

9)自动重合闸。当汇流排短路时，可进行一次自动重合闸，但不发出备用机自起动指令。

11.31 EEA22船舶电站自动化系统

EEA22船舶电站自动化系统是西门子公司设计制造的。它可以控制柴油发电机、废气涡轮发电机和轴带发电机，并使涡轮发电机和轴带发电机具有最佳能量利用。EEA22船舶电站自动控制系统如图8.3.1—106所示。该系统也是微型组件式的，可满足不同要求。其构成和功能如下：

1)发电机自动控制装置(SGA22)。它包括：发电机和电网故障自动保护；主开关自动跳闸；单机自动合闸；并联自动同步并车、自动均功；自动恒频。

2)电压频率监视器。当电压和频率低时发出备用机自起动指令。

3)起动网络。它包括：机组起动程序编制；电网和柴油机故障自起动指令形成。

4)自动减机网络。它包括自动停机程序编制；按负荷自动减机时自动转移负荷、自动解列、自动停机指令形成。

5)自动增机及重载询问装置。它包括按负荷自动增机时起动指令形成；重载询问时自起动指令形成。

6)柴油机自动控制装置(SDA22)。它包括起动前准备；三次起动程序；起动成功程序；起动失败程序；故障报警和起动备用机指令；自动停机程序；内部模拟和试验设备。

7)汇流排短路时，系统自动转换到“手控”位置。

8)轴带发电机和柴油机可持久并联运行。

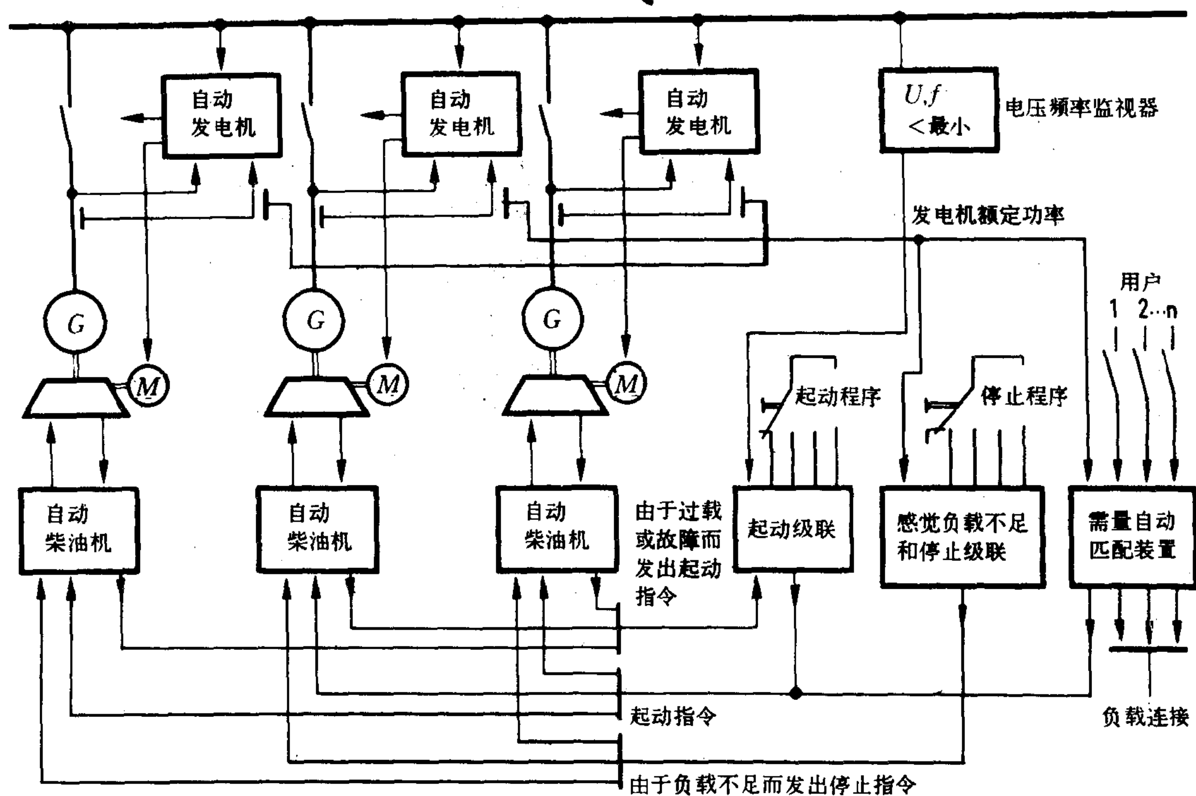
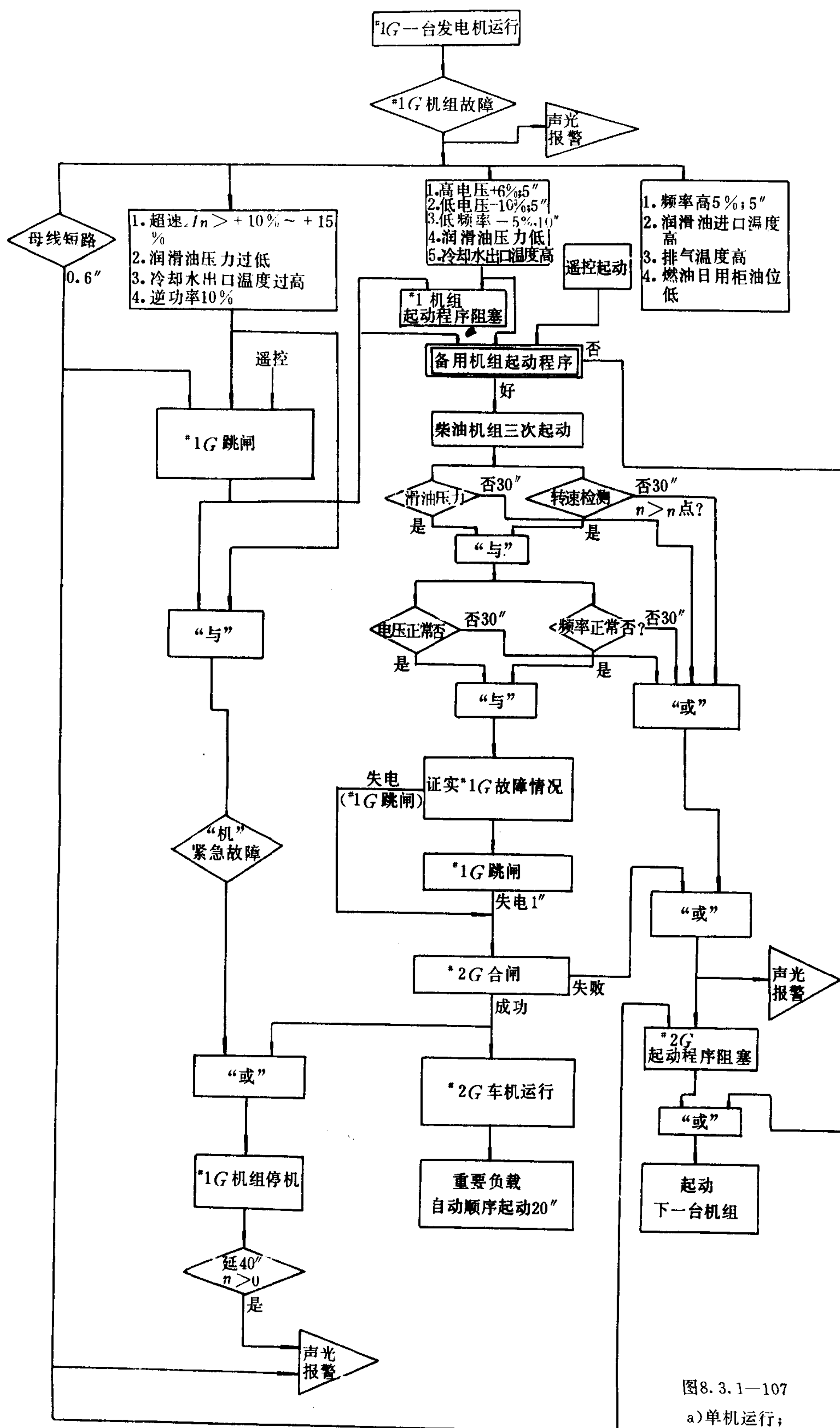


图8.3.1—106 EEA22船舶电站自动控制系统图

11.32 某进口船电站自动化系统

某进口散装货船的电站装有三台主柴油发电机组，一台应急柴油发电机组。该船电站自动化系统方框图如图8.3.1—107所示。其功能如下：



a)

图8.3.1—107

a)单机运行；

图8.3.1—107

b)机组起动顺序；



c)

图8.3.1—107　某进口货船电站自动化系统方框图

c)并联运行

1）自动保护功能

（1）故障报警。它包括频率高（＋5％）、滑油进口温高、排气温高、日用燃油柜油位低。

（2）故障报警并发出故障机起动阻塞和备用机自起动指令。它包括运行机电压高（＋6％）、电压低（－10％）、频率低（－5％）、冷却水温高、滑油压力低；起动失败、成功30s 后滑油压力低、电压、频率不正常、合闸失败。

（3）故障报警，并发出主开关跳闸及故障机阻塞和备用机自起动指令。此类故障有逆功、短路。短路时还发出备用机起动阻塞指令。

（4）故障报警并发出跳闸及故障机阻塞、备用机自起动和故障机自动紧急停机指令。这类故障有超速、滑油压力低、冷却水温高。

2）柴油发电机组自动控制功能

（1）自动起动

①三台辅机冷却水系统接通，使备用机暖机。备用机自动周期性预润滑。由起动程序选择开关确定备用机按追随方式顺序自起动。

②当因故障而发出备用机自起动信号且备用机也准备好时发出自起动指令，可三次起动。若起动成功，30s 后滑油压力、电压、频率建立时自动合闸。若起动失败时发出报警和起动阻塞信号并发出下一台备用机自起动指令。

（2）故障自动停机

①故障发出紧急停车指令时自动停机。

②备用机合闸成功时故障机自动停机。

③备用机起动或合闸失败时自动停机。

3）备用机建压后，如电网无电则立即自动合闸；如电网有电则先使故障机跳闸而后合闸，实行断电自动切换。

4）应急柴油发电机组自动控制

（1）故障跳闸时（短路除外）备用机和应急机同时起动。如备用机先合闸则应急机不能合闸，主汇流排正常运行60s 后使应急机自动停机 。如应急机先合闸则当备用机建压后使应急机跳闸备用机自动合闸。应急机跳闸后自动停机。

（2）主母线短路时应急机合闸。主柴油发电机组不停机，应人工紧急处理。

5）按负荷自动增减机组

（1）当负载大于85％时备用机自起动建压后手操按钮自动同步合闸、自动分配负载，实行并联运行。如第一 备用机增机失败则使第二备用机增机。如第二备用机增机也失败则进行自动分级卸载。

（2）当负载小于60％时，手操解列按钮，投入机就自动转移负荷、自动跳闸和停机。

11.33　国外某船电站自动化系统

国外某船电站装有 三台柴油发电机组 ，一台应急柴油发电机组。该船电站自动化系统方框图如图8.3.1—108所示。其功能如下：

*1G一台发电机运行

*1G机组故障

声光报警

母线短路

1. 超速 $\Delta n > 10\% \sim 15\%$
2. 润滑油压力过低
3. 冷却水出口温度高
4. 逆功率10%

1. 高电压+6%;5″
2. 低电压-10%;5
3. 低频率-5%;10″
4. 冷却水出口温度高
5. 润滑油压力低

1. 频率高+5%;5″
2. 润滑油进口温度高
3. 排气温度高
4. 燃油日用柜油位低

遥控 起动

*1机组起动程序阻塞

0.6″

遥控

*1G跳闸

备用发电机起动程序

否

好

柴油机三次起动

滑油压力

否,30″

转速检测

否,30″

"与"

"与"

"机"紧急故障

频率正常否?

电压正常否?

否 30″

否 30

"与"

"或"

"与"

自动同步装置动作

否10″

是

同步检测30″

30″

"或"

是

是

*2母线短路

*2G合闸

否

*2G起动程序阻塞

是

"或"

"与"

自动负荷分配装置动作

"或"

*3机组起动程序阻塞

"或"

负荷转移

起动下一台机组

是

*1机组停组

*1G10% P_H检测

"或"

是

声,光报警

*1G跳闸

延时40″ $n>0$

是

声,光报警

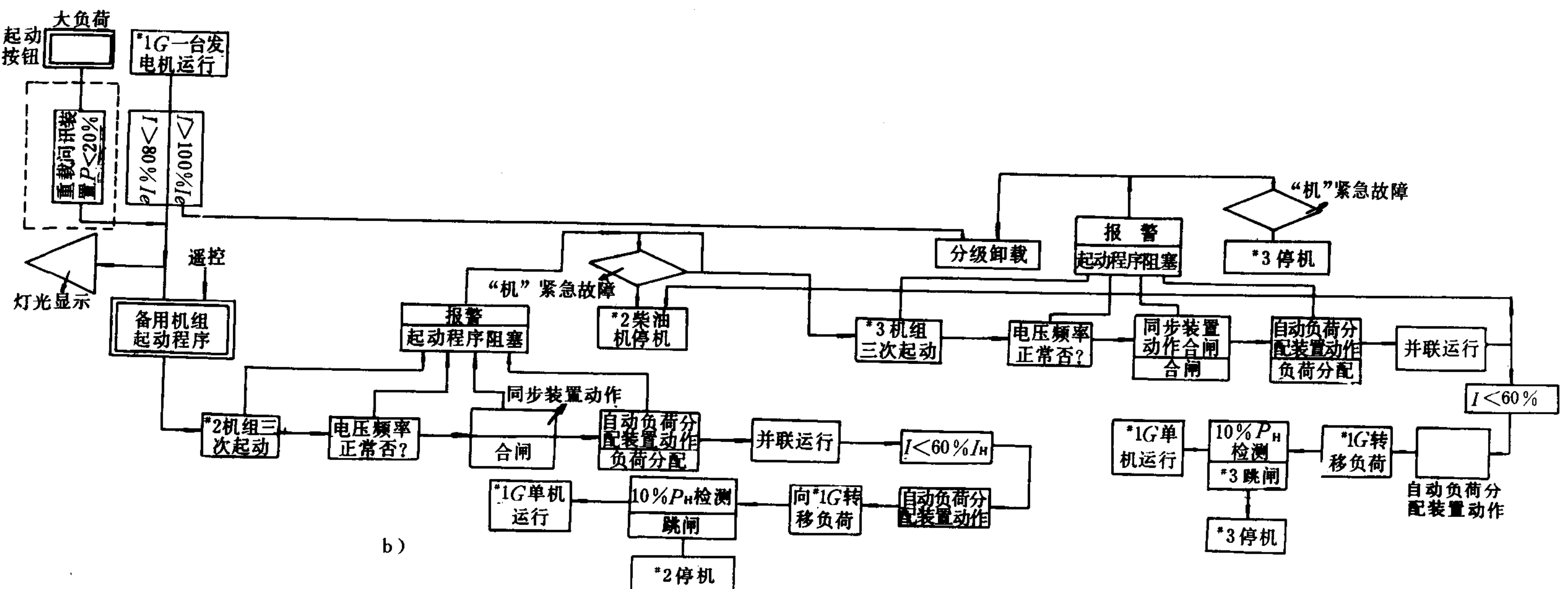
*2G单机运行

a)

重要负荷顺序起动

图8.3.1 108

a)单机运行;



b)

图8.3.1—108

b)增减机及重载询问;

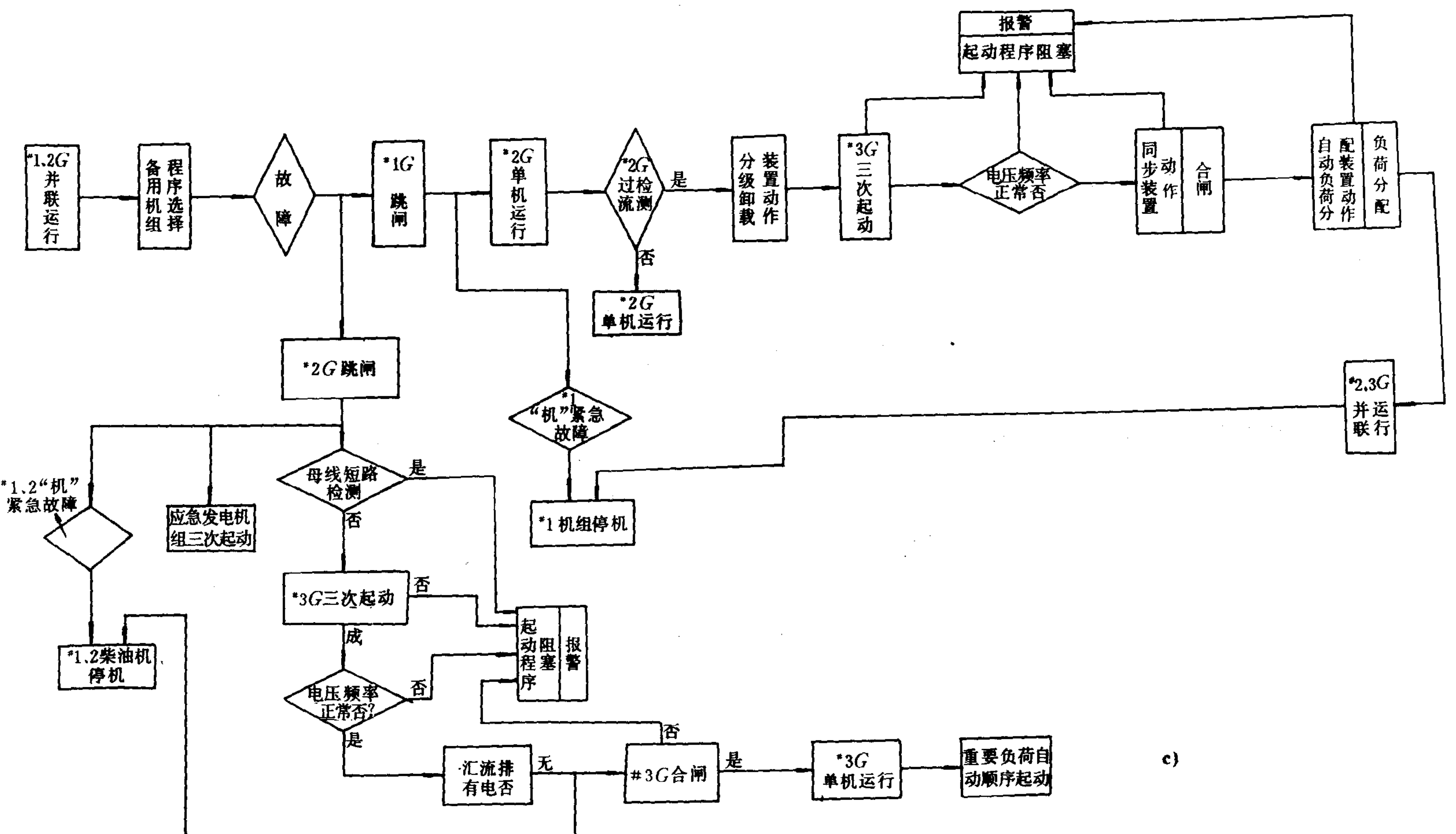


图8.3.1—108　国外某船电站自动化系统方框图

c)并联运行

1)自动保护与辅机自动控制同上述方案。

2)故障不跳闸时,备用机自起动建压后自动同步合闸,而后使故障机自动转移负荷、自动跳闸、自动停机,实现不断电自动切换。

3)母线短路时第一备用机自动起动、自动合闸。若合闸失败则使第二备用机起动阻塞。

4)应急机自动控制与上述方案同。

5)按负荷自动增减机与上述方案基本同。只是备用机起动建压后自动进行自动并车;减机时自动进行解列。负载大于100%时短延时增机并同时自动分级卸载。

6)重载询问。当大负荷投入时先按重载询问钮。如系统功率允许则发出重载合闸指令。如系统功率不允许则先自动增机而后重载自投入。重载合闸后应解除重载询问。

7)两台机并联运行情况

(1)其中一台机故障跳闸。如不过流则单机运行。如过流则自动分级卸载并使备用机自动起动、自动并车、均功后并联运行。由紧急故障停机或备用机运行使故障机自动停机。

(2)两台机同时故障跳闸。如不是母线短路,则备用机与应急机同时自起动,最后备用机单机运行。如母线短路,则备用机起动阻塞,应急机自起动、自动合闸供电。

11.34 "德跃"船微机控制的自动化电站

"德跃"船电站自动化系统采用微型计算机控制。电站装有三台柴油发电机(ACGN0:1、2、3),并具有可控相复励无刷励磁系统。"德跃"船微机控制的电站自动化系统原理图如图8.3.1—109所示。其功能如下:

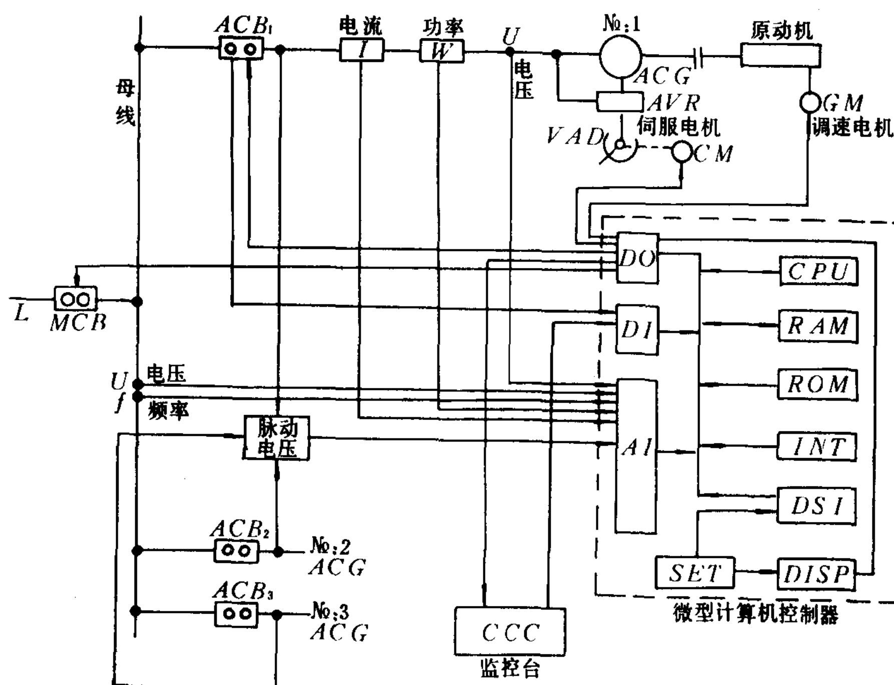


图8.3.1—109 "德跃"船微机控制的电站自动化系统原理图

1)电压自动调整。电压输入变换器 AI,经计算机运算后由 DO 输出控制伺服电机 CM,以驱动变阻器 VAD 进行调压。

2)发电机间无功功率自动分配。机组无功偏差超出设定值时，计算机输出控制 CM 及 VAD，分配无功。

3)频率自动调整。频率与设定值出现偏差时计算机输出控制调速电机 GM 进行调频。

4)发电机间有功自动分配。机组有功偏差大于设定值时，计算机输出控制 GM 分配有功。

5)自动并车。母线和待并机电压、频率输入 AI，由 DO 输出待并机调压调频信号进行电压、频率预调。脉动电压输入 AI，捕捉合闸信号发出瞬间，由 DO 输出合闸信号控制待并机主开关 ACB 自动合闸。

6)故障机自动解列。并联运行时功率不平衡值大于额定值±20%时由 DO 输出控制故障机 ACB 自动解列。

7)自动分级卸载。故障机自动解列后和正常运行中过载或切换机组时，由 DO 输出信号控制负载开关 MCB 进行自动卸载。

8)运行台数控制。发电机功率大于85%时，备用机自起动。负载小于25%时进行轻载显示。

9)原动机自动起动。计算机发出自动起动指令，柴油机自动控制装置按程序进行起动。

10)自动负荷转移。解列时计算机输出信号控制机组负荷自动转移。当负荷转移完毕，输出主开关跳闸信号。在转移中若运行机负载大于95%时则停止转移并重新进行负荷分配。

11)故障监控及报警。设有打印输出设备。对重要参数进行监控及报警。

11.35 ERA—11控制的电站自动化系统

ERA—11控制的船舶电站自动化系统是日本大洋电机株式会社研制的。ERA—11可控制三台发电机 (G1、G2、G3)并联运行，其中一台可是排气涡轮机。ERA—11微型计算机包括硬件和软件两部分。软件包括下列程序表：初期设定、存贮器试验、自动异常指令、备用设备控制、负荷控制、运行台数证实、母线异常检测、程序装置补助和输入输出回路试验程序表。ERA—11微型计算机控制的船舶电站自动化系统构成图如图8.3.1—110所示。其构成和功能如下：

1)微型计算机部分

(1)母线和发电机 G 的电压、频率监视。发电机功率检测。

(2)备用设备控制功能

①据控制开关来的信号和发动机准备完信号进行第一、二备用机选择并输出信号。

②运行机发生下列异常时发出备用机自起动信号：母线异常、失压；重载；主开关 ACB 跳闸。

③备用机自动起动建压后据起动原因按预先确定的切换方式进行运行和备用机自动切换。如失电时单独投入；母线异常时先断故障机再投备用机；重载或并联中一台机的 ACB 跳闸时经自动同期投入并联运行。

(3)ACB 控制功能

①接受从备用设备控制功能、自动同期投入功能及自动负荷转移功能来的投入信号或跳闸信号，输出 ACB 的投入或跳闸指令。

②进行 ACB 控制功能异常检测。

(4)自动同期投入功能。判别待并机频率高、低，输出控制调速电机的信号，使待并机的频率接近母线频率。频差及压差小于设定值时在电压相位一致的点输出象 ACB 投入那样的信号。

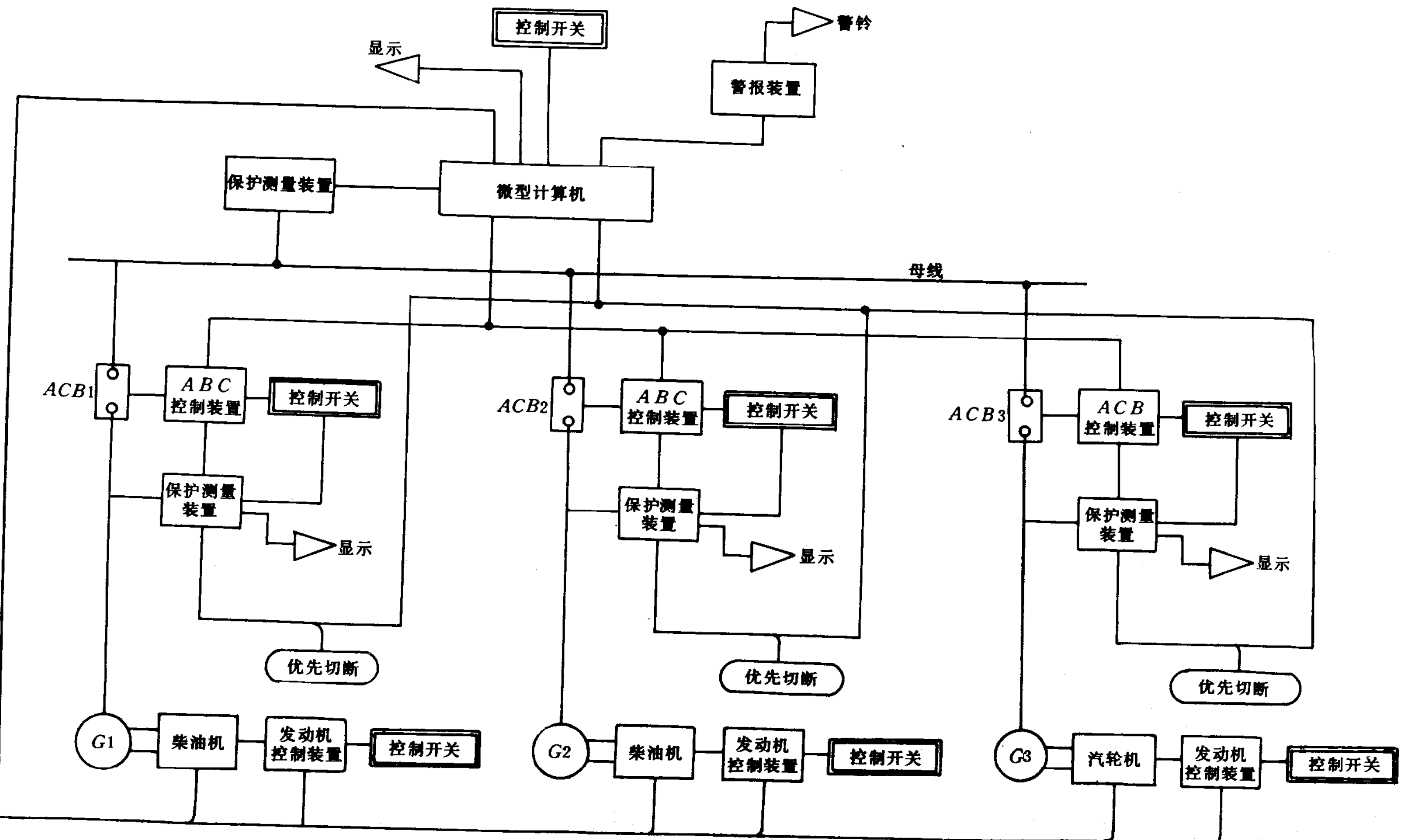


图8.3.1—110 ERA—11控制的船舶电站自动化系统构成图

(5)自动负荷分配功能

①自动负荷分配。检测各发电的有功功率；输出控制调速电机信号，按比例分配功率。

②自动负荷转移。解列时输出控制调速电机信号，使负荷转移到额定功率的5%时，输出ACB跳闸信号。

(6)自动频率控制。输出调频信号以恒频。

(7)自动分级卸载。并联运行中一台机ACB跳闸，留下发电机过载时，输出自动卸载信号。

(8)对系统和计算机本身进行监视报警。

2)发动机控制装置

(1)接受下列联锁信号：拉杆在一定位置、手柄在“运行”位置、起动空气阀“开”、发动机没起动、故障复位、开关“遥控”输出起动准备好信号。

(2)输出起动及停止电磁阀励磁信号。

(3)接受发动机异常信号(滑油压力低、冷却水温高、超速、不能起动)，输出报警和发动机异常信号，用于停机及ACB跳闸回路。

参考文献

[1] 黄伦坤、朱正鹏、刘宗德编：船舶电站及其自动装置，人民交通出版社，1981年

[2] 施亿生、谢绍惠编：船舶电站，国防工业出版社，1981年

[3] 邓振强、林春亭、曹善文编：轮机自动化(下册)，人民交通出版社，1986年

[4] 中华人民共和国船舶检验局钢质海船入级与建造规范，人民交通出版社1983年

[5] 毛宗源　船电技术　船电技术编辑室81年第4期

[6] 杜光琪　船电技术　船电技术编辑室84年第3期

[7] 刘宗德等编：船舶轮机问答、船舶电气部分第二版，人民交通出版社，1985年12月

[8] 华南工学院编：船舶电力系统，1977年

[9] 船舶设计实用手册第五分册，国防工业出版社。

第2章　船舶电网

1 概　述

由船舶电缆和电线构成的全船电能传输线路称为船舶电网。发电机等产生的电能通过它配送到全船各个用电设备。

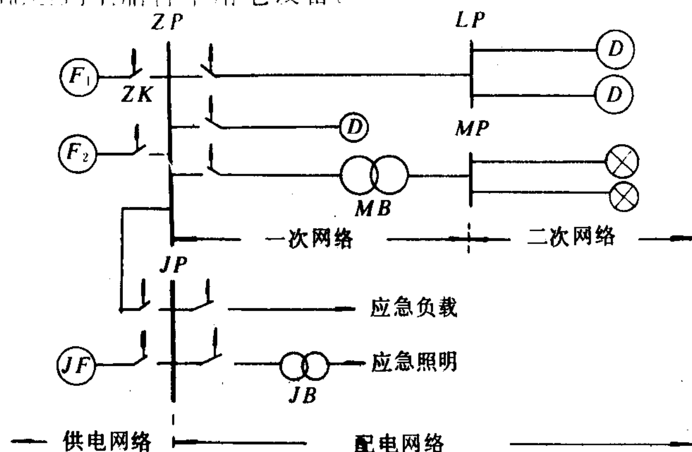


图 8.3.2—1　船舶电网示意图

F_1、F_2—主发电机；JF—应急发电机；ZP—主配电板；LP—分配电板；MP—照明分配电板；MB—照明变压器；JB—应急照明变压器；ZK—自动空气开关；b—电动机；JP—应急配电板

发电机与主配电板之间；应急发电机与应急配电板之间；主配电板之间以及主配电板与应急配电板之间的电气联接网络称为供电网络。

主配电板及应急配电板到用电设备的网络称为配电网络。从主配电板到分配电板和由主配电板直接供电到用电设备的网络称为一次网络；由区（分）配电板到各用电设备之间的网络称为二次网络。

船舶电网示意图如图 8.3.2—1 所示。

2　船舶电网线制

见表 8.3.2—1 及图 8.3.2—2a)、b)、c)和图 8.3.2—3a)、b)、c)。其中三线绳缘系统，由於照明系统与动力系统经过变压器互相联系，因此二个系统之间相互影响小。当发生一相对船体接地故障时，不会产生大的单相接地电流（仅仅产生对地电容电流），即不会中断对用电设备的供电，通常具有较好的防火和电气安全性，因此目前船舶普遍采用交流三线绝缘系统。但是随着船舶大型化、自动化的发展，电缆线数、长度、截面积随之增加，使系统对地电容增加、其防火和电气安全性将大大降低。特别对采用高中压和中频电源的船舶。另外，在故障状态或开关合闸瞬间易产生 2～5 倍的过电压冲击，应注意对船上的半导体元件、计算机集中控制装置和测量仪表的影响。

表 8.3.2—1　　**船舶电网线制**[4]

名　称	直流配电系统	单相交流配电系统	三相交流配电系统
内容	1. 双线绝缘系统 2. 负极接地双线系统 3. 以船体作负极回路的单线系统	1. 双线绝缘系统 2. 一线接地的双线系统 3. 一线以船体作回路的单线系统	1. 三线绝缘系统 2. 中线接地的四线系统 3. 中线接地并以船体作中线的三线系统

注：必须注意在船舶上凡利用船体作导线的系统时，必须经有关部门特别批准后才能使用。凡油类船舶，只允许采用表中第一项中的配电方式。

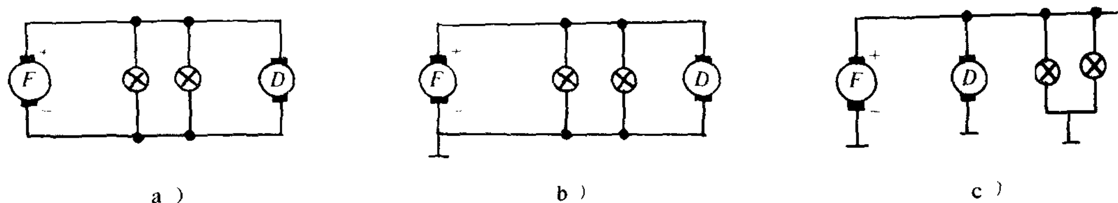


图8.3.2—2　直流配电系统

a)双线绝缘系统；b)负极接地双线系统；c)以船体作负极回路的单线系统

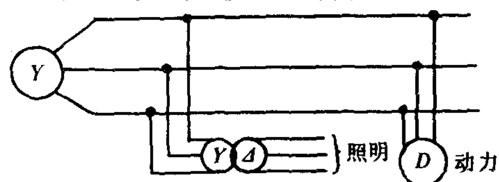
3　船舶电网的分类

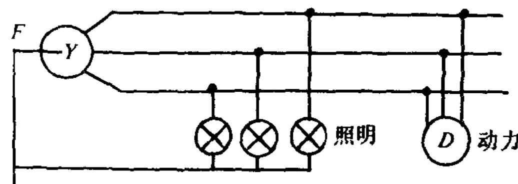
船舶电网按电源装置可分为：

1)主电网

由主发电机通过总配电板供电的网络，包括动力电网和正常照明电网。

动力电网：向全船电动机负载、600W以上的电热器和1000W以上的探照灯供电。





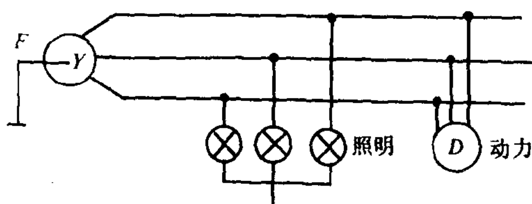


图8.3.2—3　三相交流配电系统

a)三线绝缘系统；b)中线接地的四线系统；

c)中线接地并以船体作中线的三线系统

正常照明电网：向全船正常照明、航行灯、600W以下的电热器和小功率电动机、如电风扇等供电。

2)应急电网

当船舶主电站因故不能供电时，应急发电机通过应急配电板向部分必须工作的用电设备供电所构成的网络，它的供电范围见表8.3.2—2。

3)由临时应急照明蓄电池供电的电网。对装设有应急发电机组但无自起动装置的船舶，必须安装临时应急照明，蓄电池容量应能满足连续供电30min。

下列场所应安装临时应急照明：

(1)重要通道、扶梯口、轴隧、应急逃口处；

(2)机炉舱出入口与扶梯，应急机组室及入口；

(3)主、辅机操纵台、总配电板前后及锅炉水位表和气压表照明；

(4)海图室、电罗经室、无线电室；

(5)罗经照明；

(6)二氧化碳站；

(7)救生艇附近甲板面；

(8)客船上的旅客公共居住舱室。

表 8.3.2－2　　**应急电源应供电的用电设备**[1]

序号	供电系统	客船		货船	
		国际航行	国内沿海	≥5000总吨	500－5000总吨
1	航行灯及信号灯	★	★	★	★ 仅对油轮
2	通道、出入口、扶梯、轴隧、应急出口的照明	★	★	★	★
3	登艇处的甲板和舷外放艇时所需的照明，救生筏，救生浮贮放处的照明	★	★	★	★
4	机舱、炉舱、主机操纵台、锅炉水位表及气压表、总配电盘前后、应急发电机室、舵机舱等的照明	★	★	★	★
5	驾驶室、海图室、无线电室、消防设备控制站照明	★	★	★	★
6	船员和旅客公共舱室、旅客超过16人的居住舱室的照明	★	★	—	—
7	白昼信号探照灯	★	建议	(★大于150总吨的国际航行船舶)	
8	无线电测向仪、无线电台	★	建议	(★国际航行船舶)	
9	应急消防泵				
10	紧急集合报警装置	★	★	★	建议

注：1. ★标记表示必须由应急电源供电；

2. 上表2、3、4、5、6等项所列设备同样也适用于由临时应急照明电源供电。

4)弱电电网

各种助航、通信、无线电设备中各种不同电压、不同电流、不同频率的电网。

4　船舶电网的结线方式

船舶电网结线方式应考虑满足供电的可靠性、运行的灵活性、安全性、经济性及操作维护方便。

常用的结线方式有：

1)放射式结线：如图8.3.2－4所示。每一馈电线都是由总(主)配电板直接引出，它只向一个用电设备进行供电。这种接线方式的特点：

(1)从总配电板引出的各馈电线都装有自动空气开关，便于集中控制。

(2)由于船舶用电设备较多，总配电板要集中大量的电缆端头和自动空气开关，因此电线消耗量较大、主配电板的尺寸也相应较大。

(3)当馈电线路发生故障时，由该线路馈电的用电设备或分配电板(箱)就要停电，因此可靠性较差。

(4)保护装置的配置简单。

2)环式结线：如图8.3.2－5所示。主馈电线是一个环形的闭合回路，它经过串接在主馈电线路上的各个分线盒供电给用电设备或分配电板(箱)。这种结接方式的特点：

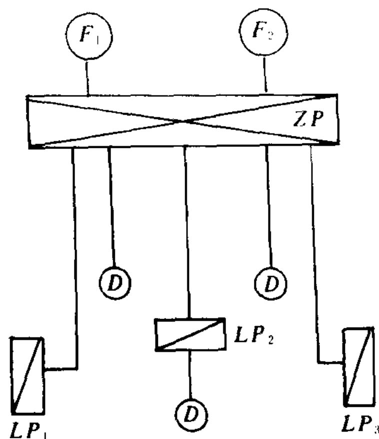


图 8.3.2－4　放射式结线

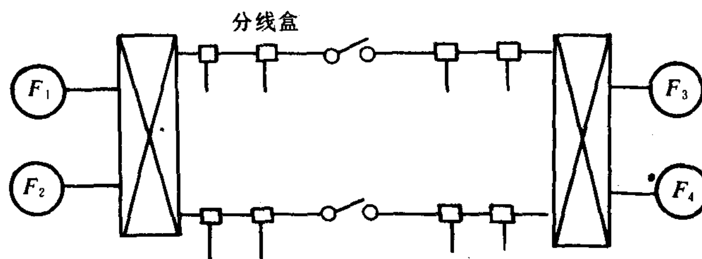


图 8.3.2－5　环式结线

(1)每一用电设备均可以从线路的两个方向获得供电，故供电可靠性较好。

(2)可以减少主馈电电缆的数量和长度及主配电板的尺寸。

(3)不便于在主配电板上对各馈线实行集中控制。

(4)保护装置的配置复杂。

目前，除少数对供电可靠性要求特别高的军用舰艇和大型客船采用环式结线的电网外，绝大部分船舶都采用放射式结线。

5　船用电缆与电线

船舶电网是由电缆和电线组成。电线由一根或几根柔软的导线组成，外层包以保证电气绝缘用的护层，电缆则除了电气绝缘层外还有用以防止外界因素(火、油、水、机械力等)危害的防护套。船舶电网绝大部分采用电缆，而电线主要用于电气设备内部接线和一部分生活舱室的照明线路。

船用电缆主要由导电芯线、电气绝缘层和保护套三部分组成，其构造见图 8.3.2－6。

1)导电芯线

由不少于七根直径为 0.26～2.47mm 的圆形软铜丝绞合而成。根据不同需要做成单芯、双芯、三芯和多芯的多种，芯线的截面有 0.8～400mm² 等各种不同大小的规格。

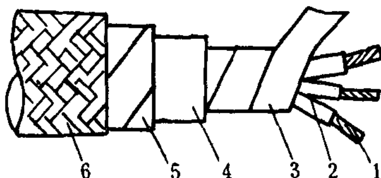


图 8.3.2－6　船用电缆的构造
1－芯线；2－芯线绝缘；3－胶带；
4－绝缘层；5－胶带；6－铠装层

2)电气绝缘

电缆的每一条芯线均由绝缘材料制成的电气绝缘层所包裹，作为芯线与芯线之间、芯线与外界的电气绝缘用。电气绝缘质量的优劣直接影响到电缆的允许载流量和整个电网的电气绝缘性能。船用电缆常用的电气绝缘材料及其耐热性能见表 8.3.2－3。

表 8.3.2－3　　　　船用电缆绝缘材料及耐热性能[4]

绝缘类型		型 号 举 例	工作温度 (℃)			
			长期	短期	过载	短路
聚氯乙烯塑料	普通	CVV,CVV32	65	80	130	待定
	耐热	CVV－80,CVV32－80	80	95	130	
橡胶	天燃丁苯	CF,CF31 CF32 CV CY CY31 CY32 CYR CFR	70	80	130	150
	丁基	CDF,CDF31,CDF32 CDY,CDY31,CDY32 CDYH CDYH31 CDYH32 CDYR CDYHR	80	95	160	230
	乙丙	CEF,CEF31,CEF32,CEY CEY31 CEY32 CEFR CEYH,CEYH31,CEYH32 CEYR,CEYHR	80	100	160	230

3)防护套

防护套覆于电气绝缘层之外,它主要是作为保护电缆免受油、水、化学腐蚀和机械损伤之用,有的还具有防燃性能。船用电缆常用的防护套材料及性能见表 8.3.2－4。

表 8.3.2－4　　　　船用电缆防护套材料及其性能[3]

防护套材料	保 护 性 能
氯丁橡胶	有较高的机械强度和不延燃性,但耐大气,日光的老化,耐化学腐蚀和耐油性能较差
丁腈聚氯乙烯胶复合物	有良好的耐油水性,耐磨性和不延燃性,机械强度较高,但耐大气、日光老化的性能较氯丁橡皮为差
聚氯乙烯	具有优良的耐化学腐蚀和耐油性能,机械强度高,但易老化和受鼠害
铅护套	不受损伤时具有良好的密封性和防油水性能,还具有电屏蔽作用,但它的机械强度差,很易碰损。

4)铠装

有些船用电缆在防护套外面还加上一层铠装层,以增加抗机械损伤能力或起电屏蔽作用。采用的铠装种类见表 8.3.2－5。

表 8.3.2－5　**船用电缆铠装的种类**[3]

铠装种类	特　　点
镀锡铜丝编织	具有良好的电屏蔽性能，但耗铜多，价格高
镀锌钢丝编织	电屏蔽性能较差，易生锈腐烂，但价格比铜丝编织的低
尼龙编织	柔软、耐磨、抗机械损伤性能好，无电屏蔽作用
金属软管	有很好的机械保护性能，但重量大，价格高，仅用于对机械保护要求高，且电缆经常随设备摆动的场合。

5.1　船舶电网的计算

船舶电网计算的任务是合理地选择网络的电缆和电线。计算时可以采取下列步骤：

1)确定电缆的牌号

根据使用的要求，按电缆的用途(用于动力网络、弱电网络等)，敷设位置(干燥或潮湿舱室、是否要求屏蔽、防爆等)和工作条件(固定敷设或移动用电设备用等)参照表 8.3.2－6 选择电缆牌号。

表 8.3.2－6　**船用电力电缆型号与用途**[4]

序号	型　号	名　　称	主要用途
1	CF	船用橡皮绝缘氯丁护套电缆	固定敷设
2	CV	船用橡皮绝缘聚氯乙烯护套电缆	同 CF 型
3	CY	船用橡皮绝缘硫化丁聚护套电缆	同 CF 型，可接触油类
4	CDF	船用丁基橡皮绝缘耐热氯丁护套电缆	固定敷设
5	CDYH	船用丁基橡皮绝缘氯磺化聚乙烯护套电缆	同 CDF 型
6	CDY	船用丁基橡皮绝缘硫化丁聚护套电缆	同 CDF 型，可接触油类
7	CEF	船用乙丙橡皮绝缘耐热氯丁护套电缆	固定敷设
8	CEYH	船用乙丙橡皮绝缘氯磺化聚乙烯护套电缆	同 CEF 型
9	CEY	船用乙丙橡皮绝缘硫化丁聚护套电缆	同 CEF 型，可接触油类
10	CVV	船用聚氯乙烯绝缘和护套电缆	固定敷设
11	CVV－80	船用耐热聚氯乙烯绝缘和护套电缆	固定敷设
12	CF31	船用橡皮绝缘氯丁护套钢丝编织电缆	同 CF 型，用于防机械外力作用场所
13	CY31	船用橡皮绝缘硫化丁聚护套钢丝编织电缆	同 CY 型，用于防机械外力作用场所
14	CDF31	船用丁基橡皮绝缘耐热氯丁护套钢丝编织电缆	同 CDF 型，用于防机械外力作用场所
15	CDYH31	船用丁基橡皮绝缘氯磺化聚乙烯护套钢丝编织电缆	同 CDYH 型，用于防机械外力作用场所
16	CDY31	船用丁基橡皮绝缘硫化丁聚护套钢丝编织电缆	同 CDY 型，用于防机械外力作用场所
17	CEF31	船用乙丙橡皮绝缘耐热氯丁护套钢丝编织电缆	同 CEF 型，用于防机械外力作用场所
18	CEYH31	船用乙丙橡皮绝缘氯磺化聚乙烯护套钢丝编织电缆	同 CEYH 型，用于防机械外力作用场所
19	CEY31	船用乙丙橡皮绝缘硫化丁聚护套钢丝编织电缆	同 CEY 型，用于防机械外力作用场所
20	CF32	船用橡皮绝缘氯丁护套铜丝编织电缆	同 CF 型，用于防干扰场所
21	CY32	船用橡皮绝缘硫化丁聚护套铜丝编织电缆	同 CY 型，用于防干扰场所
22	CDF32	船用丁基橡皮绝缘耐热氯丁护套铜丝编织电缆	同 CDF 型，用于防干扰场所
23	CDYH32	船用丁基橡皮绝缘氯磺化聚乙烯护套铜丝编织电缆	同 CDYH 型，用于防干扰场所
24	CDY32	船用丁基橡皮绝缘硫化丁聚护套铜丝编织电缆	同 CDY 型，用于防干扰场所
25	CEF32	船用乙丙橡皮绝缘耐热氯丁护套铜丝编织电缆	同 CEF 型，用于防干扰场所
26	CEYH32	船用乙丙橡皮绝缘氯磺化聚乙烯护套铜丝编织电缆	同 CEYH 型，用于防干扰场所
27	CEY32	船用乙丙橡皮绝缘硫化丁聚护套铜丝编织电缆	同 CEY 型，用于防干扰场所
28	CVV32	船用聚氯乙烯绝缘和护套铜丝编织电缆	同 CVV 型，用于防干扰场所
29	CVV32－80	船用耐热聚氯乙烯绝缘和护套铜丝编织电缆	同 CVV－80 型，用于防干扰场所

续上表

序号	型　号	名　　称	主要用途
30	CFR	船用橡皮绝缘氯丁护套软电缆	同 CF 型，连接移动电器设备用
31	CYR	船用橡皮绝缘硫化丁聚护套软电缆	同 CY 型，连接移动电器设备用
32	CDFR	船用丁基橡皮绝缘耐热氯丁护套软电缆	同 CDF 型，连接移动电器设备用
33	CDYHR	船用丁基橡皮绝缘磺化聚乙烯护套软电缆	同 CDYH 型，连接移动电器设备用
34	CDYR	船用丁基橡皮绝缘硫化丁聚护套软电缆	同 CDY 型，连接移动电器设备用
35	CEFR	船用乙丙橡皮绝缘耐热氯丁护套软电缆	同 CEF 型，连接移动电器设备用
36	CEYHR	船用乙丙橡皮绝缘氯磺化聚乙烯护套软电缆	同 CEYH 型，连接移动电器设备用
37	CEYR	船用乙丙橡皮绝缘硫化丁聚护套软电缆	同 CEY 型，连接移动电器设备用

2)确定电缆芯线的截面和芯数

电缆芯线截面是由它所载电流的大小而定。根据电流的热效应，电缆的允许最大载流量不应小于该电缆的最大可能的工作电流。

船用电力电缆的载流量(环境温度+45℃时)见表 8.3.2—7 至表 8.3.2—14[4]。

表 8.3.2—7　　**船用橡皮绝缘电缆连续使用时的额定电流(A)**

芯线温度	70℃			80℃			85℃		
标称截面(mm²) \ 芯数(根)	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0.75	13	11	10	16	13	11	17	14	12
1	16	13	11	19	16	13	20	17	14
1.5	20	17	14	24	20	17	25	21	18
2.5	26	22	19	32	27	23	34	28	24
4	35	26	25	42	35	30	44	37	32
6	44	37	32	53	45	38	56	48	41
10	61	51	44	72	62	52	77	66	56
16	81	68	58	97	82	70	100	87	74
25	105	90	77	130	110	92	135	115	98
35	135	110	94	160	135	115	170	140	120
50	165	140	120	200	165	140	215	180	150
70	205	170	145	245	205	175	260	220	170
95	250	210	180	300	250	215	320	270	230
120	290	245	205	350	290	250	370	310	265
150	335	—	240	400	—	285	430	—	305
185	385	—	—	460	—	—	490	—	—
240	465	—	—	545	—	—	580	—	—
300	525	—	—	630	—	—	670	—	—
400	625	—	—	750	—	—	800	—	—

表 8.3.2－8　　船用橡皮绝缘多芯电缆连续使用时的额定电流（A）

芯线温度	70℃				80℃				85℃			
标称截面(mm²) / 芯数（根）	0.75	1.0	1.5	2.5	0.75	1.0	1.5	2.5	0.75	1.0	1.5	2.5
4	9	10	13	18	11	12	16	21	11	13	17	22
5	8	10	12	16	10	12	15	20	10	12	16	21
7	7	9	11	15	9	10	13	17	9	11	14	18
10	7	8	10	13	8	9	12	16	9	10	13	17
14	6	7	9	12	7	8	10	14	8	9	11	15
19	5	6	8	11	6	8	9	13	7	8	10	14
24	5	6	8	10	6	7	9	12	6	8	10	13
30	5	6	7	9	6	7	8	11	6	7	9	12
37	4	5	6	9	5	6	8	10	6	7	8	11
44	4	—	—	—	5	—	—	—	5	—	—	—
48	4	—	—	—	5	—	—	—	5	—	—	—

表 8.3.2－9　　船用塑料绝缘电缆连续使用时的额定电流（A）

芯线温度	65℃			80℃		
蕊数（根） / 标称截面(mm²)	1	2	3	1	2	3
0.75	11	9	8	15	12	12
1	13	11	9	17	14	13
1.5	16	14	12	22	18	16
2.5	22	18	16	29	24	21
4	29	24	21	39	32	28
6	36	30	27	49	41	35
10	50	41	36	68	55	48
16	67	55	47	91	74	64
25	88	72	62	120	97	84
35	110	88	76	150	120	100
50	135	110	96	185	150	130
70	170	135	120	230	185	160
95	205	165	140	280	220	190
120	240	190	165	325	260	220

表 8.3.2－10　　**船用塑料绝缘多芯电缆连续使用时的额定电流(A)**

芯线温度	65℃				80℃			
标称截面(mm²) / 芯数(根)	0.75	1.0	1.5	2.5	0.75	1.0	1.5	2.5
4	7	8	11	14	10	11	14	19
5	7	8	10	13	9	11	13	18
7	6	7	9	12	8	10	12	16
10	6	7	8	11	8	9	11	15
14	5	6	7	10	7	8	10	13
19	4	5	7	9	6	7	9	11
24	4	5	6	8	6	7	9	11
30	4	5	6	8	5	6	8	11
37	4	4	5	7	5	6	7	10
44	4	—	—	—	5	—	—	—
48	3	—	—	—	5	—	—	—

表 8.3.2－11　　**船用橡皮绝缘电缆短时工作的允许电流(A)**

温度	70℃						80℃						85℃					
芯数(根)	1		2		3		1		2		3		1		2		3	
工作制(h) / 标称截面(mm²)	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1
0.75	16	16	14	14	12	12	20	20	17	17	14	14	21	21	18	18	15	15
1	19	19	16	16	14	14	23	23	20	20	17	17	25	25	21	21	18	18
1.5	24	24	20	20	18	18	29	29	25	25	21	21	31	31	26	26	22	22
2.5	33	33	28	28	24	24	39	39	33	33	28	27	42	42	36	35	30	30
4	43	43	37	36	33	31	52	52	44	43	38	37	55	55	47	46	40	40
6	55	55	48	46	43	40	65	65	57	55	50	48	70	70	61	59	53	51
10	75	75	67	64	61	55	90	90	81	77	70	65	96	95	86	82	75	70
16	100	100	93	85	84	74	120	120	110	100	97	88	130	125	115	110	105	94
25	135	130	125	115	115	99	170	160	150	140	135	115	175	170	160	145	140	125
35	175	165	158	142	155	125	210	200	190	170	170	135	220	210	205	180	180	160
50	220	210	210	185	220	160	270	250	255	220	230	195	285	265	270	235	245	205
70	275	260	270	230	265	205	335	310	330	275	265	245	260	330	350	295	300	250
95	355	320	350	295	325	265	435	380	425	350	390	315	455	405	450	375	415	340
120	430	385	425	345	390	310	505	445	500	415	465	370	535	475	530	445	495	395
150	500	435	—	—	475	375	600	520	—	—	465	445	640	560	—	—	610	480
180	595	505	—	—	—	—	710	610	—	—	—	—	755	650	—	—	—	—
240	745	635	—	—	—	—	870	740	—	—	—	—	930	790	—	—	—	—
300	880	730	—	—	—	—	1060	880	—	—	—	—	1130	930	—	—	—	—
400	1120	900	—	—	—	—	1340	1080	—	—	—	—	1430	1160	—	—	—	—

表 8.3.2—12 **船用塑料绝缘电缆短时工作允许电流(A)**

温度	65℃						80℃					
芯数(根)	1		2		3		1		2		3	
工作制(h) / 标称截面(mm²)	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1
0.75	13	13	11	11	10	10	18	18	15	15	16	15
1	16	16	14	14	12	12	21	21	18	18	16	16
1.5	20	20	17	17	15	15	27	27	22	22	20	20
2.5	27	27	22	22	20	20	36	36	31	30	27	27
4	35	35	30	29	26	26	48	48	41	40	36	35
6	45	45	38	37	35	33	61	61	52	50	46	44
10	62	62	54	51	48	44	84	84	73	69	64	60
16	85	83	74	69	65	60	115	110	99	92	89	80
25	105	110	100	92	90	80	155	150	135	125	120	110
35	140	135	125	115	115	100	195	185	170	155	155	135
50	185	170	170	145	155	130	250	235	225	195	210	175
70	230	210	220	185	200	165	310	290	295	250	270	220
95	295	260	280	230	260	210	400	355	375	310	350	280
120	350	310	335	275	310	245	470	415	450	370	415	330

表 8.3.2—13 **船用橡皮绝缘电缆周期负荷时的允许电流(A)**

芯线温度	70℃						80℃						85℃					
芯数(根)	1		2		3		1		2		3		1		2		3	
工作比 α / 标称截面(mm²)	0.25	0.4	0.25	0.4	0.25	0.4	0.25	0.4	0.25	0.4	0.25	0.4	0.25	0.4	0.25	0.4	0.25	0.4
0.75	20	17	17	14	14	12	24	20	21	17	18	15	22	19	22	18	19	16
1	23	20	21	17	18	15	28	23	25	21	21	18	30	25	27	22	23	19
1.5	29	25	26	22	23	19	35	29	31	26	28	23	37	31	33	28	30	25
2.5	39	33	36	30	32	26	47	39	44	36	38	31	50	42	46	37	41	32
4	54	45	49	40	42	34	64	53	58	48	51	41	68	57	62	51	54	44
6	68	57	64	52	56	45	82	68	77	63	68	55	87	72	82	68	71	58
10	96	80	91	74	78	64	115	96	110	88	94	76	120	100	115	94	100	85
16	135	110	125	99	105	86	165	135	145	120	125	105	170	140	155	120	135	110
25	185	150	165	135	140	115	220	180	200	160	170	135	235	190	210	155	180	145
35	235	190	205	165	180	140	280	225	245	195	210	170	300	240	260	210	225	180
50	300	240	260	210	225	180	360	290	315	250	270	215	385	310	330	270	290	230
70	370	300	325	260	280	225	445	360	390	310	335	270	475	365	415	335	340	270
95	460	370	400	320	345	275	550	445	480	385	415	330	585	470	515	410	440	335
120	540	440	470	370	400	320	645	515	560	445	480	380	685	550	595	475	510	390
150	625	505	—	—	460	370	745	605	—	—	550	440	795	645	—	—	580	470
185	720	580	—	—	—	—	865	700	—	—	—	—	920	740	—	—	—	—
240	885	705	—	—	—	—	1035	830	—	—	—	—	1100	850	—	—	—	—
300	1000	800	—	—	—	—	1200	965	—	—	—	—	1275	1020	—	—	—	—
400	1200	955	—	—	—	—	1440	1150	—	—	—	—	1530	1225	—	—	—	—

注：工作比 α＝每周期内工作时间(min)/负荷变动周期(min)。

表 8.3.2—14　　**船用塑料电缆周期负荷时的允许电流(A)**

芯线温度	65℃						80℃					
芯数(根)	1		2		3		1		2		3	
工作比 α / 标称截面(mm²)	0.25	0.4	0.25	0.4	0.25	0.4	0.25	0.4	0.25	0.4	0.25	0.4
0.75	16	13	14	12	12	10	22	18	19	16	18	16
1	19	16	17	14	14	12	25	22	23	19	20	17
1.5	24	20	21	18	19	16	32	27	29	24	26	21
2.5	32	26	30	24	26	22	43	37	40	33	36	29
4	44	37	40	28	35	29	60	50	54	44	47	39
6	56	45	52	42	47	38	76	63	70	56	62	50
10	79	66	73	59	64	52	110	89	98	79	86	70
16	115	92	98	79	86	69	150	130	135	105	115	94
25	155	125	135	105	115	94	205	165	180	145	155	125
35	190	155	165	125	145	115	260	210	220	175	190	155
50	240	200	210	175	185	145	330	270	280	225	245	195
70	305	245	260	210	225	180	415	330	350	280	305	240
95	380	305	315	250	275	220	510	410	425	350	370	290
120	445	350	370	290	315	250	600	480	495	395	425	340

在选择电缆截面时应注意如下几点：

(1)发电机与总配电板的连接电缆按发电机的额定电流来选择；

(2)电动机馈线电缆的截面按电动机的额定电流来选择；

(3)选择到分配电板的馈电电缆截面时，应考虑该分配电板所接用电设备的负载系数 K_v 和同时工作系数 K_0，还要考虑一定的备用裕量 I_b。设 I_{fn}是某一用电设备的额定工作电流，见图 8.3.2－7，则分配电箱馈电电缆的计算总电流值 $I_{f\Sigma}$按下式计算：

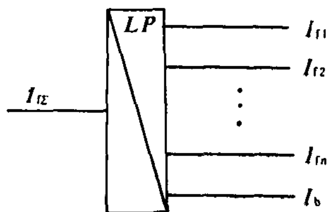


图 8.3.2—7
分配电板的馈电电缆

直流：
$$I_{f\Sigma}=K_0\sum_{1}^{n}(I_{fn}K_v)+I_b$$

交流：
$$I_{f\Sigma}=K_0\sqrt{(\sum_{1}^{n}I_{pn}K_v)^2+(\sum_{1}^{n}I_{qn}K_v)^2}+I_b$$

式中：$I_{pn}=I_{fn}\cos\varphi$；　$I_{qn}=I_{fn}\sin\varphi$

φ——功率因数角

$$K_v=\frac{\text{用电设备的实际工作电流}}{\text{用电设备的额定工作电流}}$$

$$K_0=\frac{\text{同时工作的电流之和}}{\text{分配电板所接电气设备工作电流之和}}$$

(4)起货机分配电板的馈电电缆的截面，应根据一台起货电动机满载电流乘一负载系数 K_v 后的电流值来选择，负载系数由起货机型式及使用台数 m 决定。见图 8.3.2－8 中曲线 A；

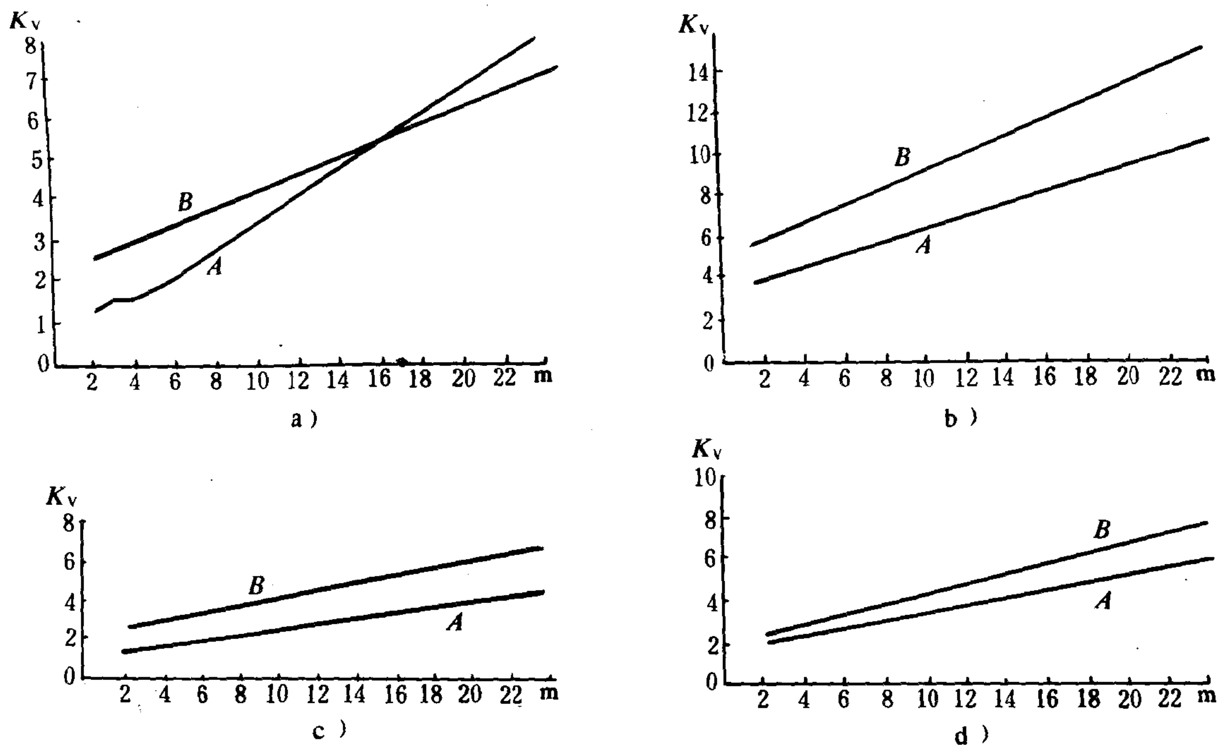


图 8.3.2—8 起货机负荷曲线

a)直流起货机;b)交流鼠笼式电动起货机;c)发电机—电动机系统起货机;d)交流滑环式电动起货机

A—应用于选择电缆及开关;B—应用于选择发电机

(5)直流电制中,在截面为 25mm 以上的电缆,宜采用单芯电缆,以便敷设;

(6)三相交流电一般采用三芯电缆,当电缆截面较大时,可用二根或多根三芯电缆,并联使用,但不分相,三相四线制中性线截面应与相线相同;

(7)信号电缆不能与控制电缆、电源电缆共用一条多芯电缆;

表 8.3.2—15 **电缆备用线芯数**

实用线芯数	备用线芯数
2～4	0～1
5～16	1～2
19～37	2～4

(8)选择多芯电缆时,应考虑备用芯线,一般可参照表 8.3.2—15。

3)电缆截面的修正

根据周围环境温度及敷设的方法,对所选用的电缆截面进行必要的修正。

(1)周围环境温度的修正

当周围环境温度高于或低于 45℃时,电缆的最大安全载流量需将环境温度为 45℃时的最大安全载流量乘以表 8.3.2—16 所列的温度校正系数。

表 8.3.2－16　**环境温度修正系数**

绝缘材料	环境温度校正系数			
	40℃	45℃	50℃	55℃
一般聚氯乙烯	1.15	1.0	0.82	—
耐热聚氯乙烯	1.08	1.0	0.91	0.82
乙丙橡皮	1.06	1.0	0.94	0.87
硅橡皮	1.05	1.0	0.95	0.89

(2)电缆在管内敷设时的修正

当电缆敷设在管内，其长度超过 1.3m 时，可选择电缆截面的计算电流比实际工作电流增加 25％左右。

(3)电缆成束敷设时的修正

我国尚未对成束敷设的电缆的载流量应如何修正作出规定，表 8.3.2－17 是国外所采用的修正系数。

表 8.3.2－17　**各国船规对成束敷设修正系数的规定**[2]

国家或机构名称	IEC (1977)	英国 1975	日本 1976	苏联 1975	西德 1971	法国 1971	美国 (1974)
修正系数	0.85						电缆束排列大于二层时每增加一层额定电流减少 5％
前提条件	6 根以上的电缆成束敷设						

4)船舶电网电压降的确定

选择电缆时还需根据用电设备允许的电压损失验算所选用的电缆截面是 否符合规范的要求。表 8.3.2－18 列出了船舶电网电压降容许值。[4]

表 8.3.2－18　**船舶电网电压降容许值**

船舶电网名称	允许电压降(5％)	
	直　流	交　流
发电机至总配电板	1	1
动力网络	7	7
照明网络，110V 及以上	7	7
照明网络，24V 以下	不计	不计
24V 可携器具及照明	不计	不计

电压降计算公式汇总于表 8.3.2－19。

(1)表 8.3.2－19 为集中负载(如图 8.3.2－9 所示)的电压降计算公式

表 8.3.2－19　**电压降计算公式表**[1]

网络分类	以伏表示		以百分数(％)表示	
	已知电流 (A)	已知功率 (kW)	已知电流 (A)	已知功率 (kW)
直流网络	$\frac{2IL}{\gamma S}$	$\frac{2PL}{\gamma SU}\times 10^3$	$\frac{2IL}{\gamma SU}\times 100$	$\frac{2PL}{\gamma SU^2}\times 10^5$

续上表

网络分类	以伏表示		以百分数(%)表示	
	已知电流 (A)	已知功率 (kW)	已知电流 (A)	已知功率 (kW)
单相交流网络	$\frac{2IL}{\gamma S}\cos\varphi$	$\frac{2PL}{\gamma SU}\times 10^3$	$\frac{2IL}{\gamma SU}\cos\varphi\times 100$	$\frac{2PL}{\gamma SU^2}\times 10^5$
三相交流网络	$\frac{\sqrt{3}\,IL}{\gamma S}\cos\varphi$	$\frac{\sqrt{3}\,PL}{\gamma SU}\times 10^3$	$\frac{3IL}{\gamma SU}\cos\varphi\times 100$	$\frac{3PL}{\gamma SU^2}\times 10^5$

注:L—— 电缆和电线的长度,m;

s—— 电缆和电线的截面积,mm^2;

γ—— 导电率,铜 20℃时的 γ=54.4m/Ω、mm^2;

P—— 负载功率,kW;

U—— 负载电压,V;

I— 负载电流,A;

cosφ—— 负载的功率因数。

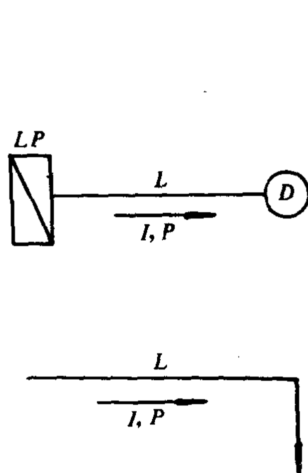


图 8.3.2—9 集中负载电压损失计算

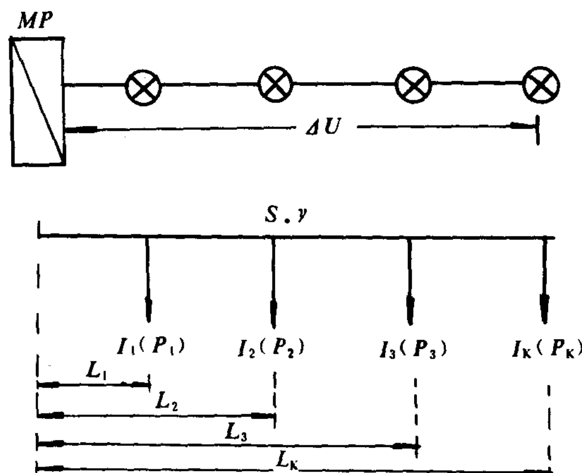


图 8.3.2—10 照明网络

(2)计算分配电板电网电压降时,其干线负载电流应考虑同时使用系数,对交流电网功率因数 cosφ 应取各分支功率因数按功率计算的平均值,即:

$$\cos\varphi=\frac{P_1\cos\varphi_1+P_2\cos\varphi_2+\cdots+P_n\cos\varphi_n}{P_1+P_2+\cdots+P_n}$$

(3)分散负载的电压降计算[5]

例如计算照明网络电压降时,假定沿线整个长度具有相同的截面,可以利用功率矩 PL 或电流矩 IL 公式直接计算出电缆或电线总的电压降 ΔU。如图 8.3.2—10 所示的照明网络:

$$\Delta U\%=\frac{200}{\gamma su}\sum_1^k I_k L_k \quad 或\ \Delta U\%=\frac{2\times 10^5}{\gamma su^2}\sum_1^k P_k L_k$$

5.2 常用船用电缆、电线型号规格及用途[4][5]

船用电缆型号的符号说明见表 8.3.2—20;船用电缆型号与用途见表 8.3.2—6;船用电缆的规格见表 8.3.2—21;船舶常用电缆交流电阻及电抗值见表 8.3.2—22;电线在船上主要用作电气设备的内部接线和一部分生活舱室的照明线路。一般说来,电线是船上陆上通用的,

有关电线的型号、性能和主要参数见表 8.3.2－23 和 8.3.2－24[4]。

表 8.3.2－20　　**船用电缆型号的符号说明**

C	船用	H	仪表、控制通信、电话	B	布线	S	同轴射频
绝缘符号		护层符号		铠装符号		防腐层及其它符号	
E	乙丙橡胶	F	氯丁橡皮	31	镀锌钢丝编织	V	聚氯乙烯防腐层
V	聚氯乙烯	YH	氯磺化聚乙烯橡皮			P	各线芯屏蔽
		V	聚氯乙烯	32	镀锡铜丝编织		
XG	硅橡胶	B	玻璃丝编织			PP	成缆外总屏蔽

表 8.3.2－21　　**船用电缆的规格[4]**

型号	芯数	标称截面(mm^2)
CF,CY,CDF,CDYH,CDY,CEF,CEYH,CEY CF_{31},CY_{31},CDF_{31},$CDYH_{31}$,CDY_{31},CEF_{31},CEY_{31} $CEYH_{31}$ CF_{32}, CY_{32}, CDF_{32},CDYH32, CDY_{32},CEF_{32} $CEYH_{32}$, CEY_{32},CV CFR,CYR,CDFR,CDYHR,CDYR,CEFR,CEYR, CEYHR	1 2 3 4～37 44～48	0.75～400 0.75～120 0.75～150 0.75～2.5 0.75
CVV,CVV－80,CVV_{32},CVV_{32}－80	1,2,3 4～37 44～48	0.75～120 0.75～2.5 0.75

注:4～48 芯的序列为:4,5,7,10,(12),14,(16),19,24,(27),30,(33),37,(41),44,48。括号内芯线为老产品保留规格,不推荐采用。

表 8.3.2－22　　**乙丙橡皮绝缘、聚氯乙烯绝缘船用电缆交流电阻及电抗值**

标称截面(mm^2)	50 Hz				60Hz			
	电抗 Ω/km			20℃时导体电阻	电抗 Ω/km			20℃时导体电阻
	单芯		二芯及三芯		单芯		二芯及三芯	
	○○○	○○○			○○○	○○○		
1.0	0.163	0.178	0.126	18.2	0.196	0.214	0.151	18.2
1.5	0.154	0.168	0.118	12.2	0.185	0.202	0.142	12.2
2.5	0.142	0.151	0.110	7.56	0.170	0.187	0.132	7.56
4	0.134	0.149	0.106	4.70	0.161	0.179	0.127	4.70
6	0.126	0.140	0.100	3.11	0.151	0.168	0.120	3.11
10	0.119	0.134	0.0957	1.84	0.143	0.161	0.115	1.84
16	0.112	0.126	0.0921	1.16	0.134	0.151	0.111	1.16
25	0.107	0.121	0.0885	0.734	0.128	0.145	0.106	0.734
35	0.101	0.116	0.0871	0.529	0.121	0.139	0.105	0.529
50	0.097	0.112	0.0845	0.391	0.116	0.134	0.101	0.391
70	0.094	0.109	0.0821	0.270	0.113	0.131	0.0985	0.270

续上表

标称截面（mm²）	50 Hz 电抗 Ω/km 单芯 ○○○	50 Hz 电抗 Ω/km 单芯 ○○○	50 Hz 电抗 Ω/km 二芯及三芯	50 Hz 20℃时导体电阻	60Hz 电抗 Ω/km 单芯 ○○○	60Hz 电抗 Ω/km 单芯 ○○○	60Hz 电抗 Ω/km 二芯及三芯	60Hz 20℃时导体电阻
95	0.0919	0.106	0.0809	0.195	0.110	0.127	0.0971	0.195
120	0.0892	0.104	0.0786	0.154	0.107	0.125	0.0943	0.154
150	0.0885	0.103	0.0773	0.126	0.106	0.124	0.0928	0.126
185	0.0875	0.102	—	0.100	0.105	0.122	—	0.100
240	0.0855	0.100	—	0.0773	0.103	0.120	—	0.0777
300	0.0850	0.0995	—	0.0620	0.102	0.119	—	0.0626
400	0.0837	0.0982	—	0.0492	0.100	0.118	—	0.0499

注：单芯电缆作“○○○”敷设时，只适于交叉换位线路

表 8.3.2—23　**常用电线的型号及性能**

型号 标称截面（mm²）	名称	用途	使用条件 环境温度（℃）	使用条件 芯线长期允许工作温度（℃）	额定电压（V） 交流（50赫）	额定电压（V） 直流	芯数（单线根数）
AV（0.2～0.6）	聚氯乙烯绝缘仪表安装线	无线电仪表及电话机等弱电设备线路作安装接线用	－40～+50		250	500	1～3
AVR（0.025～6）	聚氯乙烯绝缘安装软线	低压弱电流电器、仪表和无线电设备作柔软安装接线用	－40～+50	+60	250	500	7～98
AVP－14（0.35）	聚氯乙烯绝缘及护套屏蔽安装电缆	电信设备作为固定安装连接线	－40～+70		380	500	14
ASTVV（0.5;0.75	聚氯乙烯绝缘多芯安装电缆	适用于电气设备作为成束固定安装连接线	－40～+70		380	550	2～14
SBVR（0.035）	聚氯乙烯绝缘电缆（小型）	适用于半导体、收音机、小变压器作引出线或类似电气设备作线路连接线	－40～+40				（7）
SBVP（0.03～1.5）	聚氯乙烯绝缘镀锡铜丝屏蔽电缆	适用于作弱电流的电器、仪表及电信设备的连接线	－15～+50				1～2
BV（0.8～95）	聚氯乙烯绝缘铜芯线	适用于作室内干燥场所的电气设备、仪表及照明装置的连接线	－40～+50	+60	500	1000	（1～19）
BVV（0.8～10）	聚氯乙烯绝缘和护套铜芯线	适用于作室内干燥及潮湿场所的电气设备、仪表及照明装置的连线	－40～+50	+60	500	1000	（1～7）
BVR（0.8～50）	聚氯乙烯绝缘铜芯软线	适用于作室内干燥场所要求比较软的电气设备仪表及照明装置的连接线	－40～+50	+60	500	1000	（7～133）

表 8.3.2－24　　**塑料绝缘电线安全载流量(A)**

截面 (mm²)	空气中敷设（包括沿墙敷设）	穿管敷设			护套线	
		二根	三根	四根	二芯	三、四芯
0.2	3	2	2	1	3	2
0.3	5	4	3	2	4.5	3
0.4	7	6	5	4	6	4
0.5	8	7	6	5	7.5	5
0.6	10	9	8	7	8.5	6
0.7	12	11	10	9	10	8
0.8	15	14	13	12	11.5	10
1	18	15	14	13	14	11
1.5	22	18	16	15	18	12
2	26	20	17	16	20	14
2.5	30	26	25	23	22	19
3	32	29	27	25	25	22
4	40	38	33	30	33	25
5	45	42	37	34	37	28
6	50	44	41	37	41	31
8	63	56	49	43	51	40
10	75	68	56	49	63	48
16	100	80	72	64	—	—
20	110	90	80	74	—	—
25	130	100	90	85	—	—
35	160	125	110	105	—	—
50	200	163	142	120	—	—
70	255	202	182	161	—	—
95	31	243	227	197	—	—

5.3　电缆的敷设

电缆敷设工作包括合理选择电缆束走向、选择和布置电缆紧固体，正确编制电缆表册、电缆备料及丈量电缆长度。

1)紧固电缆的方法：

(1)导板与桥引板并用卡线板来紧固；

(2)紧钩；

(3)电缆支架、扁钢并用尼龙或金属扎带进行紧固；

(4)电缆槽；

(5)木质封闭板上用卡线板紧固；

(6)管子。

2)电缆敷设的基本要求：

(1)电缆敷设应尽可能平直和便于检修。

(2)电缆敷设应防止机械损伤。

(3)电缆应尽量远离热源敷设，其空间距离不少于 100mm。

(4)电缆敷设应防止潮气凝结和油水影响，一般规定最小距离为 200mm。

(5)应避免在易燃、易爆和有腐蚀性气体影响的场合（如煤舱、蓄电池室等）敷设电缆。实在必要时，电缆应敷设在密封的金属管内。

(6)电缆不应敷设在船壳板上，以免因安装紧固体而影响船体的强度和造成永久性变形。

(7)在离磁罗经安装中心 1m 范围内的直流馈电线，必须采用双芯电缆。

(8)电缆敷设的弯曲半径应在允许的规定范围以内，一般不应小于电缆外径的 4 倍。

(9)主馈电线、应急馈电线和备用馈电线应尽可能地远离分开敷设，以增加馈电线路的生命力。

(10)电缆穿过舱壁和甲板时，应不影响舱壁和甲板的防护性能。穿过水密舱壁的电缆应采用水密填料函或过线盒加以密封；穿过甲板的电缆则必须用一定高度的金属管或金属围框加以保护。电缆严禁穿越油舱。

(11)电缆带有屏蔽金属护套时，护套的两端必须可靠地接地。

6 船舶电网保护

1)船舶电网的保护主要包括短路保护和过载保护，其保护装置设在配电设备内。

(1)总配电板和应急配电板引出的每一供电线路始端，应装设带有短路和过载保护的同时分断所有绝缘极的多极断路器，额定电流小于 200A，可允许用开关和熔断器。

(2)分配电板的每个电力和电热分路的保护须采用能同时断开所有绝缘极的自动空气断路器或开关和熔断器。

(3)照明分路的保护可采用小型的自动空气断路器，亦可同时采用开关和熔断器或只装熔断器。

(4)发电机 F 至主配电板 ZP 之间的电缆，因电缆截面按发电机容量来选择，其过载保护由发电机主开关 DW 上设置的过载保护来完成。主配电板或分配电板到用电设备 D_1 或 D_2 之间的电缆，由电动机的过载保护(热继电器)完成(见图 8.3.2－11)。主配电板到分配电板(箱)的电缆其截面是根据分配电板上所有负荷电流并考虑同时工作系数计算得到的，个别用电设备的过载不致引起这部分电缆过载，因此过载的可能性极小，故也不考虑过载保护。

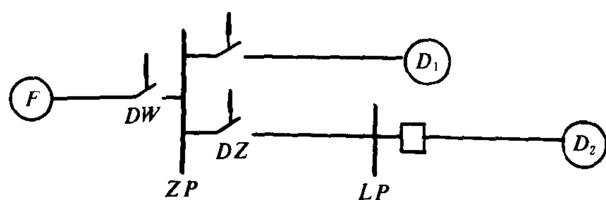


图 8.3.2－11 船舶电网的过载保护

2)保护的整定值[1]

(1)采用熔断器保护时，对于一般回路，熔断器的额定电流应与负载电流一致。

对于鼠笼式感应电动机回路，选择熔断器的额定电流，应考虑能承受电动机较高的起动电流，因此，熔断器在电动机回路仅作为短路保护之用。选择熔断器的额定电流时，可根据熔断器的特性曲线，找出在起动时间内和起动电流下不致熔断的额定值。一般可按表 8.3.2－25 来选择熔断器的额定值。

(2)采用自动空气断路器时，脱扣器动作电流可按下列数值整定：

①连续负载——125％额定值；

②短时或重复短时负载——150％额定值；或不设过载保护，仅设短路保护；

③应急负载——300％额定值，或仅设短路保护。

3)电网保护的选择性

为了使船舶电网在发生短路和过载时，只切断故障部分，而不使前一级保护动作，因此，电网的保护须考虑选择性。为此，在总(主)配电板汇流排与各受电设备之间，应限制保护装置的数量：

对电动机回路，自总配电板汇流排开始，不多于4级。

对照明回路，自总配电板汇流排开始，不多于5级。

表 8.3.2—25 **电动机回路熔断器的额定电流值**

电动机类型	电动机额定电流倍数	
	小热容量熔断器	具有热惯性熔断器
直流电动机和线绕式感应电动机	1.5	1～1.3
鼠笼式感应电动机	2～2.5	1.5～2
重载起动的鼠笼式感应电动机	2.5～3	2～2.5

实现保护选择性的方法：

(1)按时间原则

按保护电器动作时间的不同来实现电网保护的选择性，保护电器动作时间整定值从用电设备至电源逐级递增，这可采用带延时机构的断路器或延时时间继电器来实现。如图8.3.2—12所示，当开关K_1，K_2，K_3的动作时间满足$t_1>t_2>t_3$时，就能得到有选择性的保护。

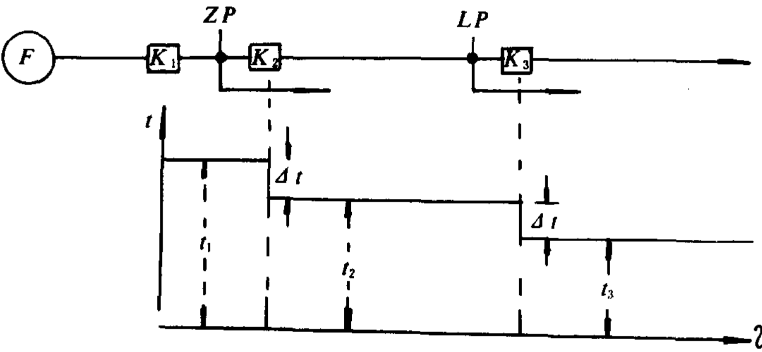


图 8.3.2—12 按时间原则的选择性保护

K_1—发电机自动空气开关；K_2—馈电装置式空气开关；

K_3—支路装置式空气开关；L—电缆长度

按时间原则，其保护性能可靠，但影响靠近电源侧保护动作的速动性。

(2)按电流原则[5]

即按保护电器动作电流不同来实现电网保护的选择性，保护电器的电流整定值从用电设备至电源逐级递增。图8.3.2—13中，当开关的电磁脱扣器动作电流$I_{T1}>I_{T2}>I_{T3}$时，亦能获得选择性。

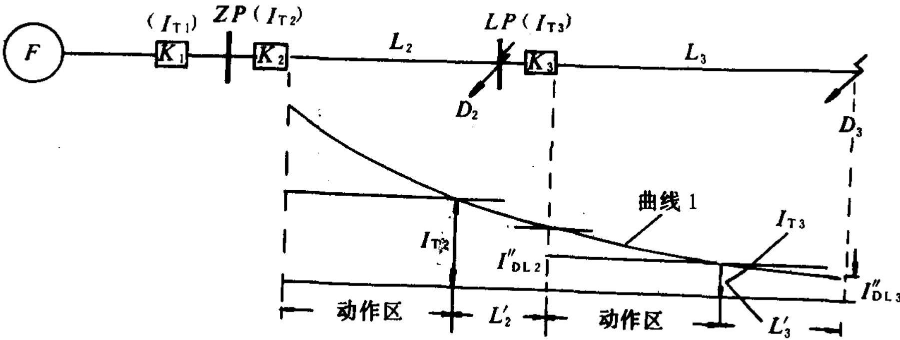


图 8.3.2—13 按电流原则的选择性保护

I_T ——开关的电磁脱扣器动作电流；

I''_{DL2} ——线路 L_2 末端 D_2 点短路的次暂态电流值；

I''_{DL3} ——线路 L_3 末端 D_3 点短路的次暂态电流值；

曲线 1：沿长度 l 分布的短路电流值。

开关电磁脱扣器动作电流的整定值按下式计算：

$$I_T = K_k I''_{DL}$$

式中：K_k——可靠系数；一般为 1.2～1.5。

按电流原则，保护装置动作迅速，其动作时间仅决定于保护装置固有动作时间，约为0.1s。但只能保护本段线路，不能保护线路的全长，即存在不灵敏区 L''_2，L''_3。由于船舶电网距离较短和线路阻抗较小，特别当电源容量较大时，各段短路电流值相差不大，即曲线 1 较平坦，实现保护选择性较困难。

目前船舶电网中，两种选择原则常混合使用。

①在总配电板或应急配电板上，发电机开关一般采用万能式自动空气断路器，应设置短路延时(约 0.6s)和过载延时(约 15～20s)。

②在总配电板或应急配电板上的馈线开关一般不设延时保护，而按电流整定，使其与发电机开关达到选择性保护。馈线开关与支路开关之间的选择性保护：当这二级开关都是装置式开关时，为了实现选择性保护，馈线开关应具有短延时特性。但目前国内生产的装置式空气开关均为瞬动特性的电磁脱扣器，故这二级保护应按电流原则整定。

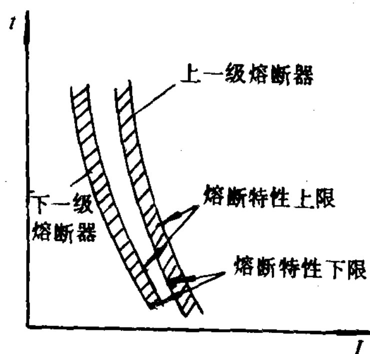


图 8.3.2－14　上、下级熔断器的配合

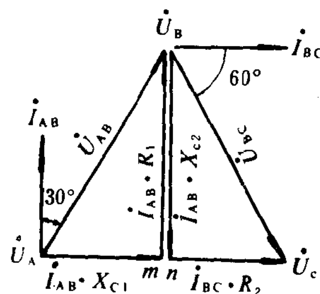


图 8.3.2－15　逆序电压过滤器电网电压正常时的相量图

如果采用熔断器作为保护电器，上下二级之间要实现选择性保护时，要求下一级支线熔断时间的上限应小于上一级干线熔断时间的下限，见图 8.3.2－14。一般上下级熔断器的额定电流之比大于 2 时，即可满足选择性的要求。

4)岸电供电的保护

交流制船舶由岸电供电时，为防止供电线路一相中断而造成交流电动机单相运行，在总配电板上可装设逆序继电器保护装置。它由逆序电压过滤器和电压继电器组成，图 8.3.2－16 为这种保护的原理图。

当岸电正常供电时，电压是对称的。如阻容元件参数选择为：$R_1 = \sqrt{3} X_{c1}$；$X_{C2} = \sqrt{3} R_2$，由相量图 8.3.2－15 看出该过滤器 mn 之间的电压等于零。当任何一相断路时，过滤器 mn 之间的电压升高可达输入电压的 20%。例如，A 相断线时，$U_{mn} = I_{AB} \cdot X_{c2} = \frac{\sqrt{3}}{2} U_{BC}$(这里指 mn 的开路电压，实际上由于 R_1 上有压降，U_{mn}将低于此值)。此电压使中间继电器 0J 动作，时间继

电器 SJ 亦动作，经延时使断路器 ZK 的失压脱扣器失电后断路器断开岸电，从而防止了电动机单相运行。另外岸电供电还应设相序保护(参见本章第 18 节)。

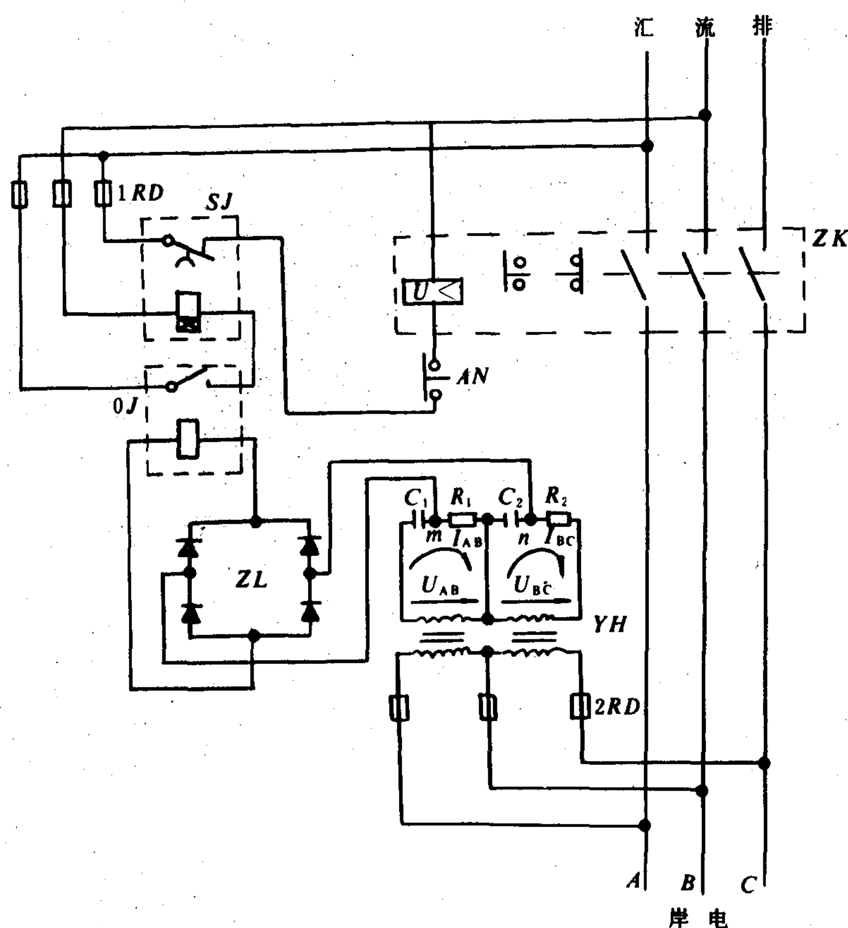


图 8.3.2—15 逆序继电器原理接线图

逆序电压过滤器：$C_1=C_2$ 24μF $R_1=225\Omega$；$R_2=75\Omega$

7 区域配电板

由主配电板、应急配电板或其它区域配电板供电，并向其它区域配电板、分配电板或功率较大的最后分路或用电设备供电进行控制的开关板。

关于区域配电板和分配电板在我国尚没有统一的界限，因此习惯上通称为分配电板。

8 分配电板(箱)

由一个或一个以上的过载或短路保护电器组成的集合体，用于向成组的用电设备进行配电。

1)按用电设备性质分为：

(1)电力分配电板；

(2)照明分配电板；

(3)无线电分配电板；

(4)助航通信分配电板。

2)按结构型式分为：

(1)防护式

用钢板或穿孔钢板制成外壳，只能防止工作人员触及带电部分，不能防止水滴的渗入，适于安装在干燥舱室和内走道。如 FDL1 型和 FDL2 型分配电箱，其外形如图 8.3.2—17 所示。

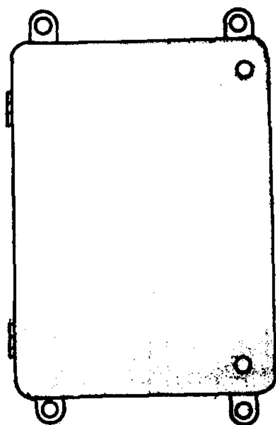


图 8.3.2—17 防护式配电板

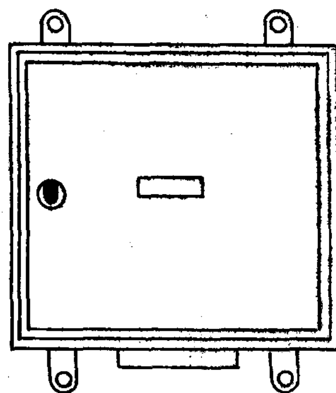


图 8.3.2—18 防滴式配电板

(2)防滴式

用钢板制成外壳，能防止与垂线成 45°角的下落水滴的侵入，适于安装在机械舱室。它采用在箱盖处开一凹形槽或顶部加装防滴挡板的方法来防止水滴的侵入。如 FD1 型和 FD2 型，其外形如图 8.3.2—18 所示。

(3)防水式

配电板(箱)外壳能经受 4～10m 水柱的集中水流从各方向进行喷射 15min 而不致有水滴渗入箱内，适于露天或较潮湿的处所安装。其特点是其箱盖四周具有橡皮垫圈，压紧后能防止水滴渗入。电缆引入箱体处应装有水密填料函。如 FS 型分配电箱，其外形如图 8.3.2—19 所示。

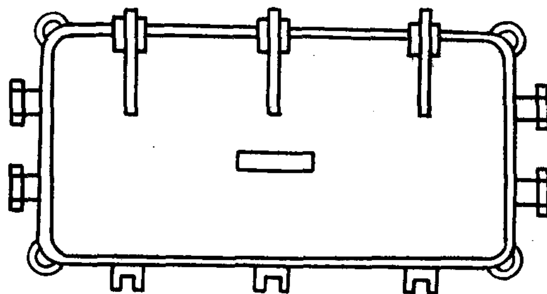


图 8.3.2—19 防水式配电板

常用的分配电板(箱)系列见表 8.3.2—26。

表 8.3.2—26　　**分配电板(箱)系列**[1]

型号	结构型式	适用电制	所装电器			分路	用途
			熔断器型号	开关型号	自动开关型号		
FS	防水式	交值流两线制	RL93			FS—A 型的干线为双芯线；FS—B 型的干线为单芯线；按总组数分 2,4,6,8,10,12 组六种	要求防水处所的电力分配电板
FDI	防滴式	三相交流	RL93			按总组数分 2,4,6,8,10 组五种	三相交流系统电力分配电板
FDK1	防滴式	三相交流	RL93	HZ910		装 HZ910—10/3 型开关的分 4,6,8,10,12 路五种 装 HZ910—25/3 型开关的分 2,4,6,8,10 路五种 装 HZ910—60/3 型开关的分 2,4,6,8 路四种	
FDK2	防滴式	三相交流			DZ1 DZ4 DZ5	装 DZ1—100/330 型开关的分 2,4,6 路三种 装 DZ4—25/330 型开关的分 2,4,6,8 路四种 装 DZ5—20 型开关的分 4,6,8,10,12 路五种	
FD2	防滴式	交值流两线制	RM10			装 RM10—15 型熔断器的分 2,4,6,8,10 路五种 装 RM10—60 型熔断器的分 2,4,6,8 路四种 装 RM10—15 和 RM10—60 型熔断器的分 1/1 ，2/2,4/2 ，2/4,6/2,4/4,2/6,8/2,6/4,4/6,2/8 路十一种	电力分配电板
FDK3 FDKL2	防滴式	交值流两线制	RM10	HZ910		装 HZ910—10/2 型开关的分 4,6,8,10,12 路五种 装 HZ910—25/2 型开关的分 2,4,6,8,10 路五种 装 HZ910—60/2 型开关的分 2,4,6,8 路四种	电力及照明分配电板可以做成 1. 三相进、单相出 2. 三相四线进、单相出 3. 单相进、单相出 FDKL2 型为铝质箱体
FDK4	防滴式	交值流两线制	RL93	HZ910		同 FDK3	

续上表

型号	结构型式	适用电制	所装电器			分路	用途
			熔断器型号	开关型号	自动开关型号		
FDT1 (FDL1)	防滴式	交值流两线制	RM10			装 RM10－15 型熔断器的分 2,4,6,8 路四种 装 RM10－60 型熔断器的分 2,4,6,8 路四种	小船使用电力分配电板
FDT2 (FDL2)	防滴式	低压系统	JB(BZ－1)			分 4,6,8,10 路四种	低压应急照明分配电板
FDKT1 (FDLK1)	防滴式	低压系统	JB(BZ－1)	JK2－1		分 2,4,6,8 路四种	低压照明分配电板
PMK	防滴式(明式)	交流两线制			单极	分 6,8,10,12 路四种	照明配电板
PMKA	暗式						

9 交流配电板(直流制船舶)[1]

在直流电制的船舶上，需要供给交流用电设备的电源(如通信导航设备等)，可安装直流电动机——交流发电机(变流机组)，由交流配电板进行控制和配电。

交流配电板通常与交流机组安装于同一舱室中。在较大型的船舶上，设有专门的变流机室。在较小的船舶上，可安装在机舱内。

直流制船舶上的交流配电板应具备以下几点功能：

1)配电板上应装有电压表和电流表，较大容量的变流机，尚需安装频率表，用以测量各种必要的电气参数；

2)由于变流机组所供电的设备(如通信导航设备)，要求得到连续供电，因此一般设置两台变流机组。在一台发生故障时，应发出警报信号，警报装置可设在驾驶室和机舱内；

3)在一台变流机发生故障后，另一台变流机能迅速起动和接入电网。在驾驶室和机舱内，应有遥控起动和接入按钮及信号灯等装置；

4)在轮换变流机组时，最好能瞬时并车，使供电不致中断；

5)交流配电板应考虑在接用交流岸电时，亦能获得电源。

图 8.3.2－20 为变流机组(直－交)配电板原理图，图中示出两台变流机组、可轮换使用，其转换采用瞬时并车方式，使供电不致中断。当 1 号发电机供电时，按下按钮 AN_2，接触器 2JC 通电，使 2 号发电机接入电网并与 1 号发电机并车，这时继电器 YJ 亦通电，使接触器 1JC 断电(AN_2 需一直按住，不使 2JC 断电)，1 号发电机就退出电网，此时放开 AN_2，电网由 2 号发电机继续供电。

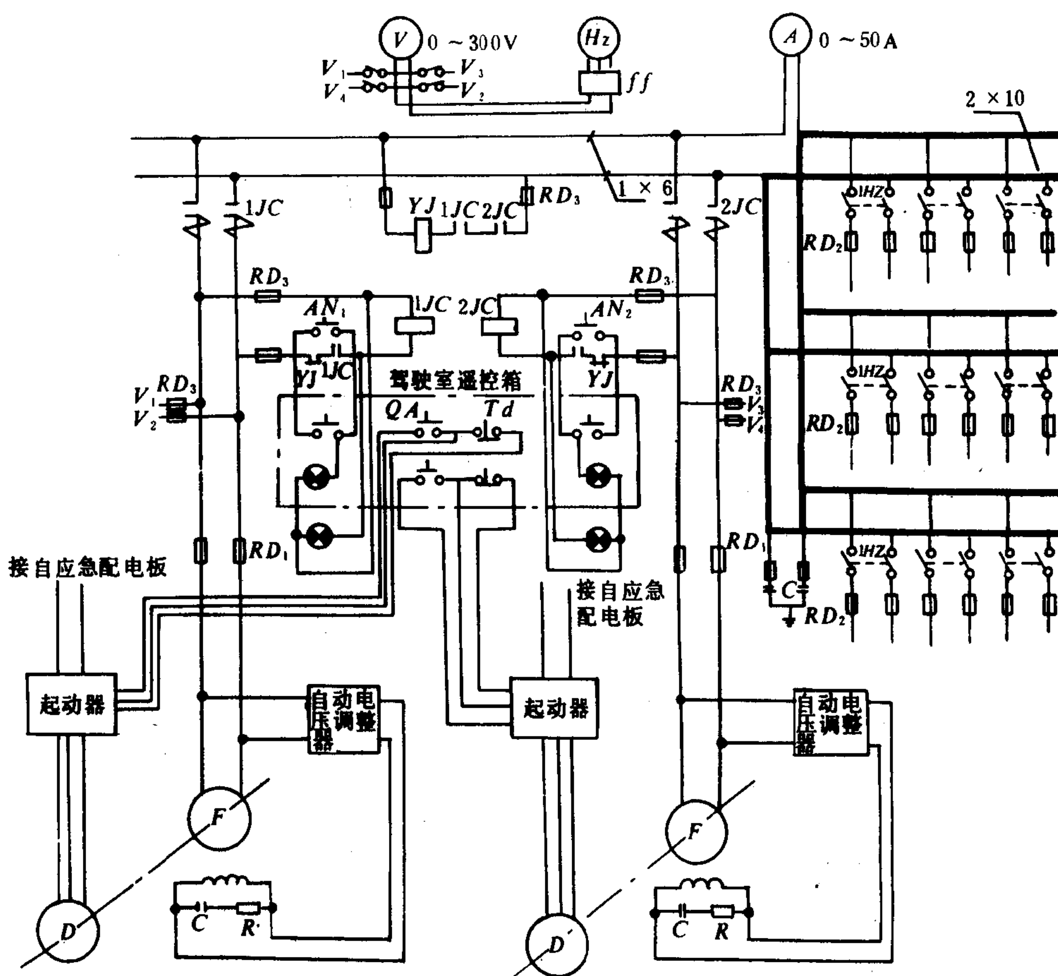


图 8.3.2—20 变流机组(直一交)配电板原理图

10 岸 电 箱

供船舶停靠码头或进坞修理时，接 500V 及以下交、直流及交流单相的岸上电源用。岸电通过岸电箱接至总配电板或应急配电板，交流配电板进行配电。岸电箱通常设置在主甲板以上的露天处。接岸电电缆绕在电缆滚筒上置于岸电箱旁，电缆长度若 100～200m。

接岸电时应注意：

1)岸电箱内应设有能切断所有绝缘极(相)的自动开关或开关和熔断器以及岸电指示灯；

2)对岸电为中性点接地的交流三相系统，应设有一接地接线柱，以便将船体接至岸上的接地装置或岸上电网的零点；

3)利用船体作导电回路的船舶，在接岸电时不能以陆地或海水作岸电回路，而应以与绝缘的岸电相线或极线同类型且同截面的导线将船体与岸电网络的零点或接地的相线或接地的负极连接。岸电箱内应有连接此电缆的接线柱，接线柱在岸电箱附近与船体可靠连接；

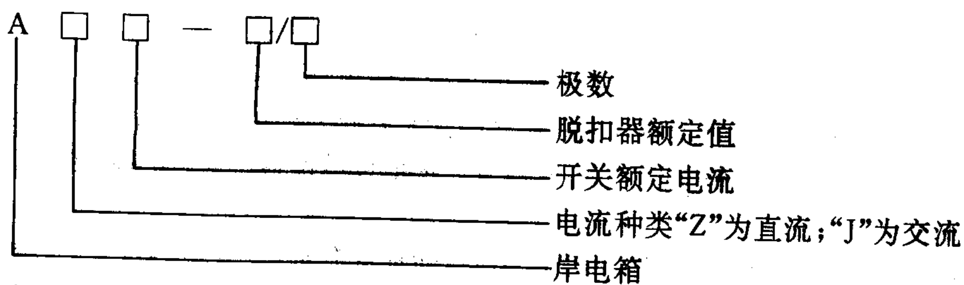
4)应有监视岸电极性(直流时)和相对船船舶配电系统的相序(三相交流时)的措施。

岸电箱的型号、类型、基本参数见表 8.3.2—27[7]

表 8.3.2—27　　　　　　　　　　岸电箱的型号、类型、基本参数

序号	型　　号	电流种类	极数	额定电压（V）	开关额定电流(A)	脱扣器额定电流（A）
1	AZ20—10/2	直流	正负双极	220	20	10
2	AZ20—20/2					20
3	AZ100—30/2				100	30
4	AZ100—50/2					50
5	AZ100—80/2					80
6	AZ100—100/2					100
7	AZ 250—140/2				250	140
8	AZ 250—200/2					200
9	AZ250—250/2					250
10	AZ600—300/2				600	300
11	AZ600—400/2					400
12	AZ600—600/2					600
13	AJ 20—10/2	交流单相	双极	220	20	10
14	AJ20—20/2					20
15	AJ100—30/2				100	30
16	AJ100—50/2					50
17	AJ100—80/2					80
18	AJ100—100/2					100
19	AJ20—10/3	交流三相	三极、可接中性线	380	20	10
20	AJ20—20/3					20
21	AJ100—30/3				100	30
22	AJ100—50/3					50
23	AJ100—80/3					80
24	AJ100—100/3					100
25	AJ250—140/3				250	140
26	AJ250—200/3					200
27	AJ250—250/3					250
28	AJ600—300/3				600	300
29	AJ600—400/3					400
30	AJ 600—600/3					600

岸电箱型号说明如下：



常用交流单相岸电箱线路见图 8.3.2—21 所示。

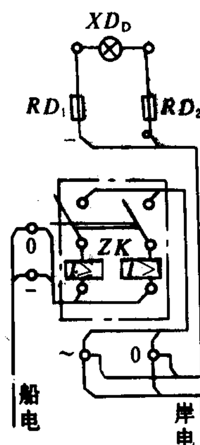


图 8.3.2－21　交流单相岸电箱线路

ZK—空气开关：DZ 5～10～20/230 DZ 910－10～100/230 XDD—灯泡：ZB220V；15W RD_1～RD_2—熔断器 RL93－6，BLF－1

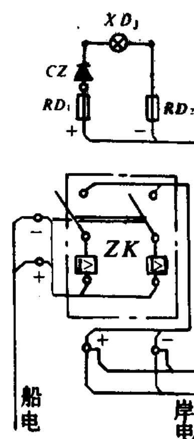


图 8.3.2－22　直流岸电箱线路图

ZK—空气开关：DZ 5－10～20/230 DZ910－10～600/230 XD_J—灯泡：ZB220V；15W；RD_1～RD_2—熔断器：RL93－6，BLF－1；CZ—整流二极管：2CP24

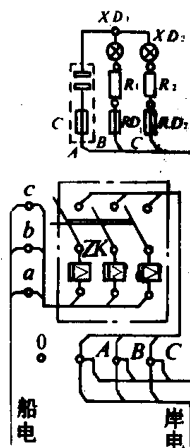


图 8.3.2－23　交流三相岸电箱线路

ZK—空气开关：DZ5－10～20/330

DZ910－10～600/330

C—电容器：CZB1000V 0.5μf

$XD_{1\sim2}$—灯泡：ZB220V 15W

$R_{1\sim2}$—电阻：RXYC－20W—1.5KΩ

$RD_{1\sim2}$—熔断器：RL93－6；BLF－1

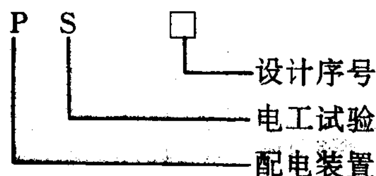
常用直流岸电箱线路图见 8.3.2－22。当直流岸电的正负极性与船舶配电的极性相符时，灯 XDJ 亮。正负极性不符时，灯不亮。

常用交流三相岸电箱线路图见 8.3.2－23。当交流三相岸电的相序与船舶三相交流配电系统相序一致时，$1XD_1$ 灯亮，XD_2 灯暗。当相序不一致时，XD_1 暗，XD_2 亮 。另外若岸电 A 相断开时，XD_1 灯和 XD_2 灯同时亮；B 相断开，XD_1 灯不亮，XD_2 灯亮；C 相断开，XD_1 灯亮，XD_2 灯不亮。

11　电工试验板[7]

安装在电工工作室，供试验船上电机、电器、照明设备的电源装置。电工试验板上应接有船上各种电源（无线电、导航设备的电源不在内）。

电工试验板型号说明如下：



PS1 型电工试验板电气原理图和组装元件表分别见图 8.3.2－24 和表 8.3.2－28。

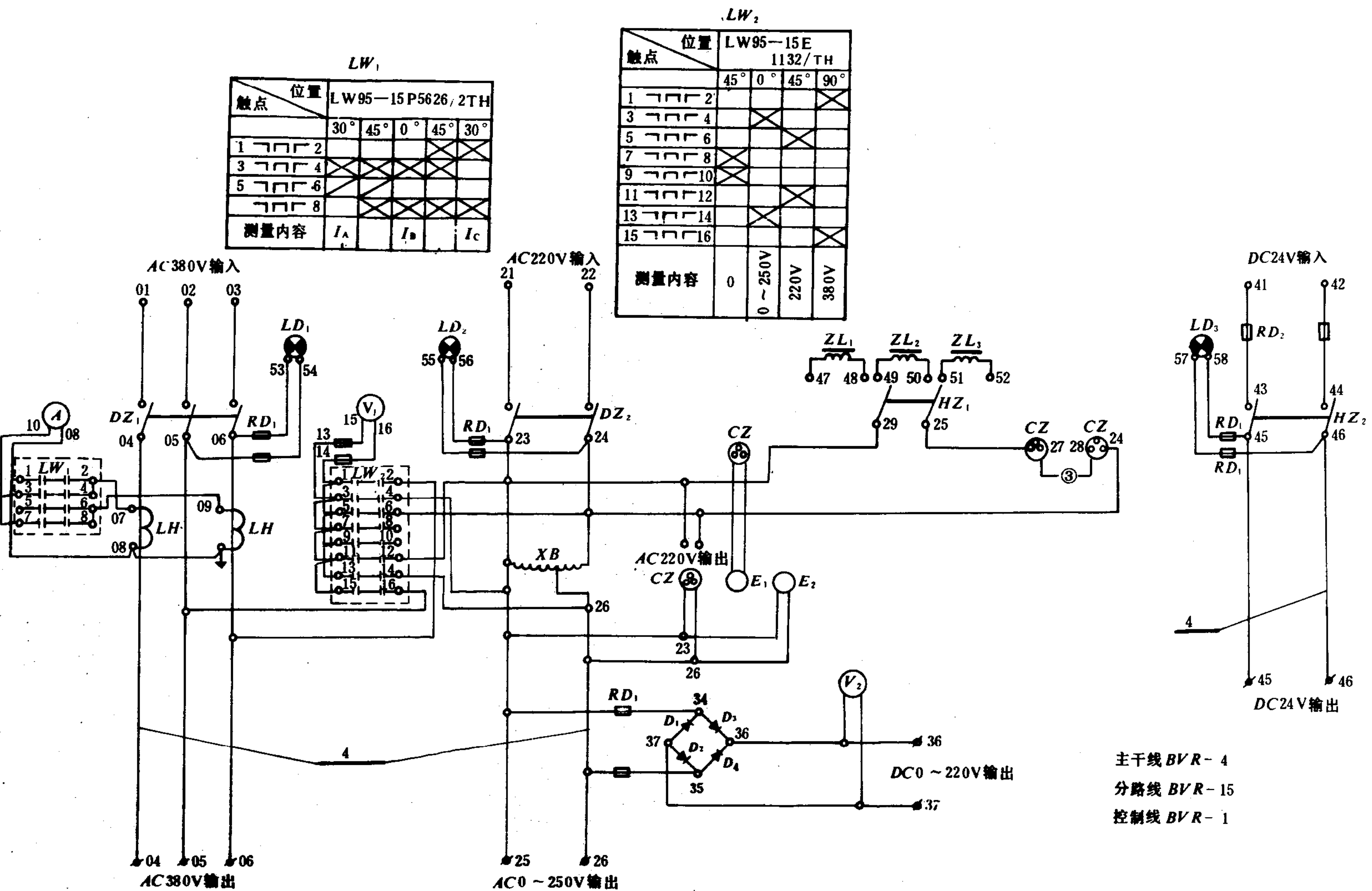


图 8.3.2—44　PSI 型电工试验极电气原理图

表 8.3.2—28 **PS1型电工试验板组装元件表**

序号	代　号	名　称	数量	规　格	附　注
1	A	交流电流表	1	63L10—A 0～30A	
2	V_1	交流电压表	1	63L10—V 0～450V	
3	V_2	直流电压表	1	63C11—V 0～300V	
4	LH	电流互感器	2	LQG—0.5 30/5ATH	
5	LW_1	转换开关	1	LW95—15P 5626/2TH	
6	LW_2	转换开关	1	LW95—15E 1132/TH	
7	HZ_1	组合开关	1	HZ910—10S/2	板后接线
8	XB	调压变压器	1	R6001,0.5KVA220V/0～250V	
9	DZ_1	自动空气开关	1	DZ5—20Y/330TH20A	
10	DZ_2	自动空气开关	1	DZ5—20Y/330TH10A	
11	HZ_2	组合开关	1	HZ910—10/2	板后接线
12	LD_1	指示灯	1	XD7—380TH/H	白色
13	LD_2	指示灯	1	XD7—220TH/H	白色
14	LD_3	指示灯	1	XD5—24TH/H	白色
15	ZL_1	30W 日光灯整流器	1		船用
16	ZL_2	20W 日光灯整流器	1		船用
17	ZL_3	8W 日光灯整流器	1		船用
18	D_{1-4}	二极管	4	2CZ5/600	
19	RD_1	熔断器	10	RL93H—6	
20	RD_2	熔断器	2	RL93H—15	
21	S	日光灯启动器	1	4—40W 250V	
22	CZ	三线暗式插座	4	220V5A	
23	E_1	灯座	1	E—27	
24	E_2	灯座	1	2C—15	

12　船舶电网的维护和常见故障排除方法

船舶航行的安全，要求船舶电站供电有高度的连续性、可靠性和安全性。它在很大程度上取决于船舶电网的绝缘状况的好坏。船舶电网的绝缘降低或损坏，会造成漏电乃至击穿，可能引起舵失灵，总(主)配电板跳闸，甚至引起人员触电和火灾。因此，对船舶电网的最低允许绝缘电阻有一定的规定，见表 8.3.2—29。

表 8.3.2—29 船舶电网最低允许绝缘电阻值

项目	最低绝缘电阻值(MΩ)
电力线路	0.75
电压 100V 以上的照明线路	0.75
电压 100V 以下的照明线路	0.2
电压 100V 以上船内通信线路	0.75
电压 100V 以下船内通信线路	0.35
航行灯、信号灯线路	0.5
长度在 6m 以下的配电板(箱)	1
长度在 6m 以上的配电板(箱)	0.5

100V 以上配电板(箱),用 500V 高阻计测量;100V 以下配电板(箱),用 250V 高阻计测量;弱电电缆用 100V 高阻计测量。由于船舶电网常年运行在潮湿、高温、振动和油雾等恶劣的环境中,常常使船舶电网的绝缘电阻降低,以至达不到规范的要求。为此必须加强对船舶电网的维护工作,保持电网具有良好的绝缘水平。

1)船舶电网的维护

(1)船舶在航行、制造或者修理时,都必须仔细谨慎地维护电网,防止电网绝缘电阻降低、防止电缆芯线之间和电缆与壳体之间发生短路及遭受机械损伤或电焊火花烧伤。

(2)平时,特别在恶劣的船舶使用条件下,要加强对电网绝缘的监测。除采用常用的绝缘指示灯、兆欧表外,建议采用能连续带电测量、自动发出声、光报警信号的 ZCB 型电网绝缘监测仪。主要电气设备的绝缘电阻值应记录备查。

(3)船舶在制造或修理时,当敷完线后,必须及时地将电缆通入电气设备,做好端头密封的接线工作,不要搁置过久。暂不进入电气设备的电缆头必须严封,以防潮气进入缆芯。

(4)加强配电板维护,局部停电时或定期检修时,吹除不带电设备上的灰尘,以防由于潮湿、凝露等影响,在绝缘体上形成表面导电层。

(5)在电缆附近进行气割或电焊工作时,应在电缆上覆盖石棉布,以防火花飞溅而烧伤电缆。

(6)各配电箱的门锁应经常锁住,并有专人负责。

(7)经常检查电气设备、电缆是否受机械损伤、有无水和其它杂物侵入,发现情况应立即处理,要经常保持电气设备干燥和清洁。

(8)经常检查设备上的绝缘材料表面是否完整,有无发霉现象。电缆端头与设备连接金属体应无氧化及锈蚀,发现情况应立即采取相应的措施。

(9)应尽量少打开电气设备的密封壳体,如必须打开,则关上时应仔细可靠地恢复密封。

(10)设备在保养期间,对某些设备应定期通电工作一定时间。

2)船舶电网常见故障和排除方法

(1)电缆绝缘电阻低于最低允许值

①从用电设备开始,依次断开各段电网,一直到主配电板;顺序进行测量,找出引起电网绝缘电阻下降的电缆;

②将电缆揩干后,进行外部加热,短距离的电缆可以利用高瓦数的电灯泡或红外线灯泡加热烘烤;

③长久不用或跨舱的电缆，可以通过低压短路电流加热，但必须防止加热温度超出规定的允许值；

④主配电板可以通热风，但通风机的出口温度不得高于 90～100℃。

（2）电缆、电线发生短路故障

①确定损坏的区域：根据开关跳闸、或熔断器熔断的情况确定故障线路，当这个线路上并联多个支路和用电设备时，一般采用“逐条（个）消除法”；

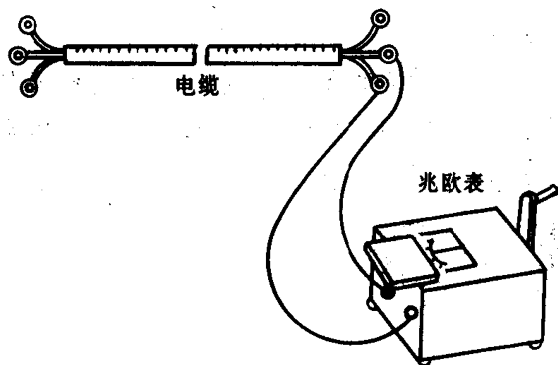


图 8.3.2—25　电缆芯线短路的检查

②检查线路是否短路，可以用兆欧表（一般使用 500V 的兆欧表）来测量电缆芯线之间的绝缘电阻，如图 8.3.2—25 所示。当短路时，所测得的绝缘电阻接近于零或等于零。注意在测量电缆时，电缆所接的用电设备应断开；

③确定产生短路故障的原因和性质。如导线选择是否恰当，长期过载运行后，绝缘层是否老化；导线接头是否脱落；电缆是否受到机械损伤等，然后采取相应措施。

（3）电缆、电线发生断路故障

断路故障往往是由于短路使保险丝烧断，接头处脱落，触头接触不良，导线断线等原因引起的。

①断路故障的检查：带电检查可用电压表或校验灯，如果某两点间量出有电压或者校验灯发亮，说明该两点间存在断路点，如图 8.3.2—26a）。不带电检查，可用万用表欧姆档，因为断路点的电阻 R＝无穷大，检查方法如图 8.3.2—26b）所示。

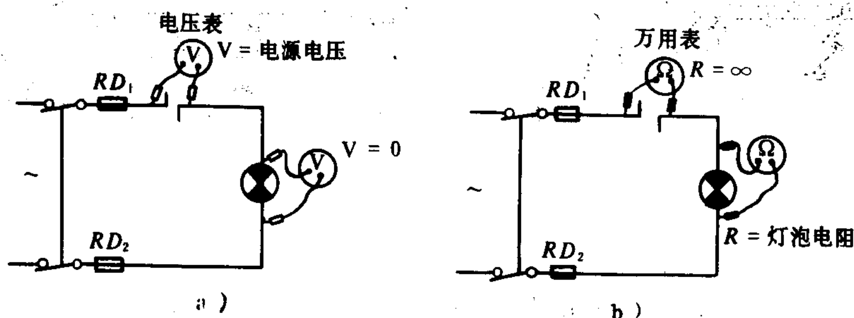


图 8.3.2—26　电缆断线的检查

a）带电断路检查；b）不带电断路检查

②对于三芯线的电缆，可以利用电桥或万用表，来测量三个回线的电阻值。其中每一回线由一对芯线组成，并在两组成回线的芯线的一端相互连接起来。测量所得的回线电阻比组成回线芯线应有的电阻大得多，则说明有一根芯线或两根芯线断线。在芯线完全断了的情况，则回线电阻值接近于无穷大；倘若芯线与壳体连接，则回线电阻值决定于对壳体接触电阻值的大小。上述方法亦可用于检查多芯电缆。

（4）电缆损坏处的寻找方法[6]

在确定故障的性质后，关键是准确地寻找到故障的地点，这样可避免更换整条电缆。特别在航行中是无法及时更换的，只能采取临时连接的措施来消除航行中的危险。

①磁针法

利用磁针法寻找成束电缆损坏处，所有的电缆都应该断电，将磁针沿着电缆移动，同时连续接通和断开电池。由于电缆上电流反复变化所产生的磁场，使磁针移动到损坏处时，摆动就停止。图 8.3.2—27 仅表示电缆与壳体之间短路时寻找故障点的方法，至于芯线之间的短路，可以类推。

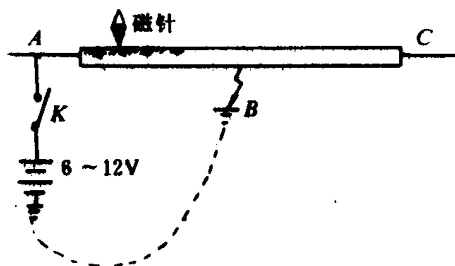


图 8.3.2—27 磁针法

②回线法

运用电桥的原理，采用惠斯登万能电桥或其它直流电桥作为测量仪器。由于电缆芯线的电阻与长度成正比，所以，能得出下列公式：

$$l_x=\frac{2LR_2}{R_1+R_2}$$

式中： l_x——测量处到损坏处的距离，m；

L——电缆的长度，m；

R_1、R_2——电桥臂的电阻，Ω。

当电桥平衡建立之后，根据上式就可以求出距损坏处的距离。回线法的原理接线如图 8.3.2—28a）、b）所示。

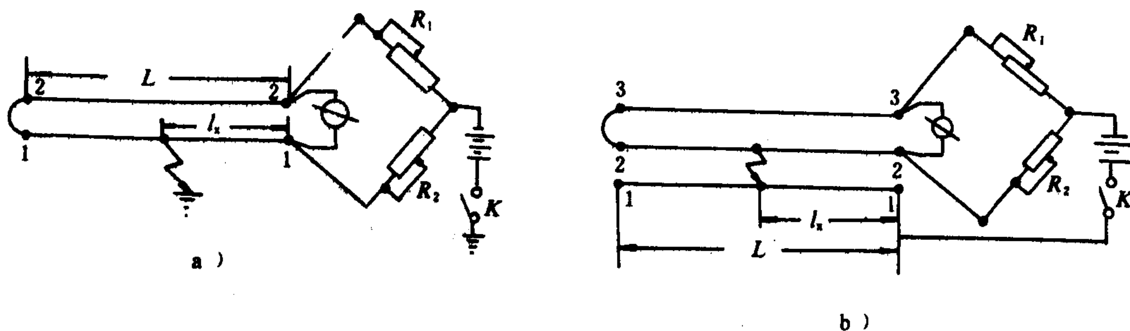


图 8.3.2—28 回线法

a）芯线与壳体短路；b）芯线之间产生短路 1—1，2—2，3—3 为芯线

③电桥法

需要寻找大截面的电阻为百分之几欧的电缆损坏处时，可以采用电桥法。电桥平衡建立之后，根据下式确定所要求的距离：

$$l_x=\frac{r_xL}{r_x+r_y}=\frac{r_xL}{r_B}$$

式中：r_x 和 r_y——电缆端至损坏处的一段电阻。r_x 可按下式确定：

$$r_x=R\,\frac{R_3+r}{R_2}$$

式中：R ——标准电阻；

R_2——电桥臂电阻；

R_3——接入损坏芯线的电桥臂的电阻。

测量时的必要条件：

$$R_1=R_3; \qquad R_2=R_4$$

为验算结果的正确性，应该从损坏电缆的二端进行测量。若电缆二端测量后，所得的计算结果之和与损坏电缆的长度相等或相差很小则测量结果正确。测量的方法如图 8.3.2－29a)；b)所示。

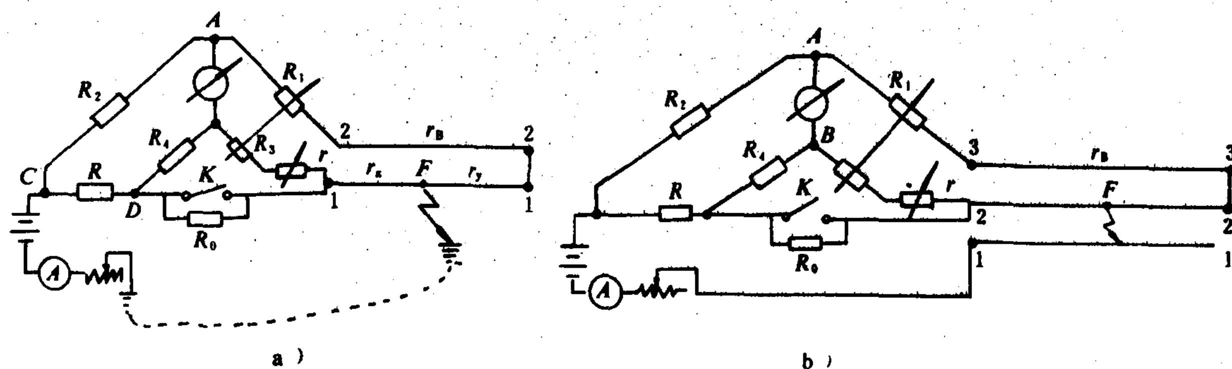


图 8.3.2－29 电桥法

a)芯线与壳体之间短路；b)芯线之间产生短路

④有条件的地方可使用电缆探伤仪。

通过上述方法找到故障点后，就可按电缆修理工艺进行修复。

参 考 文 献

[1] 船舶设计实用手册第五册，国防工业出版社，1973 年

[2] 黄伦坤等：船舶电站及其自动装置，人民交通出版社，1981 年 6 月

[3] 华南工学院：船舶电力系统。国防工业出版社，1982 年 6 月

[4] 广州造船厂：船电工艺手册　第一分册，国防工业出版社，1985 年 11 月

[5] 施亿生：船舶电站，国防工业出版社，1981 年 5 月

[6] 汪铭鸿：船舶电网的维护，电世界 1964 年 4 月

第3章　船舶照明及日常用电设备

1 概　　述

1.1 对船舶照明的要求

1.1.1 对照度要求

目前照度标准尚未制定，这里根据有关资料整理列表8.3.3—1，供参考。

表8.3.3—1　　照　度　要　求

舱　室　名　称	最低照度(lx)
餐厅、文娱室、休息室、医疗室	30～50
船长室、无线电室、广播室、旅客室、船员室、操纵室、轮机工作室、电工工作室、木工工作室、主机舱、辅机舱、锅炉舱、应急发电机室、旅客出入口、机炉舱出入口、配膳室、厨房	20～30
海图室、驾驶室、电罗经室、自动电话室、雷达室、病房、盥洗室、浴室、厕所、洗涤室、干燥室	15～20
内走道、外走道、舵机舱、油泵舱、变流机室、推进电机室、通风机室、空调机室、起锚机控制室、起货机控制室、蓄电池室、灯间、油漆间、仓库、粮食库、备件间储物室、轴隧	10～15
冷藏舱、煤舱、渔舱、行李舱、锚链舱、帆缆舱、测深仪计程仪围阱	7～10

1.1.2 对灯具的要求

根据作用和装置的场所不同，对灯具有各种不同的要求。对于装在有可燃物场所的灯，要求有防爆的灯具；对于装在有水和水蒸汽的场所，要求具有防水式的灯具；对于装在易受机械损伤处的灯，要求有防护式灯具；对于有水飞溅的场所，要求具有防溅式灯具；对于有腐蚀性气体场所，要求具有防腐蚀的灯具等。

1.1.3 对供电质量的要求

一般要求照明系统的电源电压波动不超过±5%，若电压升高，将使灯泡的使用期限缩短，如电压升高5%，则使用期限将缩短25%，电压升高15%，使用期限将缩短80%；若电压降低，将使光通量及发光效率降低，可能使灯熄灭。同理保证供电的频率质量也很重要，如频率提高1Hz，则荧光灯的电流减少2%，频率下降1Hz，电流增长2%，因此60Hz的荧光灯用于50Hz时，由于电流升高，镇流器将过热。

1.1.4 对管理和保养的要求

应经常检查信号灯的良好情况，经常检查应急照明的情况，经常检查防爆、防水和防护灯具的情况；应经常在配电盘上用高欧伏特计来测量照明电气装置的绝缘电阻和用高阻计测量照明电网的绝缘电阻，当发现电阻不够时，必须找出并消除故障；应经常检查照明电缆、导线和灯头的情况，若发现接触不良，必须及时检修排除，否则可能成为火灾的隐患；应经常检查保持

照明器具的清洁。

1.2 船舶照明系统

1.2.1 船舶照明系统主要内容

主要包括舱室照明、舱面工作强光照明、探照灯、航行信号灯和低压修理用行灯等。一般还包括电风扇、较小容量的电动机(在 0.5kW 以下的电动用具)、较小容量的电热器(额定电流不大于 10A)以及船内通信系统的一些报警装置如冷库报警系统等，它们都由照明系统供电。

1.2.2 照明系统分类

1)正常照明系统；

2)应急照明系统；

3)小应急照明系统；

4)航行信号灯系统。

1.3 船舶照明常用光源种类

可分为白炽灯(钨丝灯)和气光灯(气体放电灯)两种基本类型。

1.3.1 白炽灯

1)普通白炽灯(钨丝灯)

(1)工作原理：利用电流通过白炽体(钨丝)时发热到相当高的温度而发光，它是船舶照明的一种光源。

(2)型式：按有无气体分有真空泡和充气泡两种型式；按灯丝分又有单灯丝和双灯丝两种型式，双灯丝适用于作船舶航行灯。

(3)灯泡的灯头型式：

①E 型 螺口式灯头；

②C 型 插口式灯头。

船上除双灯丝泡采用插口式灯头外，其余各式灯泡一般采用螺口式，以防振动松脱。

(4)性能与规格：船用白炽灯具有耐振动、耐冲击、耐潮湿的性能，主要规格见表 8.3.3—2。

表 8.3.3—2 **白炽灯泡的主要规格**

型号		电压(V)	功率 (W)/光通量(lm)	灯头型式
一般船用	CNY24	24	25/237 40/440 60/720 100/1400	螺口
	CNY110	110	25/180 40/304 60/516 100/1150 150/1950 200/2750 300/4400 500/7850 1000/17100	
	CNY127	127	25/180 40/304 60/516 100/1150 200/2400	
	CNY220	220	25/153 40/268 60/432 100/840 200/2130 300/3480	
强光灯用	PQ110	110	300/5050 500/8900 1000/19000	螺口
	PQ220	220	300/4610 500/8300 1000/18600	

续上表

型	号	电压(V)	功率 (W)/光通量(lm)	灯头型式
航行灯用双丝灯泡	CNH110	110/110	25/25 40/40 60/60 100/100 (W/W)	插口
	CNH220	220/220	25/25 40/40 60/60 100/100 (W/W)	
船用管形灯(指示灯)	CNZ26	26	25(W)	螺口
	CNZ110	110	8,15,25(W)	
	CNZ127	127	8,15,25(W)	
	CNZ220	220	25(W)	

2)碘钨灯

(1)工作原理:在钨丝灯中充以碘蒸汽,点燃时,高温的钨灯丝蒸发,但碘钨灯的玻璃灯壳温度较低,在玻璃灯壳处,钨蒸汽和碘合成为蒸汽状态的碘化钨,而在灯丝高工作温度处,碘化钨又离解为碘和钨,使钨析离在灯丝上,这样可提高钨丝的工作温度,降低钨丝的实际蒸发率,从而提高了灯的效率(一般可提高22%左右)。

(2)优点:它具有体积小,光色好,光效高,寿命长和不需用限流器、启动器,使用方便等优点,它最适宜于强烈投光照明。

(3)缺点:工作位置的水平度要求高,倾斜不得超过7°,如倾斜,则寿命大大降低。

(4)使用注意事项:

①因为灯在燃点状态下或在刚灭点后,灯是热的,所以不允许手和肌肤触及灯壳。

②为保证玻壳的透明度,更换灯管时要戴上干净的手套,不允许用手直接触摸灯管。

③须在回路中安装指定的熔断器。

1.3.2 气光灯(气体放电灯)

气光灯是利用气体或金属蒸汽的放电发光现象作为光源,其种类较多,目前船上采用的有荧光灯、高压水银灯、超高压汞氙灯、超高压氙灯等。

1)荧光灯

(1)工作原理:利用在水银蒸汽中放电激发管壁荧光质涂层而发光。

(2)优缺点(与白炽灯比较)优点:①发光效率高,比白炽灯约大4倍左右。②光谱的组成比白炽灯优越,其光色近于日光。高照度的照明能造成良好的照明环境,有利于减轻人的视觉疲劳,提高工作效率。③使用寿命较长,可达3000h(白炽灯寿命一般为500～1000h),使用3000h后,其光通量仍不低于原光通量的70%。④热辐射较少,与白炽灯相比较,在同一照度下约减少1/4左右。缺点:①在低温下起动较困难。一般在室温5℃以下时,起动就难于得到保证。②发光效率受环境温度影响较大。③由于荧光灯的霎光效应所产生的闪烁现象,会使人感觉到运动物体发生晃动,转动速度不正常等现象,以致影响操作的正常进行。④荧光灯用于低照度的照明处所,会产生一种昏暗的效果。

(3)主要规格:荧光灯常用的有日光色、冷白色和暖白色。主要规格见表8.3.3—3。

表 8.3.3—3　　**荧光灯管的主要规格**

型　号	功率(W)	光通量　(lm)	管长　(mm)	附　　注
日光色 RR 冷白色 RL 暖白色 RN 如 YZ6RR 表示： Y—荧光灯 Z—直管形 RR—日光色 6—6W	6	RR:210 RL:230	226.6(6in)	
	8	RR:325 RL:360	301.6(8in)	
	10	RR:410 RL:450	344.6(14in)	
	15	RR:665 RL:730 RR:580 RL:635	450.6(18in)	}细管形型号后加“s”
	20	RR:930 RL:1000	603.6(24in)	
	30	RR:1700 RL:1860 RR:1550 RL:1700	908.6(36in)	}细管形,型号后加“s”
	40	RR:2400 RL:2640	1213.6(48in)	
	100	RR:5500 RL:6100	1213.6(48in)	

(4)荧光灯接线图:荧光灯可由交流或直流供电,但直流供电很少应用。

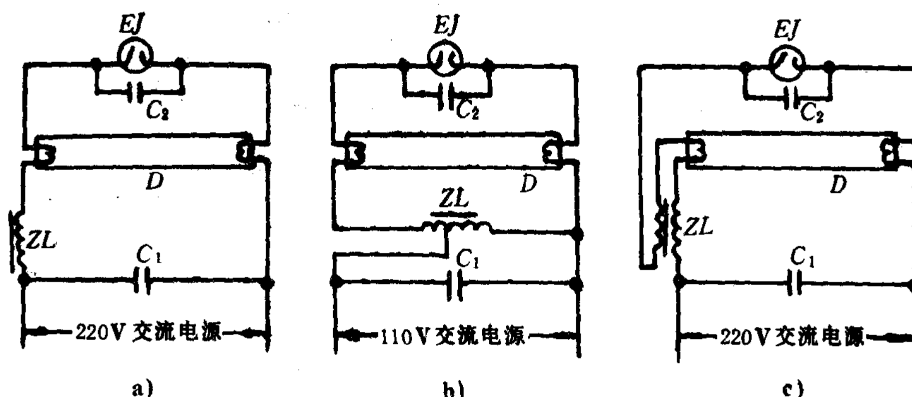


图 8.3.3—1　单管荧光灯接线图

(a)220V 交流电源接法;(b)110V 交流电源接法;(c)220V 交流电源镇流器带起动绕组时接法

EJ—起动器;ZL—镇流器;D—荧光灯;C_1、C_2—电容器

交流供电的荧光灯,必须与镇流器和起动器配合使用。一般接线图如图 8.3.3—1 所示,电容器 C_1 是为了提高功率因数(采用 4.5～5.5μF),C_2 是为了防止荧光灯在起动过程中产生对船舶无线电的干扰(采用 0.005～0.05μF)。

为了减少霎光效应所引起的闪烁现象,可采用双灯管制(见图 8.3.3—2)和三灯管制(见图 8.3.3—3),双灯管制可以改善功率因数,三灯管制适用于三相网络。

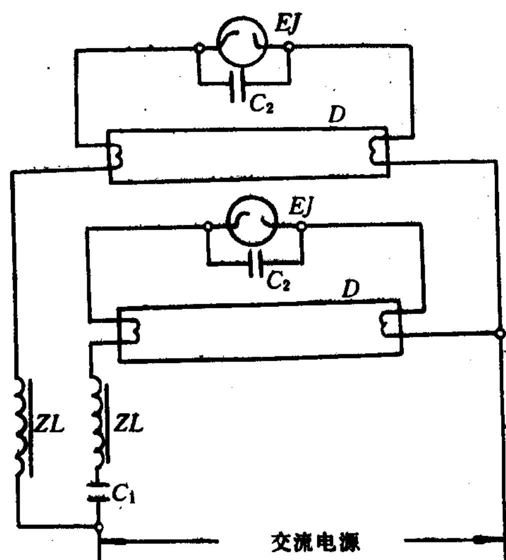


图 8.3.3—2 双管制荧光灯接线图

EJ—起动器；ZL—镇流器；D—荧光灯；C_1、C_2—电容器

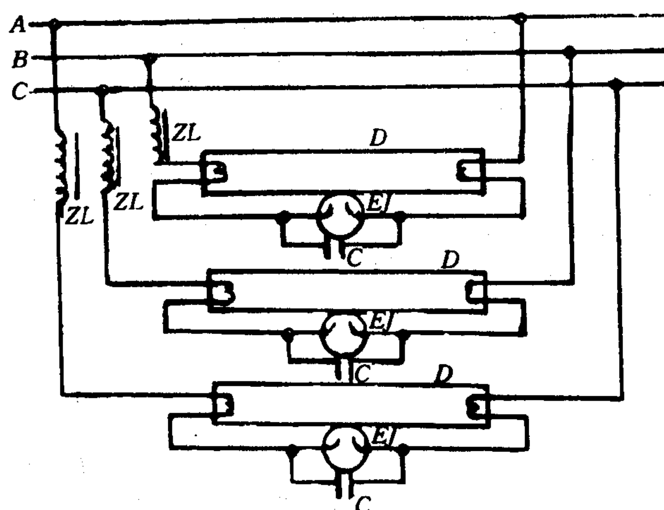


图 8.3.3—3 三管制荧光灯接线图

EJ—起动器；ZL—镇流器；D—荧光灯；C—电容器

2)高压水银灯

(1)工作原理：利用在高压水银蒸汽中电弧放电而发光，它的发光效率主要由水银蒸汽压力来决定，照明用灯为 0.2～0.6MPa(2～6 个大气压)。它是一种发光效率高、功率较大的照明光源，用于舱面装卸作业的强光工作照明。

(2)主要规格：高压水银灯的外壳内壁涂有一层荧光粉的，称为高压水银荧光灯。它又可分为普通型和反射型两种，主要规格见表 8.3.3—4。

表 8.3.3—4 高压水银灯泡的主要规格

型号	电压(V)	功率(W)/光通量(lm)	灯头型式
RG 高压水银荧光灯	220	50/1500　80/2800　125/4750　175/7000　250/10500　400/20000　700/35000　1000/50000	螺口
GS 高压石英水银灯		50/1570　80/2940　125/4980　175/7300　250/11000　400/21000　700/36750　1000/52500	
RGF 反射型高压水银荧光灯		400/15000	
GSF 反射型高压石英水银灯		400/15000	

(3)接线图：高压水银灯也需与镇流器配合使用。一般接线图如图 8.3.3—4，图中电容 C 是为了提高功率因数(采用 4μF，600V)。

(4)使用注意事项：①高压水银灯起动时间为 4～8s，它要求电网电压波动不可过火，如突然降落超过额定值的 5%，可能会造成中途自行熄灭。当灯泡熄灭，不能立即再次起辉，需待灯泡冷却 5～10min 左右才能再次起辉。②当高压水银灯用于寒冷地区或气温较低的处所时，为了保证起辉的可靠性，可采用漏磁变压器或磁分路变压器来代替镇流器，利用其较高的空载

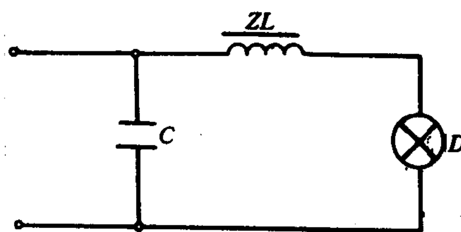


图 8.3.3—4 高压水银灯接线图

D—高压水银灯；ZL—镇流器；C—电容器

电压使灯容易起辉，变压器空载电压应根据最低环境温度而定。

3）超高压汞氙灯

（1）工作原理：它是在氙灯中充以高压水银，利用电弧放电而发光的光源。灯管中充以氙气可以提高起始光通量，延长灯管寿命，缩短稳定时间，增加可见区的红色光谱，改善色品。

汞氙灯分为球弧和管弧两种。球弧形极间距离较短，弧光放电集中，在电极尖端形成极亮的光点，可得到很强的光强，所以适用于作探照灯光源。管弧形极间距离较长，因此形成长弧放电，发光强度仍然很高，但照射面积较大，所以适用于舱面照明投光灯的光源。

（2）接线图：由于超高压汞氙灯管内的气压较高，起弧困难，因此需要采用触发器作点火装置。此外，使用交流电源时，必须串接镇流器，使用直流电源时，必须串接适当数值的限流电阻。目前使用的 1000W 超高压汞氙灯，其所配用的触发器，镇流器或限流电阻见表 8.3.3—5。

表 8.3.3—5　　**1000W 超高压汞氙灯的附件**

电　源	电压　（V）	配用触发器型号	配用镇流器型号	配用限流电阻数据
交流	220	SF—A_1	ZL—A	
	110	SF—B_1	ZL—B	
直流	220	SF—C_1		10～11Ω 3kW
	110	SF—D_1		2～3Ω 1kW

注：管形汞氙灯配用 SFH 型触发器。

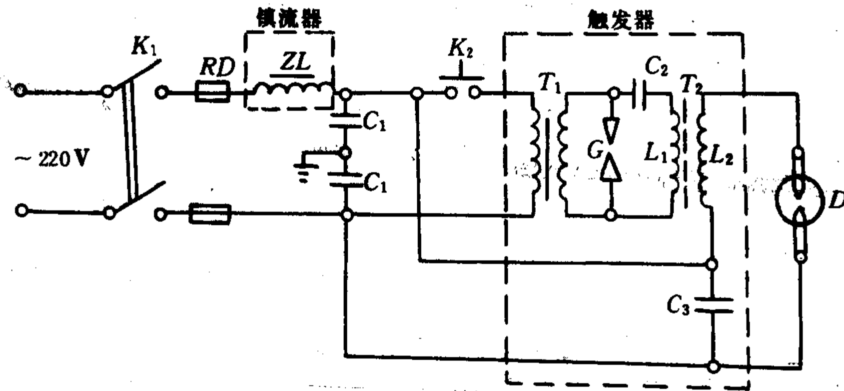


图 8.3.3—5　超高压汞氙灯使用交流电源时原理图

①超高压汞氙灯使用交流电源时的原理图如图 8.3.3—5，当按钮 K_2 闭合，接通高压变压器 T_1，在次级绕组上产生 4KV 的高压，经火花隙 G 放电，在 C_2L_1 组成的串联谐振电路中产生阻尼振荡，经脉冲变压器 T_2 的次级绕组 L_2 升压获得 40～50kV 的高频高压，通过 C_3 引起灯管电极间弧光放电以完成点灯工作。C_1 为高频旁路电容（2×0.1μF，1000V）。

②超高压汞氙灯使用直流电源时的原理图如图 8.3.3—6。

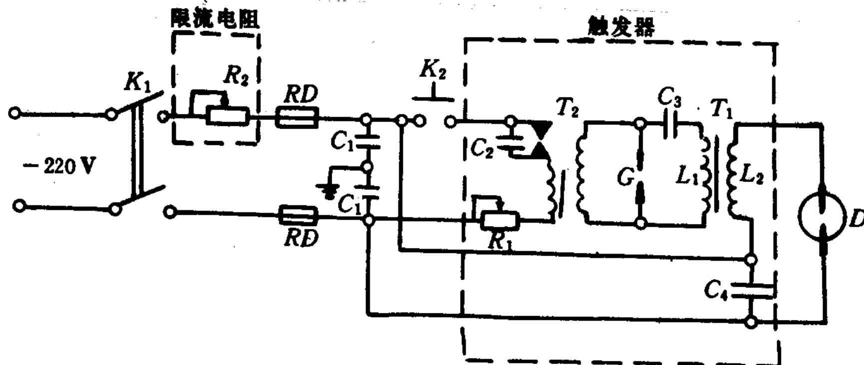


图 8.3.3—6　超高压汞氙灯使用直流电源时原理图

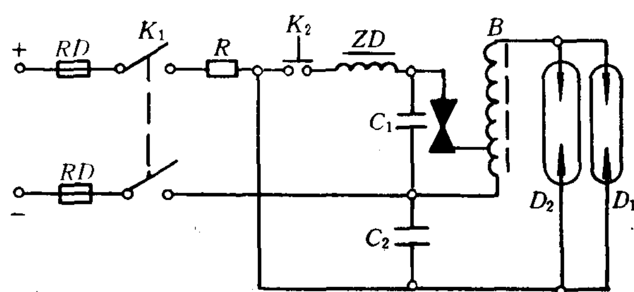


图 8.3.3—7　TG19 型投光灯原理图

③超高压管形汞氙灯的再启动时间较长，要隔 5～10min 待其冷却后才能进行。为克服这一缺点，可在灯具中(如 TG19 型投光灯)安装 2 根灯管，原理如图 8.3.3—7。在引燃时，只有一根灯管能点燃，另一根即因电压降低而不能引燃，当一根熄灭时，若需要，另一根可立即引燃。

4)超高压氙灯

(1)工作原理：是一种强电流弧光放电灯，光色近似于日光，发光效率高，发光面积小，极适用于探照灯。超高压氙灯也须用触发器引燃，引燃时间较短，点燃时不允许过高电压或电流波动。超高压氙灯点燃时要求垂直放置。

(2)主要规格：见表 8.3.3—6。

表 8.3.3—6　**超高压氙灯主要规格**

型号	功率(W)	电源电压(直流 V)	工作电压(V)	工作电流(A)	附　注
SQ75	75	≥50	16	5	
SQ150	150	≥50	18	8	
SQ300	300	≥50	20	15	
SQ300A	300	～220	18	18	
SQ500	500	≥50	20	25	
SQ1000	1000	≥65	22	50	
SQ1500	1500	≥65	25	60	
SQ2000	2000	≥65	28	70	
SQ3000	3000	≥65	30	100	要求强迫风冷

(3)接线图：超高压氙灯在直流电源下点燃时的电路如图 8.3.3—8，按下按钮 K，使振动器 ZD 动作，产生高频电流，通过变压器 B 产生高压，使超高压氙灯 D 点燃。

超高压氙灯也可以在交流电源下点燃，用交流电源时，限流电阻应改换为镇流器，其它与直流相同。

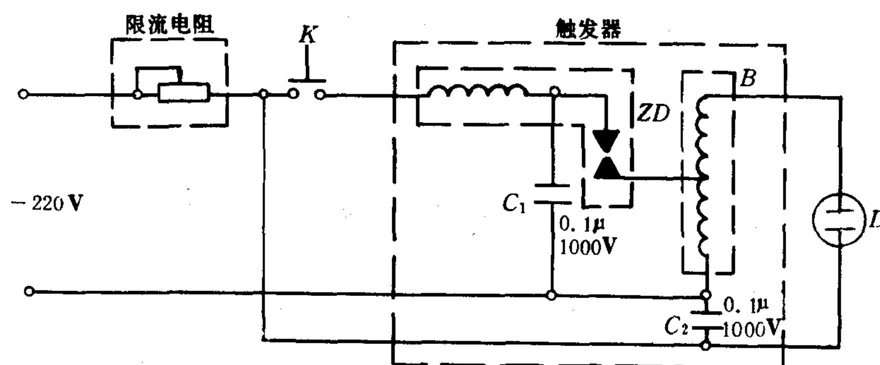


图 8.3.3—8　超高压氙灯使用直流电源时的原理图

2 船用灯具分类及规格型号

2.1 灯具分类

可按结构型式、用途、使用场所、光源、配光、特殊照明等来分类，下面只按前两种分类方法进行介绍。

2.1.1 按结构型式分类

1)保护式：用于干燥的舱室，如船员和旅客的居住休息舱室、餐厅、安装通信导航设备的驾驶室、海图室、无线电室以及内走道等处。

2)防溅式：用于有水飞溅的场所，如露天甲板及外走道等处。

3)防水式：用于不仅有水飞溅，而且有滴水和凝水的场所，如机舱、炉舱、货舱、冷藏舱、厨房、浴室、厕所、盥洗室、修理间、控制器室、贮藏室等处，露天甲板和外走道处也常采用防水式照具。

4)防爆式：用于装有易燃性物体和有爆炸气体产生的舱室，如蓄电池室、煤舱、油柜舱、灯间、油漆间以及油轮上第二类舱室如油泵舱、油舱上面空间等处。

2.1.2 按用途分类

1)舱室照明灯具：有舱顶灯、蓬顶灯、防爆灯等。

2)航行信号灯具：有左右舷灯、桅灯、尾灯、桅顶灯、三色灯、锚灯、应急灯、艇用灯等。

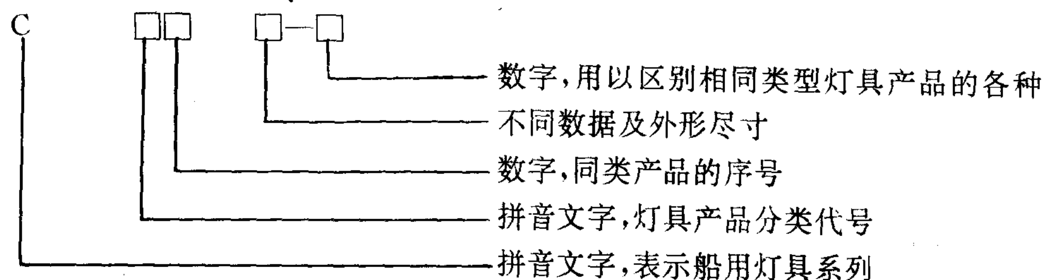
3)局部照明灯具：有床头灯、壁灯、台灯、海图灯、医疗灯、水位表灯等。

4)挂灯及手提灯：有 220、110、24V 挂灯、24V 手提灯等作临时悬挂照明用。

5)投光灯和探照灯：用于船舶舱面作业强光照明及信号探照灯。

2.2 灯具的型号规格

2.2.1 船用灯具型号编排方法



2.2.2 舱室照明灯的规格数据

规格数据见表 8.3.3—7。

2.2.3 局部照明灯的规格数据

规格数据见表 8.3.3—8。

2.2.4 挂灯和手提灯的规格数据

规格数据见表 8.3.3—9。

表 8.3.3−7

舱室照灯的规格数据

型　号	名　称	结构型式	发光强度(cd)	灯头型式	电压(V)	功率(W)	功率因数	灯　罩	重量(kg)	用　途	附　注
CCD17−2	两管荧光舱顶灯	防喷水式,钢底壳	198		110/220	15	0.75	半透明磨砂有机玻璃	8.3	机舱和外走道照明	灯体内备有 2C−15 应急灯头,允许配 24V15W 白炽灯泡
CCD18−2A	两管荧光舱顶灯	防喷水式,钢底壳	324		110/220	20	0.72	透明有机玻璃	10.6	机舱和外走道照明	灯体内备有 2C−22 应急灯头,允许配用 24V、15W 白炽灯泡
CCD19−2	两管荧光舱项灯	防滴式,钢底壳	520		110/220	30	0.49	透明有机玻璃	9.5	机舱照明	灯体内备有 2C−15 应急灯头,允许配用 24V,15W 白炽灯泡
CCD19−3	三管荧光舱顶灯	防滴式,钢底壳	768		110/220	30	0.49(三角形接法)	透明有机玻璃	10	相舱照明	
CCD24−2	两管荧光舱顶灯	防喷水式,钢外壳	512		110/220	30	0.62	采用新型防水灯座	9.3	机舱和外走道照明	启辉器有密封防水罩
CPD1−1	单泡篷顶灯	钢外壳,呈嵌入式		E−27	110/220	60		乳白色玻璃	1.5	舱室,居住、办公等	
CPD1−2	双泡篷顶灯	钢外壳,呈嵌入式		E−27	110/220	2×60		乳白色玻璃	1.7	舱室,居住、办公等	灯体内备有 2C−15 应急灯头,允许配用 24V,15W 白炽灯泡
CPD1−3	三泡篷顶灯	钢外壳,呈嵌入式		E−27	110/220	3×60		乳白色玻璃	2.4	舱室,居住、办公等	灯体内备有 2C−15 应急灯头,允许配用 24V,15W 白炽灯泡
CPD−19	单管荧光篷顶灯	钢外壳,呈嵌入式	247		110/220	30	0.49	半透明磨砂有机玻璃	3.2	舱室、内走道、居住等	灯体内备有 2C−15 应急灯头,允许配用 24V,15W 白积灯泡
CPDZ1−2	两管荧光篷顶灯	钢外壳,呈嵌入式	198		110/220	15	0.75	半透明磨砂有机玻璃	6	舱室、内走道、居住等	灯体内备有 2C−15 应急灯头,允许配用 24V,15W 白积灯泡
CPD31−2	两管荧光篷顶灯	钢外壳,呈吸顶式	198		110/220	15	0.75	半透明磨砂有机玻璃	6.3	舱室、内走道、居住等	灯体内备有 2C−15 应急灯头,允许配用 24V,15W 白积灯泡

续上表

型号	名称	结构型式	发光强度(cd)	灯头型式	电压(V)	功率(W)	功率因数	灯罩	重量(kg)	用途	附注
CPD33－4	四管荧光篷顶灯	钢外壳,呈嵌入式	576		110/220	20	0.58	半透明磨砂有机玻璃	14	舱室、内走道、居住等	
CPD35－2	两管荧光篷顶灯	钢外壳,呈嵌入式			110/220	20	0.72	半透明磨砂有机玻璃	6.5	舱室、内走道、居住等	灯体内备有2C－15应急灯头,允许配用24V,15W白炽灯泡
CPD51	竹节方顶灯	钢外壳,呈吸顶式		E－27	110/220	2×40		乳白色玻璃	3	舱室、内走道、居住等	灯体内备有2C－15应急灯头,允许配用24V,25W白炽灯泡
COD52	格栅顶灯	钢外壳,呈嵌入式		E－27	110/220	25			0.7	舱室、内走道、居住等	
CPD53	月季圆顶灯	钢外壳,呈吸顶式		E－27	110/220	4×40		乳白色呈月季花型玻璃	5.2	船内餐厅、娱乐室等	灯体内备有2C－15应急灯头,允许配用24V,25W白炽灯泡
CPD54	菱形方顶灯	钢外壳,呈嵌入式		E－27	110/220	2×40		乳白色玻璃	3.2	舱室、内走道、居住等	灯体内备有2C－15应急灯头,允许配用24V,25W白炽灯泡
CPD57	小月季顶灯	钢外壳,呈嵌入式		E－27	110/220	2×40		乳白色玻璃	2.4	舱室、内走道、居住等	灯体内备有2C－15应急灯头,允许配用24V,25W白炽灯泡
CPD58	大三菱顶灯	钢外壳,呈嵌入式		E－27	110/220	2×40		乳白色玻璃	2.4	舱室、内走道、居住等	灯体内备有2C－15应急灯头,允许配用24V,25W白炽灯泡
CPD55	菱角方顶灯	钢外壳,呈吸顶式		E－27	110/220	2×40		乳白色玻璃	2.4	舱室、内走道、居住等	灯体内备有2C－15应急灯头,允许配用24V,25W白炽灯泡
CFD1	防爆防	IP55,铸铜吸顶式		E－27	220 110 24	40～60 40×60 25～40				油泵舱和蓄电池舱室	防爆等级:B3d

表 8.3.3－8

局部照明灯的规格数据

型号	名称	外壳	灯罩	电压(V)	功率(W)	灯头型式	重量(kg)	用途	附注
CBD5	镜闪壁灯	金色电化铝	乳白色斜口	110/220	40	E－27	0.6	盥洗室作镜前照明	
CBD16	单管荧光镜前灯	铜	半透明磨吵有机玻璃	110/220	6		1.8	盥洗室作镜前照明	配有琴键开关
CBD17－A	单管荧光镜前灯	铜	半透明磨吵有机玻璃	110/220	8		1	盥洗室作镜前照明	配有开关
CBD17－B	单管荧光镜前灯	铜	半透明磨吵有机玻璃	110/220	12		1.2	盥洗室作镜前照明	
CBD21	单管荧光壁灯	铸铝灯座	半透明磨吵有机玻璃	110/220	8		1.3	文娱厅、餐厅等装饰照明	
CBD22－A	走道灯	铜	半透明磨吵有机玻璃	110/220	20		3.5	内走道及大厅墙色照明	灯体内备有 2C－22 应急灯头允许配用 24V,15W 白炽灯泡
CBD22－B	走道灯	铜	半透明磨吵有机玻璃	110/220	30		4.35	内走道及大厅墙色照明	灯体内备有 2C－22 应急灯头允许配用 24V,15W 白炽灯泡
CBD23	防水镜闪灯	铜	半透明磨吵有机玻璃	110/220	8		2.48	盥洗室作镜前照明	防水灯体侧部备有电动剃须刀插座
CBD24	矩形角壁灯	铜	半透明磨吵有机玻璃	110/220			3.7	内走道及大厅墙角照明	灯体内备有应急照明灯
CKSI	床头灯	铜	棱柱纹玻璃	110/220	15～25	2C－15	0.4	舱室内作床头照相	
CKSI－B	床头灯	铜	棱柱纹玻璃	110/220	15～25	2C－15	0.4	舱室内作床头照相	
CKS2	床头灯	铜	灯体内装有镀铬反光板	24/110/220	15～25	E－27	0.8	舱室内作床头照明	
CKS16	单管荧光床头灯	铜	半透明磨砂有机玻璃	110/220	6		1.8	舱室内作床头照明	

续上表

型号	名称	外壳	灯罩	电压(V)	功率(W)	灯头型式	重量(kg)	用途	附注
CTD2	台壁两用灯	铸铁底座,镀铬抛光灯杆		24	25	2C−15	2	舱室内作台壁两用照明	
CTD3	台壁两用灯	铸铁底座,镀铬抛光灯杆		110/220	40	E−27	2.5	舱室内作台壁两用照明	
CTD22	单管荧光软硬台灯	铸铝灯座,镀铬抛光软梗		110/220	8		1.4	生活舱室,办公室照明	
CTD101	龙戏珠台灯	灯座由木材精雕成游龙戏珠形态		110/220	25 磨沙灯泡	E−27	1.13	生活舱室,办公室照明	
CTD102	龙吐水台灯	灯座由木材精雕成蛟龙吐水形态		110/220	25 磨沙灯泡	E−27	1.62	生活舱室,办公室照明	
CZS3−B	电子闪光救生浮灯	浸水式结构		4V0.1A 小电珠,闪光频率 40～46 次/分钟			2.2	作灯光求救信号及水域指示用	
CZS6	铭牌灯	钢底座,呈吸壁式	半透明磨砂有机玻璃	110/220	8		1.2	作公共场所指示及各舱室铭牌之用	
CZS7	水位表灯	防喷水式结构,钢		24/110/220	25	2C−15,2C−22	1.6	作水位表照明	
CHT4	海图灯	钢		220	25	E−27	1.8	驾驶室海图案前照明	
CHT4C	调光型海图灯	钢		220	≤100	E−27	2	驾驶室海图案前照明	
CBD26	台壁灯	灯座,灯杆由黄铜抛光	烘清楚	110/220	40	E−27		舱室内作台壁两用照明	
CBD26−2	双叉台壁灯	铝合金		110/220	2×40	E−27		舱室内作台壁两用照明	
DL1	手术照明灯	铝合金	无色,有机玻璃	24/110/220	50/100	2C−22		医疗外科手术台用	
DL2	医疗照明灯	铝合金	无色,有机玻璃	24,110,24,220	50,100,50,100	2C−22		医疗手术侧照明	

表 8.3.3—9 挂灯和手提灯的规格数据

型号	名称	结构型式	外壳、灯罩	电压(V)	功率(W)	灯头型式	重量(kg)	用途
CGD1	大功率挂灯	防喷水式	铸铝外壳,乳白色玻璃罩外装保护网	110/220	200	E—27	4	船甲板,码头及机炉舱作为公用照明
CGD2	两用挂灯	防海浪式	铸铜外壳,无色透明玻璃外装保护网	110/220	60	E—27	2.7	供船舶上临时工作场地照明
CGD3—1	三泡货舱灯		钢外壳,配有金属保护网	110/220	3×60	2C—22	3.8	供货舱内作移动照明用
CGD3—2	五泡货舱灯		钢外壳,配有金属保护网	110/220	5×60	2C—22	4	供货舱内作移动照明用
CSD1	手提灯	防喷水式	酚醛塑料外壳,玻璃罩外装保护网	24	25	2C—15	0.55	供船舶检修或装卸货物等临时性工作场地照明
CSD2	手提灯	防喷水式	酚醛塑料外壳,玻璃罩处配有遮光罩	24	15	2C—15	0.5	供船舶检修或装卸货物等临时性工作场地照明
CSD3	手提灯	同上	酚醛塑料外壳,玻璃罩外有金属保护网	24	40	E—27	0.9	供船舶检修或装卸货物等临时性工作场地照明
CSD4	干电池手提灯	防海浪式	铸铝外壳,灯内装有2只1号电池	25V 0.3A 小电珠		专用灯头	1.9	供船舶检修工作场地临时性照明
CSD8	蓄电池手提灯		钢外壳,灯内装有2节1.5V蓄电池	2.5V 0.8A 小电珠		专用灯头	1.9	供船舶检修工作场地临时性照明

2.2.5 投光灯和探照灯的规格数据

规格数据见表8.3.3—10。

表8.3.3—10 **投光灯和探照灯的规格数据**

型号	名称	结构型式	防护型式	电压(V)	光源及功率	灯头型式	重量(kg)	用途	附注
TG1 A B	投光灯	无网 有网	IP45	220	300W白炽灯	E—27	14 14.5	用于船舶照明	上海光辉灯具厂生产
TG2 A B	投光灯	无网 有网	IP45	220	500W白炽灯	E—40	18.5 19.5	同上	上海光辉灯具厂生产
TG3	信号灯		IP44	220交流	1000W白炽灯	E—40	48	用于舰船信号联系	上海光辉灯具厂生产
TG14A	集光灯	低座	IP44	220交流	1000W白炽灯	E—40	48	舰船照明	上海光辉灯具厂生产
TG14A	集光灯	斜座	IP44	220交流	1000W白炽灯	E—40	48	同上	上海光辉灯具厂生产
TG15—B	投光灯	无遮光板	IP34	220交流	1000W白炽灯	E—40	19	同上	上海光辉灯具厂生产
TG15—P	投光灯	有遮光板	IP34	220交流	1000W白炽灯	E—40	48	同上	上海光辉灯具厂生产
TG7	高压水银投光灯	无网	IP45	220交流	GGY—400 荧光高压汞灯	E—40	14	同上	上海光辉灯具厂生产
TZ1	探照灯	有升降杆	IP34	220交流 110直流	GXQ—100 球型超高压汞氙灯	专用	≤75	用于舰艇救生、船舶夜航及远距离搜索	上海光辉灯具厂生产
TZ2	同上	同上	同上	同上	同上	专用	≤75	同上	上海光辉灯具厂生产
QZ2	照明灯		IP34	220交直流两用	GXG—1000 管型汞氙灯	双端引出	≥20	船舶照明	上海光辉灯具厂生产
SSD—200I	搜索灯	室内	防喷		XQ—200 超高压短弧氙灯		13	用于中小型船舶夜航及远距离搜索	上海新华灯具厂生产
SSD—200II	同上	室外	防溅		同上		13	同上	上海光辉灯具厂生产
TG16 A B C	同上			12/24	100		4.6	用于中小型船舶夜航照明	上海光辉灯具厂生产

2.2.6 指示灯的规格数据

规格数据见表8.3.3—11。

表 8.3.3-11 **指示灯的规格数据**

型号	名称	电压(V)	功率(W)	灯头型式	玻璃罩颜色	最大温升(℃)	外壳材料
CZS1	指示灯	6～24	电流 0.17A	1C—9—1	红色,绿色	40	钢、铜、胶木
CZS2	指示灯	110	15	E—12	红色、绿色、蓝色、黄色、无色	40	铜、胶木

2.2.7 木船、驳船、小汽艇等船只信号灯规格数据

规格数据见表 8.3.3—12。

表 8.3.3—12 **木船、驳船、小汽艇等船信号灯规格数据**

型号	名称	结构型式	电压(V)	功率(W)	灯头型式	玻璃罩颜色	温升(℃)	视角	外壳材料
CNH1	铜吊灯	防水式	110,220	10～25	2C—15	红色,绿色,无色	55	铜或铝合金	
CNH2	边灯	防溅式	110,220 或低压	60	E—27	红色,绿色		水平面 120°	镀锌铁皮
CNH3	桅灯	防溅式	110,220 或低压	60	E—27	绿色,无色		水平面 230°	镀锌铁皮
CNH4	尾灯	防溅式	110、220 或低压	25	E—27	绿色,无色		水平面 150°	镀锌铁皮
CNH5	三色灯	防溅式	110,220 或低压	60	E—27	红色,绿色,无色		水平面绿色,红色 80°无色 74°	镀锌铁皮
CNH6	信号灯	防溅式	110,220 或低压	60	E—27	红色,绿色,无色		水平面 360°	镀锌铁皮
CNH7	锚灯	防溅式	110,220 或低压	25	E—27	无色		同上	镀锌铁皮

2.2.8 苏伊士运河探照灯规格数据

1)规格数据见表 8.3.3—13

表 8.3.3—13 **苏伊士运河探照灯的规格数据**

型号	光源种类	工作电压(V)	消耗功率(KW)	最大光强(烛光)		旋转角度		结构型式	外壳材料
				单束光	双束光	水平	垂直		
SCSI—H	白炽灯	220	3	∢2×106	∢1.17×10⁶	±360°	±30°	防水式	钢

注:①灯具在正常气候条件下的射程为 1200m 左右。

②灯具内有一只备用灯泡,当灯泡损坏时,能借旋转手柄及时接入备用灯泡。

③底座和支架的材料为铝合金。

2)对灯要求 夜间在苏伊士运河航行时,所用探照灯应符合如下要求:

(1)探照灯所照 1500m 前方运河水路中的锥形浮标上的反射带,要有约 $1l_x$(勒克斯)的度,照耀清楚(大气透过率=0.74)。

(2)前玻璃要用硬化玻璃。

(3)反射镜要用玻璃或抛光过的铝(反射率:玻璃的要求达 95%)。

(4)反射镜分二部分,左右的光柱各有 5°的光束宽度,中央的暗带要能在 0～10°的范围内调节。

(5)灯体为能承受 0.0245MPa(0.25kg/cm²)压力的水密型(对油船特别要求为气密型)。此外,用软管将灯体内的热量排出,并要装安全阀。

(6)探照灯内准备二个灯,如一个发生故障,直接切换上另一个即可使用。

(7)白炽灯的功率，总吨位达到30000t的船舶为2000W，总吨位超过30000t的船舶为3000W，发光强度不能低于3×10^6cd(烛光)。

3　灯具的选型、布置与安装

3.1　灯具的选型

3.1.1　选用灯具应考虑的问题

1)配光能否满足要求。2)使用光源的寿命如何。3)灯具种类与使用场所是否相匹配。4)安装是否简单。5)清扫和更换灯泡是否容易。6)使用期间是否变色或生锈。7)价格如何等。要从各个不同角度考虑才能正确地选用灯具，使其用于合适的场所，充分发挥其效能。

现说明灯具的作用如下：(1)合理配光，即将光源光通量重新分配，以达到合理利用。(2)防止眩光。(3)提高光源利用率。(4)保护光源免受机械力损伤，并为其供电。(5)保证照明安全。(6)装饰美化环境。

3.1.2　选用灯具的基本原则

1)光的技术特性　配光、灯具表面亮度、眩光等。

2)经济性　灯具效率，在使用房间内所获得的利用系数高低，电功率消耗，节能效果，投资运行费等。

3)周围环境条件。

4)灯具的外形与建筑物是否相协调等。

在选用灯具时，以上几点应进行综合考虑。

3.1.3　按配光选择灯具

1)在房间的墙和顶均要求有一定的亮度，要求房间有较高的反射系数，并需有一部分光直接射到顶棚和墙上，此时以采用直接—间接型配光的灯具为宜。照明器上半球光通辐射一般不应小于15%，并应避免采用集照型直射灯具。

2)在高大的场所，宜采用深照型或集照型灯具，但对有垂直照度要求的场所，不宜采用高度集中配光的灯具，而应考虑有一部分光能照到墙上和设备的垂直面上。

3)当要求减少阴影时，可采用余弦型、扩散型(均照型)、广照型等配光，使工作点能受到来自各个方向灯具光线的照射。如果对消除阴影要求十分严格，则最好采用发光平面，它的特点是照度高，且均匀，对消除阴影效果比较理想。

4)为了防止眩光，应选用带有保护角或有漫射玻璃的照明器，若为了减少反射眩光，则应采用带有漫射装置(如扩散玻璃、格栅等)的灯具。

5)当要求垂直照度时，可采用倾斜安装照明器，或选用不对称配光(即仅向某一方向投射)的照明器。

3.1.4　按环境条件选择灯具

在多尘、潮湿、有腐蚀性气体、有火灾或爆炸危险等场所，照明要着重考虑安全、可靠性、便于维修和有较好的照明效果，灯具选择见表8.3.3—14。

表 8.3.3—14　　　　　　　　　　　　按环境条件选择灯具

场所	环境特征	灯具的防护要求及选用
多尘场所	1)生产过程中,空间常有大量尘埃飞扬并沉积在灯具上,造成光损失,效率下降(指普通粉尘场所,不包括可燃的火灾或有爆炸危险的粉尘场所) 2)导电、半导电粉尘聚积在电气绝缘装置上,受潮时,绝缘强度下降,易发生短路 3)当粉尘积累到一定程度,并伴有高温热源时,也可能引起火灾或爆炸	防护目的是减少光路上蒙尘造成的灯具效率下降 1)多尘场所采用整体密闭式防尘灯。将全部光路经过的界面都密闭在灯具之内,被污染机会少,灯具的效率高 2)灰尘不太多的场所用开启式灯具 3)采用反射型灯泡,不易污染,维护工作少
潮湿场所	特别潮湿的环境相对湿度在95%以上,充满潮气或常有凝结水出现,主要影响是降低绝缘水平,易受损坏,造成漏电或短路。人体电阻也因水份多而下降,增加触电危险。灯具易锈蚀	灯具的引入线处应严格密封,以保证安全; 可采用任意型照明器,但灯头必须用绝缘耐潮材料制成。可选用的灯具如防潮灯、瓷质防水灯头开启式灯具
腐蚀性气体场所	生产过程中溢出大量腐蚀性介质气体或在大气中含有大量盐雾、二氧化硫气体等,对灯具或其它金属构件构成浸蚀作用	1)腐蚀严重场所用密闭防腐灯,选择抗腐蚀性强的材料及其面层制成灯具。材料性能是:钢板耐碱性好而耐酸性差;铝材耐酸性好而耐碱性差;塑料、玻璃、陶瓷、抗酸碱腐蚀性均好 2)对内部易受腐蚀的部件实行密闭隔离 3)对腐蚀性不强烈的场所,可用半开启式防腐灯
火灾危险场所	在生产过程中,产生、使用、贮存可燃液体(H—1级)或有悬浮状堆积状可燃性粉尘纤维(H—2级)以及固体可燃性物质(H—3级),如有火源或高温热点,其数量或配置上能引起火灾危险的场所	为防止灯泡火花或热点成为火源,引起火灾,固定安装的灯具在H—2级场所应采用将光源隔离密闭的灯具,如防水防尘灯;在H—1级场所应采用保护型灯具;而在H—3级场所可采用一般开启式灯具;但应与固体可燃材料之间保持一定的安全距离 移动式照明在H—1、H—2级场所应采用防尘型,H—3级场所可采用保护型
爆炸危险场所	空间具有爆炸性气体,蒸汽(Q—1、Q—2、Q—3级)、粉尘、纤维(G—1、G—2级)介质达到适当浓度,形成爆炸性混合物,在有燃烧源或热点温升达到闪点的情况下能引起爆炸的场所	采用具有防爆间隙的隔爆型灯或密闭的安全型灯,并要限制灯具外壳表面温度 Q—1、G—1级用隔爆灯 Q—2级用安全型灯 Q—3、G—2级用防水防尘灯

3.2　灯具的布置

3.2.1　舱室照明的布置

在进行照明布置时,应充分考虑舱室布置和条件,要求达到照度均匀,使用维护方便,同时考虑布置美观。

1)一般舱室照明的布置

(1)舱室内仅有一盏灯时,一般都布置在正中或者偏近于工作位置或休息用的沙发,避免布置在床铺的上方或其它不利的位置。

(2)舱室内有两盏或两盏以上的灯时,为使全室光照均匀,又考虑舱室美观,因此,多盏灯的布置常用对称型式。多盏灯的布置可采用直角式或棋盘式布置,如图 8.3.3—9 和图 8.3.

3--10 所示。

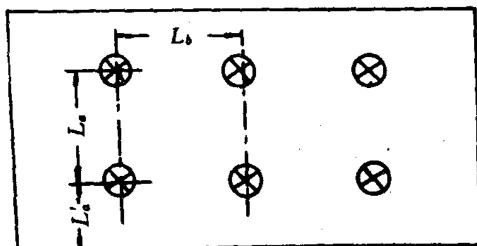


图 8.3.3—9 直角式布置

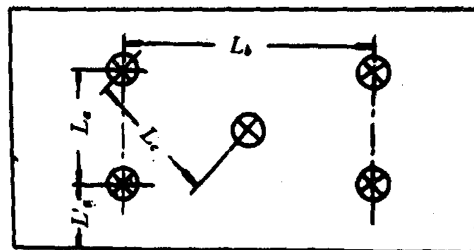


图 8.3.3—10 棋盘式布置

为了保证光照的均匀性，灯具的间距和悬挂高度之间，灯具纵向和横向间距之间，灯具的间距和灯具与墙壁的间距之间应满足表 8.3.3—15 所列的要求。

表 8.3.3—15 **灯具布置对间距的要求**

项　　　目	直角式布置	棋盘式布置
灯具的间距 L_a 和悬挂高度 H 的关系	$L_a=1.5H$	$L_a=2H$
灯具纵向和横向间距的关系	$L_a=L_b$	$L_a=L_c$
灯具的间距 L_a 和灯具与墙壁的间距 L'_a 的关系	$L'_a=(0.25\sim0.3)L_a$	$L'_a=(0.4\sim0.5)L_a$

舱室照明和舱室内的设备与家俱布置有密切关系，尤其是同时装有顶扇等情况，必须结合具体条件进行布置。

2)局部照明的布置

(1)台灯　布置在工作桌的左上角，以保证灯光从工作人员的左前方投射过来，便利于书写等工作。

(2)床头灯　一般纵向的床铺安装在靠近船首的一端，横向床铺安装在靠近船中纵剖面的一端。安装的位置可以在头顶端壁上，亦可在侧壁上。

(3)镜前灯　安装在镜子上方。如果顶灯就在镜子上方，或室内照度足够，不致影响漱洗，可省去镜前灯。

(4)夜明灯　一般布置在进门的地方，可安装在舱内靠近门口的天花板上，一般做成嵌入式的，灯泡功率用 15W。

(5)铭牌灯　安装于各公共使用场所的门上(如厕所、浴室、医务室等)。

(6)其它专用局部照明灯，如橱窗灯、医疗灯、海图灯、无线电室与广播室工作台灯、仪表照明灯等，要根据各种局部照明器具的用途进行布置。

3)餐厅、休息室、俱乐部等处照明的布置

这些房间一般较大，灯光要求比较柔和而又明亮，所需灯点较多。餐厅的灯最好能做到每一餐桌上方都有顶灯，或者把顶灯布置在餐厅内主要通道上方，这样在靠壁的餐桌旁就可以适当的安装些壁灯。介绍几种常用的布置方法：

(1)一般形式　适合于狭长餐厅餐桌成行排列场合，如图 8.3.3—11 所示。

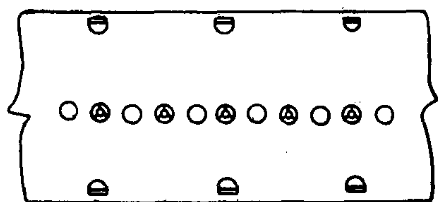


图 8.3.3—11 一般形式布置

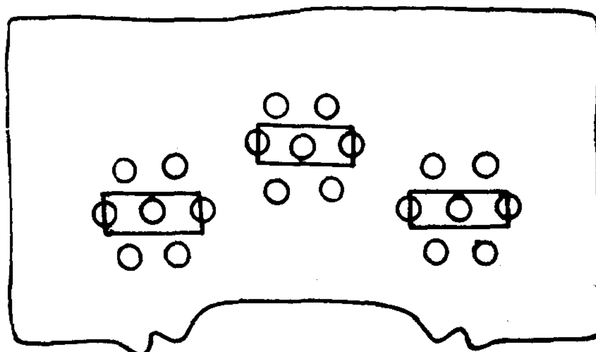


图 8.3.3—12 分散集中形式布置

(2)分散集中形式 适合于不规则布置的餐厅、餐桌少而大的场合,如图 8.3.3—12 所示。

(3)满天星形式 适合于中型餐厅,餐桌多而小的场合,如图 8.3.3—13 所示。

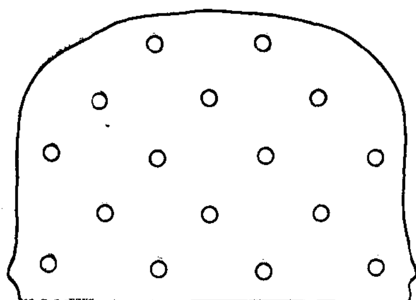


图 8.3.3—13 满天星形式布置

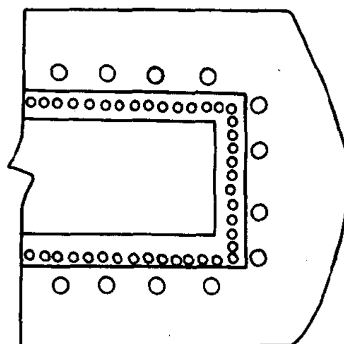


图 8.3.3—14 嵌入形式布置

(4)嵌入形式 适用于较高餐厅,可将灯泡嵌入槅边内,以使灯光更为调和,如图 8.3.3—14 所示。

(5)混合光源布置形式 可采用荧光灯及白炽灯两种光源混合布置形式。图 8.3.3—15 所示为中、小型船舶餐厅采用的混合光源布置;图 8.3.3—16 所示为客船俱乐部所采用的混合光源布置。

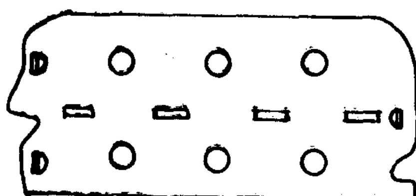


图 8.3.3—15 混合光源形式布置

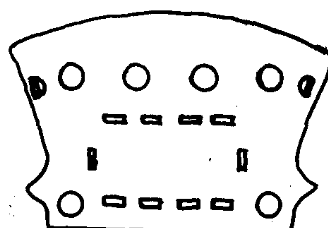


图 8.3.3—16 混合光源内外形式布置

4)内外走道照明的布置 外走道一般采用防水式舱顶灯,内走道顶有天花板时可采用扁平式的篷顶灯,内走道顶不敷天花板时则采用一般舱顶灯。起货桅室周围所装舱顶灯应有防震装置。

船上内外走道一般不十分宽阔,因此各灯功率以采用 40～60W 为宜,灯间距离可参照表

8.3.3—16 选择，但在布置时应注意照顾楼梯口和转弯处的亮度。

表 8.3.3—16　**内外走道的灯距**

型　号	电压　(V)	灯泡功率	灯　距　(m)
DC1 DC6 DC11	110	60	3.5
	220	60	3
DC2	110	40	4
		60	5
	220	40	3.5
		60	4～4.5

5)货舱和渔舱等照明的布置　货舱一般不设照明灯，但在装卸货时，在货舱内需有挂灯，因此必须在货舱口周围或起货桅室壁上或起货桅室内安装插座，每个货舱四个。渔舱内需装设照明灯，依渔舱内临时木格栅而分区安装。

6)机舱照明的布置

(1)主照明　机舱照明布置要照顾到各种机械处有足够亮度，走道和出入口处应布置灯点。为保证机舱工作人员的工作方便，在下列处所应加强光照：总配电板前后、主机四周、主发电机附近、集中控制操纵设备附近等。

假如安装灯具处高度较高，可安装大功率机舱灯，或在适当地点安装强光灯。

机舱照明采用荧光灯时，尚应适当布置一些白炽灯照明。机舱照明采用的灯具应有防震装置。

(2)局部照明　为观察各类机械的正常运行，在机械、仪器、仪表附近需布置一些局部照明：如记录台灯、仪表板灯、低压车床工作灯、观察器灯、水位表灯、舱底水观察灯、主机机壳内照明灯、双层底照明等。

7)油轮的附加要求

(1)油轮第一类舱室禁止安装电气照明器具。

(2)第二类舱室和空间只准许安装防爆式照明器具和属具，但不准安装插头和插座。

(3)第二类舱室的照明应由安装在第三类舱室的单独分电箱供电，分电箱上须设有指示灯。

(4)油泵舱的照明必须由两路电源供电，灯点须交错布置。

(5)安装在属于第三类露天空间的插头与插座必须是联锁式的结构型式。

(6)在第一类、第二类舱室内，严禁使用软线供电的可携灯具，只能用手提式独立电池防爆灯或可携式气涡轮发电防爆灯。

(7)油轮上禁止用弧光探照灯，禁止挂彩饰灯

3.2.2　应急照明的布置

应急照明安装灯点较少，没有照度要求，但必须保证主要机械设备附近，主要控制设备附近及通向救生甲板的扶梯和通道及船员旅客的公共场所等处的必要照明。布置地点如表 8.3.3—17 所示，其安装灯具与正常照明所选用的相同。

表 8.3.3-17　　应急照明地点

应急照明地点	客轮		货轮	
	国际航行	国内沿海	≥5000 总吨	500～5000 总吨
航行灯及信号灯处	V	V	V	V（仅对油轮）
通道、出入口、扶梯、轴隧、应急出口处	V	V	V	V
登艇处、救生筏、救生浮贮放处	V	V	V	V
机舱、炉舱、主机操纵台、锅炉水位表及气压表、总配电板和应急配电板前后应急发电机室、舵机舱等	V	V	V	V
驾驶室、海图室、无线电室、消防设备控制站	V	V	V	V
船员和旅客公共舱室，旅客超过 16 人的居住舱室	V	V		
白昼信号探照灯处	V	建议	（V 大于 150 总吨的国际航行船舶）	

注：V 标记表示必须由应急电源供电。

3.2.3　临时应急照明的布置

一般船舶装有应急照明系统的，不再安装临时应急照明；但当以应急发电机为应急电源时（尤其没有自动起动装置的），应装设临时应急照明系统，但不得采用荧光灯作为光源。下列场所应安装临时应急照明：

1）重要通道、扶梯口、轴隧、应急逃生口处。

2）机炉舱出入口与扶梯，应急机组室及其入口。

3）主、辅机操纵台，总配电板前后及锅炉水表和气压表照明。

4）海图室、电罗经室、无线电室（如该室有自给应急照明时可不装）。

5）罗经照明。

6）救生艇附近甲板面。

7）二氧化碳站。

8）客船上的旅客公共居住舱室。

设计时应注意使每一路上的临时应急照明灯点不超过 5～6 盏，每盏功率为 10～15W，在需要装设临时应急照明的地方应安装专门的低压灯具，但舱室内若安装篷顶灯等本身附有低压灯头的，就可利用这一灯头作临时应急照明，不必另选低压灯具。

3.2.4　可携修理用照明布置

为了检修机械设备，船上应装设低压可携灯的插座，或设置一些高压插座，应用时再插接一些可携低压行灯变压器进行供电。低压可携照明一般采用 24V 或 12V 安全电压。可携照明电源插座的安装处所及数量，要根据船舶的实际情况而定。一般说来，在下列处所应安装可携照明插座：机舱、炉舱、轴隧、甲板机械控制箱室、计程仪测深仪围陷、起货机平台、起锚机平台、舵机舱、通风空调机室、应急发电机室、电工间、修理间、总配电板应急配电板等大型配电或控制设备后面。

3.2.5　探照灯及投光灯的布置

船舶在夜间航行或在夜间进行工作，需要一些远距照明和强光照明的强光灯，其布置情况如下：

1)远洋船舶应在驾驶室顶安装一至两盏信号探照灯，通常装置在船的中前方或左右舷前方，功率一般为1kW。使用低压电源时，探照灯的功率为150～300W。

2)航行于长江中上游的船舶应在船舶甲板左右舷各装一盏功率为500W的探照灯。

3)货船上每一货舱口上方的货桅上应装投光灯(每一舱口应装两盏或四盏，功率为300～500W)，安装位置应不受吊货杆工作的影响。

4)每一救生艇吊架两旁应装一盏或两盏功率为300W的投光灯，能保证摇出舷外，以便照射水面。

5)较大型船舶的舷梯旁上空，应安装一盏功率为300W的投光灯，以便于上下舷梯。

6)较大远洋船舶，在驾驶甲板或罗经平台上，应装一盏或两盏功率为300W的投光灯，以便照射烟囱上的标志。

7)油轮的前桅、首部和尾部，应装功率为300～500W的投光灯，以便照射天桥、起锚、抛锚和系缆工作。

8)拖船的驾驶甲板或救生艇甲板后部向船尾方向的左右舷，应装功率为300～500W的投光灯各一盏。

3.3 灯具的安装

1)灯具配件应齐全，无机械损伤、变形、油漆脱落等现象。

2)灯具的固定应符合下列要求：

(1)灯具安装应牢固，灯具重量超过3kg时，应固定在预埋的吊钩或螺栓上。

(2)荧光灯和高压水银荧光灯及其附件应配套使用，附件的安装位置应便于检查。当装在非耐火材料表面上时，应采取防火措施。

(3)固定灯具用螺钉或螺栓应不少于两个。

(4)采用钢管作灯具的吊杆时，钢管内径一般不小于10mm。

3)接灯线不应有中间接头和分支，其连接处应便于检修。

4)照明灯具为螺口灯头时，相线应接灯头的顶心，零线接螺口。

5)当灯具的金属外壳必须接地或接零时，应有接地螺栓与接地网连接。

6)明敷导线接入室外灯具时，应做防水弯头。灯具有可能进水者应打泄水眼。

7)各式灯具装在易燃结构部位或暗装在木制吊顶内时，在灯具周围应做好防火隔热处理。

8)吸顶灯具采用木制底台时，灯具与底台间应有隔热措施。

9)事故照明灯具应有特殊标志(与工作照明灯具型式不同时，可不作标志)。

10)安装在振动场所的灯具应有防振措施。如采用吊链方式，装用弹簧减震缓冲器，或在固定灯具处衬以橡皮垫。

11)携带式局部照明灯具的安装应符合下列要求：

(1)灯体及手柄应绝缘良好，坚固耐热，耐潮湿。

(2)灯头与灯体应结合紧固，灯头应无开关。

(3)灯泡外部应有金属保护网。

(4)金属网、反光罩及悬吊挂钩均应固定在灯具的绝缘部分上。

12)携带式局部照明灯具用的导线应采用橡胶套软缆，接地或接零线应在同一护套内。

13)固定在移动结构上的局部照明灯具，其敷线应符合下列要求：

(1)导线应采用铜芯软线，截面不小于$1mm^2$，绝缘等级不低于500V。

(2)导线应敷设在托架的内部。

(3)导线不应在托架的活动连接处受到应力及磨损。

14)投光灯的底座安装牢固,按需要的光轴方向及倾斜角度将枢轴拧紧固定。

15)金属卤化物灯的安装应符合下列要求:

(1)灯具安装高度宜在5m以上,电源线应接进线柱,并应尽量远离灯具表面。

(2)灯管应与触发器和限流器配套使用。

(3)安装卤钨灯时,要求目视水平,灯具不能在易燃材料上吸顶安装。

16)嵌入顶棚内的装饰灯具的安装应符合下列要求:

(1)灯具应固定在框架上,灯罩边框的边缘应和顶棚面紧贴,电源线不应贴近灯具外壳,接灯线长度要适当留有余量。

(2)矩形灯具的边缘应与顶棚面的装修直线平行。当灯具为对称安装时,其纵横中心轴线应在同一条直线上,其允许偏斜不应大于5mm。

(3)多支荧光灯管组合的开启式灯具,灯管的排列应整齐,灯内隔片或隔栅不应有弯曲、扭斜等缺陷。

17)固定花灯的吊钩,其圆钢直径应不小于灯具吊挂销钉的直径,且不得小于6mm。

18)安装在重要场所的大型灯具的玻璃罩,应有防止其碎裂后向下溅落的措施。

19)手术台无影灯的安装应符合下列要求:

(1)固定螺栓的数量应不少于灯具法兰盘上的固定孔数,且螺栓直径应与孔径配套。

(2)无影灯底座的固定必须采用双螺母螺栓。

20)灯具的安装配件和所有金属构件、支架,除已有镀锌或镀铬保护层外,均应刷红丹及油漆各一道;木台、木底板应刷调和漆。在有腐蚀性气体房间里,上述配件应刷防腐漆。

4 照明属具

4.1 简 介

船舶照明属具包括开关、插头、插座、接线盒、电键等,见表8.3.3—18。

表8.3.3—18 **照明属具简介**

序号	系列名称	主要规格	用途
1	PN型接线盒 CTN型密封插头 CZN型密封插座 CZKN型带开关插座 HN型密封开关	材料为尼龙1010或尼龙68,防水式 电压:36、250、380V 电流:10A 极数:2极、3极	用于船舶照明系统

续上表

序号	系列名称	主要规格	用途
2	DK1 型组合开关 DK4 型双线开关 DK6 型按钮 DK8 型附指示灯双线开关 DX2 型插头 DZ3 型插座 DH5 型四线接线盒	材料为钢,水密式 电压:220V 电流:10A 极数:2 极、3 极	用于船舶照明系统
3	HM 型门开关	电压:220、110、24V 电流:6、8、12A	用于船舶照明系统
4	VF 型电键	电压:220、110、24V 电流:1.5、3、12A	用于控制船舶上的莫尔斯信号灯

4.2 尼龙接线盒、插头、插座和开关

数据规格见表 8.3.3—19。

表 8.3.3—19 **尼龙接线盒、插头、插座和开关的规格数据**

名称	型号	额定电压(V)	极数
密封接线盒	PN4—1	380	双极
	PN4—2	380	双极
密封插头	CTN2—1	380	双极
	CTN2—2	380	双极,有接地销
	CTN2—3	36	双极,有导向销
	CTN3—1	380	三极
	CTN3—2	380	三极,有接地销
密封插座	CZN2—1	380	双极
	CZN2—2	380	双极,有接地孔
	CZN2—3	36	双极,和导向孔
	CZN3—1	380	三极
	CZN3—2	380	三极,有接地孔
带开关插座	CZKN2—2	380	双极,有接地孔
	CZKN2—3	36	双极,有导向孔
	CZKN3—2	380	三极,有接地孔
	CZKN2—4	380	双极,有接地孔
	CZKN2—5	36	双极,有导向孔
密封开关	HN2—2	380	双极
	HN3—1	380	双极
	HN3—2	380	双极

注:本表所列照明属具均为防水式,外壳材料采用尼龙 1010 或尼龙 68,额定电流均为 10A。

4.3 钢壳水密式接线盒、插头、插座、开关和按钮

规格数据见表 8.3.3—20。

表 8.3.3—20 钢壳水密式接线盒、插头、插座、开关和按钮的规格数据

型号	名称	电压(V)	电流(A)	极数	外壳材料
DK1—2/3	组合开关(带开关插座)	220	10	2 3	钢
DK4—2	双线开关	220	10	2	钢
DK6	按钮	220	10	2	钢
DK8	附指示灯双线开关	220	10	2	钢
DX2—2/3	插头	220	10	2 3	塑料
DZ3—2/3	插座	220	10	2 3	钢
DH5—4	四线接线盒	220	10	2、3、4	钢

注:1)DK4—2 型双线开关分下列几种:

(1)DK4—2 型—不带填料函,填料函自行安排;

(2)DK4—2B 型—带一个填料函;

(3)DK4—2C 型—带二个填料函,垂直布置;

(4)DK4—2D 型—带二个填料函,对边布置。

2)DH5—4 型四线接线盒分下列几种:

(1)DH5—4A 型—不带填料函,填料函自行安排;

(2)DH5—4D 型—带二个填料函;

(3)DH5—4E 型—带三个填料函;

(4)DH5—4F 型—带四个填料函。

5 照明系统图及布置图

5.1 照明电气图纸常用的图形符号

5.1.1 照明和信号认别灯图形符号

见表 8.3.3—21

5.1.2 照明属具图形符号

见表 8.3.3—22。

5.1.3 生活用电设备图形符号

见表 8.3.3—23。

表 8.3.3—21

照明和信号认别灯图形符号

名　称	图形符号	附　注	名　称	图形符号	附　注	名　称	图形符号	附　注	名　称	图形符号	附　注
左舷灯			探照灯		当光源为非白炽灯或低压电源时，可在一般符号内填入文字符号	双管荧光篷顶灯		防水式	镜前灯		
右舷灯			强光灯		当光源为非白炽灯时，可在一般符号内填入文字符号。如高压水银灯 G	双管荧光篷顶灯		防爆式	工作台灯		
桅　灯			篷顶灯		A 用数字 1、2、3、表示灯泡数	双管荧光篷顶灯		带应急灯防护式	手提灯		
尾　灯			舱顶灯			双管荧光篷顶灯		带应急灯防水式	水位表灯		
三色灯			应急舱顶灯			双管荧光篷顶灯		带应急灯防爆式	海图灯		
固定式信号灯		H—红色 L—绿色 B—白色 Z—紫色 M—锚灯	挂灯			三管荧光篷顶灯		防护式船名灯			
白色闪光灯		BS	防爆灯			三管荧光篷顶灯		防水式	门灯（名牌灯）		
红色闪光灯		HS	单管荧光篷顶灯		防护式	台灯			医疗灯		
绿色闪光灯		LS	单管荧光篷顶灯		防水式	壁灯		防护式	白炽灯泡		
船首灯			单管荧光篷顶灯		防爆式	壁灯		防水式	荧火灯管		
挂式信号灯			双管荧光篷顶灯		防护式	床头灯					

表 8.3.3—22

照明属具图形符号

名称	图形符号	名称	图形符号	名称	图形符号	名称	图形符号	名称	图形符号
单极转换开关（防护式）		单极双投开关（防爆式）		双极插座（防护式）		三极带开关有接地孔插座（防水式）		按钮盒(二按钮,防护式)	
单级转换开关（防水式）		双极双联开关（防护式）		双极插座（防水式）		带指示灯双极开关（防水式）		按钮盒（二按钮,防护式）	
单极转换开关（防爆式）		双极双联开关（防水式）		三极插座（防护式）		双极插头（防护式）		按钮盒(二按扭,防爆式)	
单极双联开关（防护式）		双极双投开关（防护式）		三极插座（防水式）		双极插头（防水式）		遥断按钮	
单极双联开关（防水式）		双极双投开关（防水式）		双极有接地孔插座(防护式)		双极带接地销插头(防护式)		接线盒（防护式）	
双极转换开关（防护式）		三极转换开关（防护式）		双极有接地孔插座(防护式)		双极带接地销插头(防护式)		接线盒（防护式）	
双极转换开关（防水式）		三极转换开关（防水式）		三极有接地孔插座(防护式)		三极插头（防护式）		接线盒（防爆式）	
双极转换开关（防爆式）		三极转换开关（防爆式）		三极有接地孔插座(防水式)		三极带接地销插头(防护式)		接线盒（带熔断器）	
单极双投开关（防护式）		三极双投开关（防护式）		双极有接地孔带开关插座（防水式）		三极带换地销插头(防水式)			
单极双投开关（防水式）		三极双投开关（防水式）		双极带开关插座(防水式)		按钮元件			

表 8.3.3－23　　**生活用电设备图形符号**

名　称	图形符号	名　称	图形符号
台式电风扇 （台壁二用）		电茶壶	DRH
顶式电风扇		电冰箱	DB
电灶	DZ	雨雪清除器	
电加热器	DJ	电视机	TV
电暖器	DN	洗衣机	WM
电热水桶	DR	空调机	AC

5.2　照明布置图及系统图

5.2.1　概述

1）设计照明系统馈电线路应注意的问题：

（1）照明馈电线路由分配电板引出。机炉舱、甲板探照灯、强光灯的照明分配电板的每一个独立分路的负载电流不应大于 15A，其它舱室及走道的照明分配电板的每一个独立分路的负载电流不应大于 10A，每一分路的照明点，必须符合下列规定数目：

①220V 回路不得超过 18 点；

②110V 回路不得超过 14 点；

③小于 110V 的回路不得超过 10 点。

容量 100W 及 100W 以上的电加热器应由照明分配电板设独立分路供电。

（2）电风扇应有独立馈电线路，不要与照明灯混在一路内。

（3）插座亦应用独立馈电线路，但分散布置的插座可由照明灯分路供电，如无线电室插座等。

（4）机炉舱照明、内外走道照明都应有独自馈电线路，不要与其它舱室照明混在一起。

(5)重要舱室、处所，如走道、出入口、扶梯、机舱、炉舱、轴隧、舵机舱以及客船上的公共场所与超过16人的客舱等外照明，至少应有两个独立的分路供电，并且灯点交错馈电。机炉舱照明最好能做到上下各层的灯具亦交错馈电，保证当一路不能供电时，另一路仍能供电给上述场所的必要照明。

(6)一般住舱内的照明亦应由两路供电，一路供顶灯，另一路供台灯、床头灯等。因此，一般几个舱室的顶灯接成一路，几个舱室的台灯、床头灯等接成另一路。

2)分配电板的选择和布置　根据照明系统馈电线路的分路原则，将全船照明灯进行分路，然后根据分路组合再选择照明分配电板的路数和块数。选择和布置分配电板时应注意：

(1)室外走道照明。机舱和炉舱照明，货舱插座往往由独立的分配电板供电，而不和其它舱室照明混杂在一块分配电板内。

电风扇也常有独立的分配电板。

(2)分配电板可放在负荷的中心，以缩短馈电线路长度。分配电板一般放置在走道内，并常做成嵌入式。货舱照明分配电板应放在起货桅室内。

(3)如一地区有两块及两块以上的分配电板，则可按左右舷或前后分区供电，即上块分配电板管左舷照明，一块分配电板管右舷照明；或一块管前部照明，一块管后部照明。这种供电方式是将分配电板分别布置在两舷走道内或前后走道内。

(4)每一分配电板最多不超过12路，并且每一分配电板尚须留有备用线路(1路至2路)。

3)布线　照明系统分路后，即可进行具体线路设计，具体线路的走向应考虑下列几点：

(1)主干线路应该与全船其它系统布线一同考虑。

(2)舱室内照明灯和开关，常在舱室内就近走线。

(3)篷顶灯内可以转接电缆，电源线可接至篷顶灯再转接至开关及其它灯具。

(4)舱顶灯常配用水密开关，电源线先接至开关再接至舱顶灯；水密开关内转接电缆不便，常用接线盒分路，接线盒应安装在走道内易检修的地方。

(5)水密插座不能转接电缆，亦需用接线盒进行分路。

4)电压降的计算　照明系统中所采用的供电电缆，电网电压为220V或110V时，从分配电板引出的线路，一概采用1mm² 截面的电缆，但分配电板的馈电电缆除从电缆载流量角度考虑进行选择外，还必须进行电压降的校核。

高压水银灯、超高压汞氙灯和超高压氙灯等光源，对电网电压波动要求较严，因此，这些灯的供电电缆的电压降不可太大，以免影响灯管点燃。

照明系统的电压降计算方法见船舶电网一章。

5.2.2　照明布置图

照明布置图应根据总布置图、机舱布置图等画出灯具和属具的相对安装位置，灯具和属具用符号代表，在图上还需列出灯具和属具的型号和简要规格。

布置图的画法常用的有二种，一种是将灯具和属具与全船其它电气设备综合布置在一张图上。这种画法只在每一灯具和属具旁标明所属分路代号(也可与其它电气设备分开，单画照明设备)。另一种是在图上不标明每一灯具和属具所属分路代号，而画出线路，线路只具有示意性质，如图8.3.3—17所示。

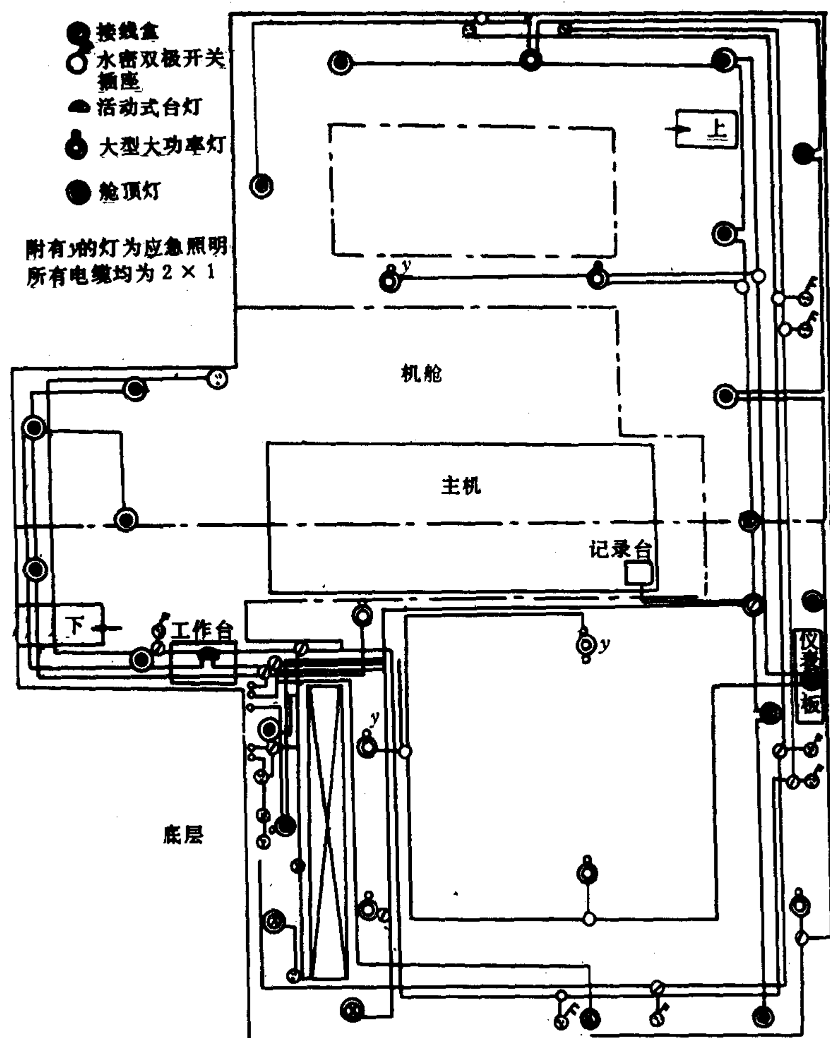


图 8.3.3—17 机舱照明布置图

5.2.3 照明系统图

照明系统图根据照明布置图绘制。以每一照明分配电板为单位，画出每一路的灯具、属具和线路，每一灯具应注明安装地点，电缆应注明型号及简要规格。如果一路所接灯具跨过二层以上甲板的，应将甲板注明，最好分甲板画出。在施工设计的图纸上，尚需标明灯具、属具和电缆的编号。

照明系统图举例如图 8.3.3—18 和图 8.3.3—19 所示。

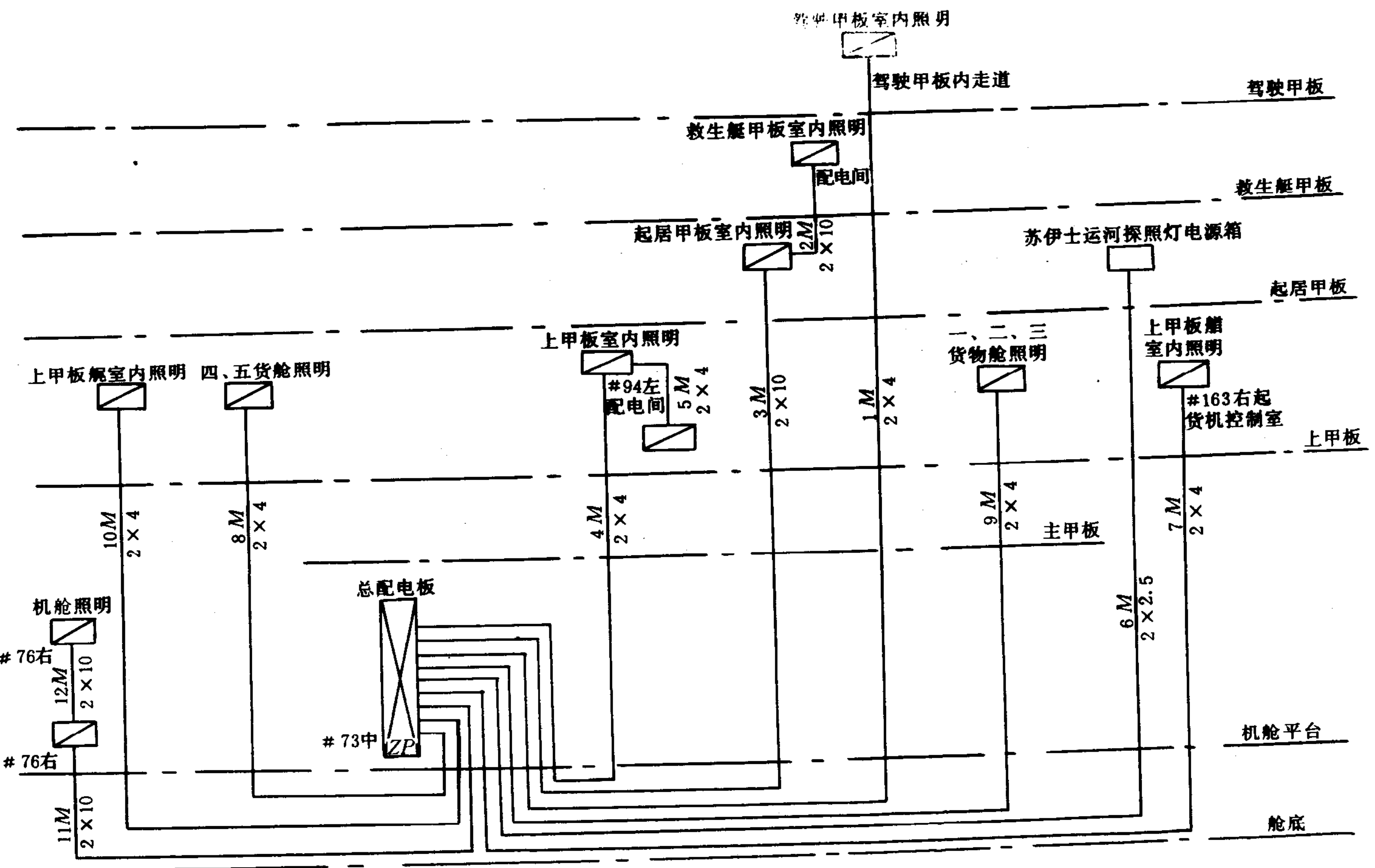


图 8.3.3—18 照明分配电板系统图

来自总配电板 3×4

MP

二管　机工　机工　机工　机工

大管轮　轮机长　三管　机工

CEF 31V-C　CEF 31V-C　CEF31V-C

厕所　CEF 31V-C

配电间　浴室　茶桶间　空调器室 LH　空调器室　更衣间　轮机长贮藏室　烘衣间　管弄

CEF 31 C　CEF 31V-C　CEF31V-C

二管　机工　机工　机工　电工

大管轮　轮机长　三管　机工

大管　轮机长　三管　机工　二管　机工　机工　机工　电工　更衣间

$37\frac{1}{2}$右　# $37\frac{1}{2}$左　# 28右　# 28左

内走道　$35\frac{1}{2}$　$37\frac{1}{2}$中　轮机长 DBX　# 36右内走道

备用

注：1. 未注电缆规格为CEF31 C型
2. 电缆截面为 2×1°
3. 高低压插座箱符号为 LH
4. 荧光走道角灯符号为

图 8.3.3—19　舱室照明系统图

6 日常用电设备

6.1 电热设备

常用电热设备见表 8.3.3—24。

表 8.3.3—24 **电 热 设 备**

分 类	名 称	型 号
厨房设备类	船用电灶	RZ 系列或 CZ 系列
	船用组合式电灶	RZZ
	电炒锅	RGC_2 或 CG_2
	可倾式电热汤锅	RGJ
	电煎锅	RG
	电烤炉	RGK
	电蒸气加热两用饭锅	RGZ
煮水器类	全自动电沸水器	RF
	自动电热茶桶	RT
	自动电热茶壶	RH
	电热温水炉	RGW
空气加热器类	电热风器	FRN
	电暖器	RNY RNG
	翅片电加热器	RXC
	空气电加热器	RK
	开关箱电加热器	RKH

6.1.1 电灶

1)用途:可用来炒菜、煮饭、烧汤、蒸馒头、包子、烤面包、糕点和其它食品。

2)性能规格及结构特点:见表 8.3.3—25。

表 8.3.3—25 **电灶性能规格及特点**

名 称	型 号	性 能 规 格	结 构 特 点	外形尺寸(mm)
船用灶	RZ—4	电压:220V 380V 50Hz 440V 60Hz 功率:4kW	由 2 只压力锅,1 只炒锅和烤锅组成,灶体为不锈钢板结构,体积小,结构紧凑,功率分两级加热	560×560×490 (长×宽×高)
船用灶	RZ—8	电压:380V 50Hz 440V 60Hz 功率:8kW	由 2 只煮锅与灶体组成,铸铜质加热饼加热	980×714×660 (长×宽×高)
船用灶	RZ—9	电压:380V 50Hz 440V 60Hz 功率:9kW	由 1 只炒锅、1 只煮锅和灶体组成,铸铜质加热饼加热	108×690×660 (长×宽×高)

续上表

名　称	型　号	性　能　规　格	结　构　特　点	外形尺寸(mm)
船用灶	RZ—18	电压:205—320V 220V 380V 50Hz 440V 60Hz 功率:18kW	由3只煮锅,1只炒锅和烤炉组成。加热分全功率、1/2、1/4功率三级控制加热	870×830×1072 (长×宽×高)
船用灶	RZ—32	电压:380V 50Hz 440V 60Hz 功率:32kW	由灶体,2炒锅,2煮锅,3烤炉和控制盒组成。功率分强、弱级控制加热	2044×864×1128 (长×宽×高)
船用灶	RZ—35	电压:380V 50Hz 440V 60Hz 功率:35kW	由灶体,2炒锅,4煮锅、2烤炉和控制盒组成。功率分强、弱控制加热	1559×1066×1142 (长×宽×高)
船用组合式电灶	RZZ	电压:380V 50Hz 440V 60Hz 功率:10～25kW	采用组合式结构,根据用户需要进行组合	1300×948×855 (长×宽×高)

6.1.2　电暖器

电暖器用于加热空气,以供室内取暖,其性能规格和结构特点见表8.3.3—26。

表8.3.3—26　**电暖器性能规格及结构特点**

名　称	型　号	性　能　规　格	结　构　特　点	外形尺寸(mm)
电热风扇	FRN—2	电压:220V 50～60Hz 功率:2kW	由罩壳、风扇和电加热器组成,以温控元件调节温升	
电热风扇	FRN—3	电压:220V 3φ220V、380V 50～60Hz 功率:3kW	由罩壳、风扇和电加热器组成,以温控元件调节温升	320×390×203 (长×宽×高)
固定式电暖器	RNG系列	电压:24V 110V 220V 380V 功率:0.5、1、1.5、2、3kW	以冲制多孔的薄钢板作外壳,内装数只U形管或S形管为发热元件组成	305×240×220 305×240×120 (长×宽×高)
移动式电暖器	RNY—3000	电压:170/110V 320/205V 380V 功率:3kW	以冲制多孔的薄钢板作外壳,内装数只U形管或S形管为发热元件组成	490×255×365 (长×宽×高)

6.1.3　电热水桶

电热水桶用于将水加热或至沸点,以供用水或饮水,其性能规格及结构特点见表8.3.3—27。

表 8.3.3—27　　电热水桶的性能规格及结构特点

名称	型号	性能规格	结构特点	外形尺寸(mm)
电热茶桶	RT—8	容量:8L 电压:110V 220V 320/205V 功率:1kW	单层铜板镀镍结构	330×215×380 (长×宽×高)
电热茶桶	RT—25	容量:25L 电压:110V 220V 320/205V 功率:3kW	单层铜板镀镍结构	425×310×485 (长×宽×高)
自动电热茶桶	RT—30B	容量:30L 电压:220V 3φ220V 380V 50Hz 440V 60Hz 功率:4.5kW 6kW	桶体单层不锈钢板结构,有恒温调节,失水保护装置	
自动电热茶桶	RT—40A	容量:40L 电压:220V 3φ220V 380V 50Hz 440V 60Hz 功率:4.5kW 6kW	桶体双层不锈钢板保温结构,有恒温调节,水温指示和失水保护装置	874×580 (高×直径)
自动电热茶桶	RT—40B	同上	桶体单层不锈钢板结构,有恒温调节,失水保护装置	747×580 (高×直径)

6.1.4 电茶壶

电茶壶用于将水加热至沸点,以供饮用,若壶内装有温度控制器,水沸后,能自动切断电源,当水温降到85℃左右时,又能自动接通电源,其性能规格及结构特点见表8.3.3—28。

表 8.3.3—28　　电茶壶的性能规格及结构特点

名称	型号	性能规格	结构特点	外形尺寸(mm)
电茶壶	RH—3	容量:3L 电压:110V 220V 320/205V 功率:0.7kW	将水加热至沸点,以供饮用	310×200×230 (长×宽×高)
电茶壶	RH—5	容量:5L 电压:110V 220V 320/205V 功率:1.2kW 1.5kW	将水加热至沸点,以供饮用	355×240×280 (长×宽×高)
自动电热茶壶	RH—5B	容量:5L 电压:110V 220V 功率:1.5kW 2kW	沸水自动断电,恒温调节	350×240×280 (长×宽×高)

6.2 其它生活用电设备

船舶上其它生活用电设备有电风扇、洗衣机、电冰箱、电视机、电动豆腐磨、厨房多用机(可把面粉加水进行搅拌,调和成浆状和稠状,以便做成面包或馒头;把切成块的食物和调味品一

起进行搅拌、调和；打蛋、将蛋搅拌、调和，以便做成蛋糕；将豆类谷物类磨成粉状；将肉类绞成糜状)等。

6.2.1 电风扇

1)品种 有台扇、壁扇、顶扇、排气扇等。顶扇和壁扇的最大特点是节省地面空间，在客厅、会议室挂放也很雅致大方；排气扇能将室内浑浊气体排到室外，如果制成吸排两用扇，还能将室外新鲜空气吸入室内。

2)分类：

按用电电源性质分类：有交流、直流及交直流两用电扇。

按电动机的型式分类：有单相交流罩极式、单相交流电容运转式、直流和交直流两用的串激整流子式的电扇。

按结构及使用特征分类：台扇、顶扇、壁扇、排气扇等。

按使用功能分类：带灯扇、摇头扇、阵风扇、定时控制扇等。

3)电风扇的规格，见表8.3.3—29。

表8.3.3—29 **各种电风扇的规格** (mm)

品种	规格(以风叶直径表示)
台扇	220 250 300 350 400
壁扇	250 300 350 400
顶扇	300 350 400
排气扇	200 250 300 350 400 500 600 750

4)电风扇常见故障分析与检修 电风扇常见故障及检修方法见表8.3.3—30。

表8.3.3—30 **电风扇常见故障及检修方法**

故障现象	产生原因	修理方法
通电后不转动	1)电源没有接通 2)电容器损坏 3)电抗器断路 4)定子绕组断路或烧坏 5)调速开关接触不良 6)定时开关损坏 7)电机轴承挡油污严重 8)轴承磨损定转子相擦	1)查电源保险丝插头及电源导线等是否断路并修复 2)更换同规格电容器 3)修复或更换电抗器 4)接通或更换绕组 5)修理或更换调速开关 6)修理或更换定时开关 7)清洗电机轴承档 8)更换同规格轴承
摇头失灵	1)摇头机构装配不良 2)摇头齿轮损坏 3)离合器弹簧片断裂 4)离合器上下齿不啮合或损坏 5)摇头拉线松动或损坏 6)齿箱杠杆松脱	1)重新装配摇头机构 2)更换齿轮 3)更换弹簧片 4)调整或更换离合器 5)调整夹紧装置或更换接拉线 6)调整杠杆位置

续上表

故障现象	产生原因	修理方法
电扇转动时响声异常	1)风叶止动螺钉松 2)有异物碰擦转子 3)风叶不平衡或变形 4)网罩固定不紧 5)轴承内径磨损,引起轴径向跳动 6)电机轴向移动过大	1)旋紧止动螺钉 2)清除异物 3)校正或更换风叶 4)固定网罩 5)更换轴承 6)轴上添加垫圈,调小轴移
电扇外壳带电	1)泄漏电流大 2)定子绕组绝缘老化,导线与外壳相碰 3)连接线或引出线破裂碰壳 4)电容器漏电	1)装好接地线 2)更换定子绕组 3)更换损坏处导线 4)更换电容器
电机温升过高	1)电机绕组短路 2)电机冷却风道堵塞 3)摇头部分卡死 4)绕组接线错误 5)调绕组时数据不准	1)更换电机绕组 2)清除风道堵塞物 3)修复摇头部分 4)改正接线 5)查清数据重新绕制
指示灯不亮或时亮时暗	1)指示灯脚松动 2)指示灯损坏 3)氖灯的电阻或指示灯电源的感应线圈损坏 4)灯座与电抗器引线脱落或接触不良	1)旋紧指示灯 2)更换 3)调电阻或感应线圈 4)整理重焊
调速失灵	1)调速开关触点接触不良 2)调速开关焊接不良 3)抽头绕组断线或短路	1)修复或更换调速开关 2)焊好接触不良处 3)更换电动机绕组
快档转速慢并带有嗡嗡声	1)电机装配不良,气隙不均匀 2)转子轴弯 3)电机绕组部分短路 4)转轴与轴承空隙过大	1)重新装配或调整气隙 2)校正转子 3)修复绕组短路部分或调换绕组 4)更换轴或轴承
通电后起动慢	1)电容量规格不对或金属膜电容器容量变小 2)定转子不同心 3)主副相绕组中有短路 4)转子铝条或端环断开	1)以合格电容器测试比较后进行调换 2)调整气隙使其均匀 3)修复故障或调绕组 4)检修或调新转子

6.2.2 洗衣机

1)洗衣机的分类:

按自动化程度分类:有普通洗衣机、半自动洗衣机、全自动洗衣机。

按结构原理分类:有波轮式洗衣机、滚筒式洗衣机、搅拌式洗衣机等。

2)洗衣机电气原理图:见图 8.3.3—20～图 8.3.3—22。

普通洗衣机,一般由定时器控制单相电容电动机。电动机转动,经皮带轮减速后带动波轮旋转,通过定时器控制电动机按规定时间运转,普通定时器,只能使洗衣机作正反方向旋转,如图 8.3.3—20 所示。为了使洗衣机能洗各种不同质的衣物,定时器上设置了强洗、中洗、弱洗等

方式，如图 8.3.3—22 所示，强、中、弱洗的变换可依靠洗衣机面板上琴键开关控制，使用时根据需要按下琴键开关就行。例如弱洗，是波轮先正转 3s，拨动水和衣物，然后静止 7s，衣物随水流惯性在水中飘动；接着波轮反向旋转 3s，这样连续不断循环下去，在选定的时间里完成洗涤过程。

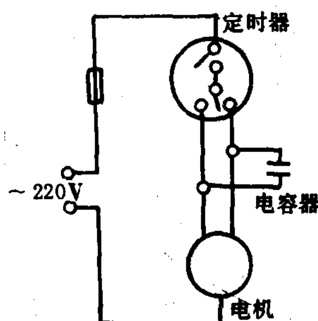


图 8.3.3—20　普通型洗衣机电气原理图

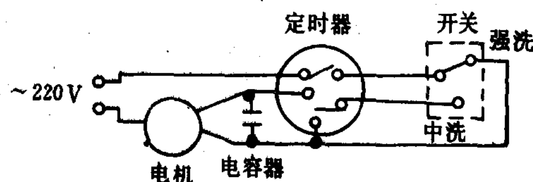


图 8.3.3—21　带强中洗洗衣机电气原理图

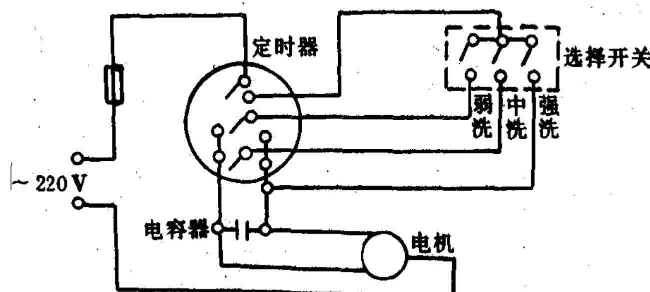


图 8.3.3—22　带强中弱洗洗衣机电气原理图

6.2.3　电冰箱

1)用途　电冰箱主要用于冷藏或冷冻食品、饮料、果菜以及制做少量的食用冰块。

2)分类　按制冷方式可分为电机压缩式、吸收式、电磁振荡式、半导体式、太阳能式等几种。欧洲一些国家，五十年代的电冰箱生产中，压缩式和吸收式冰箱并重；六十年代后，压缩式冰箱占绝对优势；目前国际市场上吸收式冰箱约占 5%，半导体式冰箱在日常生活中应用较少，但在某些场合却得到广泛应用和发展。

3)电机压缩式电冰箱的工作原理　压缩式电冰箱之所以能产生冷藏或冷冻所需的温度，是因为它内部装有制冷循环系统，如图 8.3.3—23 所示的五个主要部件组成。其循环过程：来自冷凝器 3 的常温高压制冷剂(氟利昂—12)液体，流经干燥过滤器 4，再通过毛细管 2 降低压力，温度也随着降低，然后，进入蒸发器 1 吸热，并急骤沸腾，变为低温低压制冷剂蒸气后，被压缩机 5 吸入，并压缩成高温高压制冷剂蒸气排入冷凝器，在冷凝器处放出由蒸发器吸收的热量和压缩机消耗外功所产生的热量后，变成常温高压制冷剂液体，又重新流经干燥过滤器、毛细管形成制冷循环。

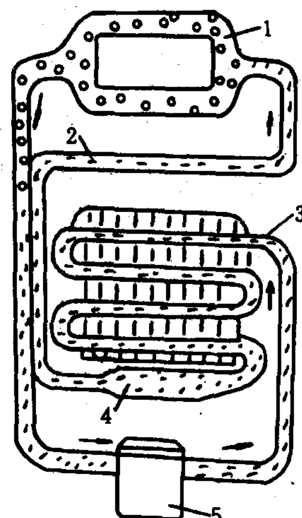


图 8.3.3—23　压缩式电冰箱制冷循环系统原理图

1—蒸发器；2—节流毛细管；3—冷凝器；4—干燥过滤器；5—压缩机

4)电机压缩式电冰箱控制系统　为了使电冰箱按照使用者的

要求，在所需的恒定平均温度下安全运转，箱内装有各种不同型式的电器控制装置：

（1）温度控制装置：其作用是在给定的使用环境温度（一般为15°～43℃）下，使箱内保持选定的平均温度，以满足冷藏和冷冻食品的要求。

（2）化霜控制装置：其作用是融化蒸发器上的积霜。电冰箱在正常运转过程中，当蒸发器表面温度低于箱内空气的露点温度时，空气中的水分将逐渐凝结在蒸发器的表面上，当蒸发器表面温度低于0℃时，则形成霜层，随着使用时间的加长，霜层将愈来愈厚，致使蒸发器的吸热效能减低。为了将霜层及时除掉，而采用了化霜控制装置。

（3）箱体门口外表面除露装置：其作用是通过提高箱体门口表面部位的温度，避免因结构上的原因（该部位隔热层偏薄）使表面温度低于露点温度，以致出现表面凝露现象。

（4）加热防冻装置：常用于"间冷式"（无霜气化式）双温双门电冰箱中。它装在蒸发器接水盘的底面、接水盘出水管的表面、风扇叶孔圈以及温感风门温度控制器体表面等部位，以防冻加热，确保正常工作。

（5）箱内风扇电机组件和照明灯：其作用是使箱内冷气按给定路线强制循环，以达到所需的冷冻和冷藏温度。

（6）制冷压缩机的起动和安全运转装置：其作用有二，一是按照制冷压缩机用电动机的起动特性，确保其正常起动；二是当出现某种不正常运转情况时，对制冷压缩机用电动机进行安全保护。

5）电机压缩式电冰箱的一般常见故障和排防方法，见表8.3.3—31。

表8.3.3—31　**电机压缩式电冰箱的一般常见故障和排除方法**

故障现象	原　因	排 除 方 法
1）通电后不运转或不能进入正常运转	（1）保险丝熔断	（1）按要求换保险丝
	（2）电源线有故障（插头接触不良或接线有松脱）	（2）修复或更换
	（3）温度控制器感温剂漏失，断路	（3）将温度控制器调温旋钮转至不停点或将接线端子短路接通，如果运转，则应更换温度控制器
	（4）过载保护继电器断路	（4）拆修或更换
	（5）启动继电器触点接触不良	（5）拆修打磨触点
	（6）起动继电器触点粘连	（6）拆修或更换
	（7）电源电压过低或过高	（7）用电压表测量电源电压是否在使用说明书所规定的范围内
	（8）压缩机卡死或电动机故障（绕组烧毁或内部接线脱落）	（8）拆修或更换
	（9）时间继电器，超热保险等自控元件损坏	（9）拆修或更换

续上表

故障现象	原因	排除方法
2)冷藏室内温度偏高	(1)蒸发器不降温或降温很慢原因如下： ①制冷剂漏失 ②充灌制冷剂过多或过少	(1)①找漏补焊后重新充入制冷剂 ②对充灌制冷剂量进行调整
	(2)温度控制器调温旋钮所调定位置不当	(2)将温度控制器调温旋钮旋转到温度较低位置
	(3)蒸发器表面结霜过厚(超过5mm)或结有冰层	(3)将霜或冰层化掉
	(4)开门过于频繁或开门时间过长	(4)减少开门次数和时间
	(5)箱内放入了温度较高的热食品	(5)应将热食品放凉到接近室温后再行放入
	(6)门封不严	(6)调平箱体，最好稍向后仰，检修门封条，使其密封
	(7)箱内照明灯不熄灭	(7)检修照明灯开关
	(8)蒸发器周期性不降温(原因是毛细管冻堵)	(8)放掉所充灌的制冷剂，烘干(200～250℃)分子筛过滤器重新抽空充灌制冷剂
	(9)压缩机制冷效能下降	(9)拆修压缩机
	(10)箱内搁架上所放食品过多过挤，堵塞了空气的对流	(10)减少所放食品，留出适当空隙
	(11)翅片管或蒸发器被冰霜堵塞	(11)按电路图检查化霜控制元件和风扇是否运转正常
	(12)冷藏室温感风门温度控制器失控，致使风门开不大	(12)拆修或更换
	(13)冷风循环风扇不转或运转不正常	(13)首先查找风扇电路故障，排除后，若仍然不正常运转，拆修风扇电机或更换
3)冷藏室温度偏低	(1)室温偏低，温度控制器调温旋钮所调控制温度偏低(较大数字对准标记)	(1)将调温旋钮调到温度较高位置(较小数字对准标记)
	(2)温度控制器调温旋钮调到了强冷点以后或不停点	(2)将调温旋钮调到强冷点—弱冷点间的任意所需位置
	(3)温度控制器触点粘连不停车	(3)应拆修或更换温度控制器
	(4)温度控制器感温管装卡松动不紧，造成接触不良，温感失控	(4)将感温管尾部卡紧
	(5)温度控制器失控，不停车	(5)检修或更换
	(6)温感风门温度控制器调温旋钮所调温度偏低	(6)将调温旋钮调到温度较高位置
4)双温双门冰箱冷冻室温度偏高	(1)制冷剂漏失	(1)找漏补焊，重新充入制冷剂
	(2)充灌制冷剂过多或过少	(2)对充灌制冷剂量进行调整
	(3)室温偏高且温度控制器调温旋钮所调温度偏高	(3)将温度控制器调温旋钮转到温度较低位置
	(4)开门过于频繁或开门时间过长	(4)减少开门次数和时间
	(5)门封不严	(5)检修门封条，使其密封严密
	(6)制冷压缩机制冷效能下降	(6)拆修制冷压缩机
	(7)翅片管或蒸发器被凝霜堵塞	(7)按电路图检查化霜控制元件和风扇是否运转正常
	(8)冷风循环风扇不运转或运转不正常	(8)首先查找风扇电路故障，若风扇仍不正常运转，拆修风扇部分
5)双门双温冰箱冷冻室温度偏低	与3)中(1)、(2)、(3)、(4)、(5)相同	与3)中(1)、(2)、(3)、(4)、(5)相同

续上表

故障现象	原　因	排　除　方　法
6)制冷压缩机连续运转不停车	(1)冰箱周围温度过高(42℃以上)或空气对流受阻 (2)门封不严 (3)制冷剂漏失 (4)充入制冷剂量过多过少 (5)毛细管被杂质污物堵塞 (6)箱内放入过多的温度较高的物品,或连续冻结大量冰块 (7)开门过于频繁或开门时间过长 (8)温度控制器调温旋钮调到了强冷点后的不停点 (9)温度控制器触点粘连 (10)温度控制器感温管装卡松动不紧 (11)温度控器失控 (12)箱壁或门壁热层中流入了较多的水甚至结成了冰 (13)制冷压缩机吸排气阀片被杂质异物垫起	(1)调换位置,改善周围温度和空气的对流情况 (2)检修门封条,使其密封严密 (3)找漏焊好后,抽空重新充入制冷剂 (4)调整充入制冷量 (5)更换毛细管 (6)适当减少放入的物品,并使其温度降到接近室温时再放入,减少冻冷量 (7)减少开门次数和时间 (8)按需要将旋钮调至强冷点和弱冷点之间 (9)拆修或更换温度控制器 (10)将感温管尾部卡紧 (11)拆修或更换 (12)对隔热层进行干燥除水 (13)拆修制冷压缩机
7)运转噪音过大	(1)若安放在地板上,地板松动 (2)箱体未调平 (3)管路间线与箱体相碰撞摩擦 (4)制冷压缩机减震胶垫压的过紧或老化变硬 (5)制冷压缩机内部噪音增大	(1)加固地板 (2)设法调平 (3)适当移动管路 (4)调松减震胶垫或更换新的柔软胶垫 (5)拆修或更换新的压缩机

参考文献

[1]　童显海　国外光源照明标准手册,轻工业标准化编辑出版委员会出版,1984年3月

[2]　赵振民　照明工程设计手册,天津科学技术出版社,1984年10月

[3]　袁继华　船舶电气安装与调试,国防工业出版社,1979年1月

[4]　虞国平　家用电器大全,轻工业出版社,1984年10月

[5]　上海航道局　船舶电工手册,上海人民出版社,1975年4月

[6]　中华人民共和国水科电力部和浙江省基本建设委员会 电气装置安装工程施工及验收规范,中国建筑工业出版社,1983年8月

[7]　708所《船舶科技简明手册》编写组　船舶科技简明手册,国防工业出版社,1977年3月

[8]　《船舶设计实用手册电气装置》编写组　船舶设计实用手册(电气装置),第五分册,国防工业出版社,1973年

第 4 章　电动机的控制

1 概　述

1.1 电力拖动的力学基础

电力拖动系统是由电动机和生产机械组成的机械运动系统。在这个系统中，有能量的转换以及能量、功率、转矩的传递。虽然机械运动有旋转运动、直线运动和其他复杂的运动形式，但它们都遵循着一个共同的规律，并且用相应的物理量来表示运动的特征。

1.1.1　力、距离和转矩

使质量 1kg 的物体，得到 $1m/s^2$ 加速度的力，称为 1 牛顿(N)。力、距离和转矩的关系见表 8.3.4—1。

表 8.3.4—1　**力、距离和转矩的关系**

物理量	表示符号	单位及其换算	关系式
力	f	$1N=1kg \cdot 1m/s^2=10^5dyn$ (达因)	$M=f \cdot l$
距离	l	1m=100cm=1000mm	
转矩	M	$1N \cdot M=1/9.8kgf \cdot m=10^7dyn \cdot cm$	

1.1.2　角度、速度、角速度和转速

角度、速度、角速度和转速的单位及其相互换算见表 8.3.4—2。

表 8.3.4—2　**角度、速度、角速度和转速的换算**

物理量	表示符号	单位及其换算	关系式
角度	θ	1 转=360°=2πrad(弧度)	$W=\frac{2\pi}{60} \cdot n$ rad/s 其中 n 为每分钟转
速度	υ	1m/min=1/60m/s	
角速度	W	1 rad/s	
转速	n	1r/min=2π/60 rad/s	

1.1.3　转动惯量和飞轮转矩

转动惯量是衡量旋转物体惯性大小的物理量。其定义为：

$$J=m\rho^2(kg \cdot m^2) \qquad (8.3.4—1)$$

式中：m ——转动物体的质量(kg)；

ρ ——转动物体对其实轴的回转半径，m。

在电力拖动计算中，往往以转动物体的重量 G 和回转直径 D 来表示：

$$\because \quad J=m\rho^2=G/g \cdot (D/2)^2$$

$$\therefore \quad GD^2=40Jg\ (N \cdot m^2)$$

式中：$g=9.81m/s^2$ ——重力加速度；

GD^2 ——飞轮转矩或飞轮惯量。

1.1.4 功率、转矩、动能和速度的关系

如果功的单位用焦耳(J)或牛顿·米(N·m)表示，其物理含义是一牛顿的力，使受力作用的物体在力的方向上位移一米的距离所做的功。在电工计量中，功或能量还可以用[千瓦·小时]来表示。其物理含义是以一千瓦的功率做功一小时所具有的能量。它们的换算关系为：

$$1J=\frac{1}{3.6}\times10^{-6}\quad kW\cdot h$$

在电力拖动中，电动机轴上的转矩M、机械功率P和角速度ω间有下列关系：

$$P=M\omega \tag{8.3.4—2}$$

若转速n为转/分，转矩ω为牛·米，角速度W为1/秒，则功率P为：

$$P=M\cdot\frac{2\pi}{60}\cdot n\cdot\frac{1}{1000}$$

$$=\frac{1}{9550}Mn(kw)$$

$$=\frac{1}{1000}Mw(kW)$$

反之，也可以作如下换算：

1kW=1000J/s=1.36PS

1kW=102kgf·m/s

1PS=736W=75kgf·m/s

1.2 电力拖动系统的运动平衡概念

在电力拖动系统中，电动机产生的原动力F或原动转矩M，用来克服负载阻力F_j或阻转矩M_j，且当F与F_j，或M与M_j相平衡时，拖动系统保持等速运动。

对于直线运动，当$F=F_j$时，v=常数，此时$\frac{dv}{dt}=0$。

对于旋转运动，当$M=M_j$时，W=常数，此时$\frac{dW}{dt}=0$。

处于以上运动状态，称为稳态。负载阻力F_j称为静阻力；静阻力产生的转矩M_j叫静转矩。当F与F_j，或M与M_j不平衡时，拖动系统的速度会随之变化。

若$F-F_j>0$或$M-M_j>0$时，则$\frac{dv}{dt}>0$及$\frac{dW}{dt}>0$，系统加速运动；

反之，若$F-F_j<0$或$M-M_j<0$时，则$\frac{dv}{dt}<0$及$\frac{dW}{dt}<0$，系统减速运动。

以上运动状态称为动态。这时的运动平衡方程式为：

$$\left.\begin{aligned}F-F_j&=m\frac{dv}{dt}\\M-M_j&=J\frac{dW}{dt}\end{aligned}\right\} \tag{8.3.4—3}$$

若以飞轮转矩GD^2和转速n来表示旋转运动的动态平衡方程式，则：

$$M-M_j=\frac{GD^2}{4g}\cdot\frac{2\pi}{60}\cdot\frac{dn}{dt}=\frac{GD^2}{375}\frac{d_n}{d_t}$$

由于电动机运行状态不同，负载类型有别，所以M与M_j的方向应随不同情况取不同符号。因此，动态平衡方程式可改写成一般表达式：

$$\pm M-(\pm)M_j=\frac{GD^2}{375}\frac{dn}{dt} \tag{8.3.4—4}$$

式中，M 与系统运动方向（n 的方向）一致时，是原动转矩，取“＋”号；反之，是制动转矩，取“－”号。与此相应，M_j 的方向与 n 相反时，定为“＋”号，并认为是制动转矩；相同时定为“－”号，起原动转矩的作用。

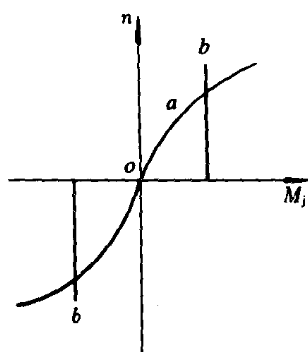


图 8.3.4—1　反应转矩特性曲线

1.2.2　负载转矩的种类

(1)按力学性质分

负载转矩按力学性质可分为反应转矩和位能转矩。

反应转矩的特点是永远对运动起阻碍作用，它的方向总是与运动方向相反，并随运动方向变化而改变。如摩擦作用所形成的静转矩即为反应转矩。图 8.3.4—1 中的曲线 a 为随速度而变化的反应转矩，曲线 b 为恒定的反应转矩。

位能转矩的特点是方向恒定。与运动方向无关。如由物体重力和弹性物体压缩、拉伸等作用所形成的转矩。这种转矩有时阻碍系统运动，有时促进系统运动。图 8.3.4—2a）为特性曲线；图 b）中，M 与运动方向相同，取“＋”号，M_j 与运动方向相反，也取“＋”号，表示电动机作为原动转矩提升；图 c）中，M 与运动方向相反，取“－”号，M_j 与运动方向相同，也取“－”号，表示电动机制动下放重物。

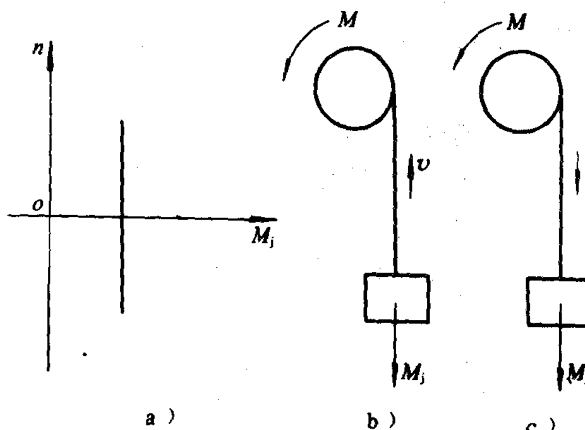


图 8.3.4—2　位能负载特性

a)转矩特性曲线；b)、c)转矩方向与运动方向

(2)按负载特性性质分

按负载特性可分为恒转矩性负载、恒功率性负载及通风机性负载。

恒转矩性负载是指负载转矩 M_j 的大小与转速 n 无关而保持恒值，如图 8.3.4—1 中的曲线 b 和图 8.3.4—2 的特性曲线。

通风机性负载的特性曲线如图 8.3.4—3a）所示。转矩 M_j 的大小和方向均与转速 n 有关，且近似与 n^2 成正比。n 正向时，M_j 具有反抗性为正，曲线位于第 I 象限，相反则位于第 III 象限。鼓风机、泵及螺旋桨等属于这类负载。

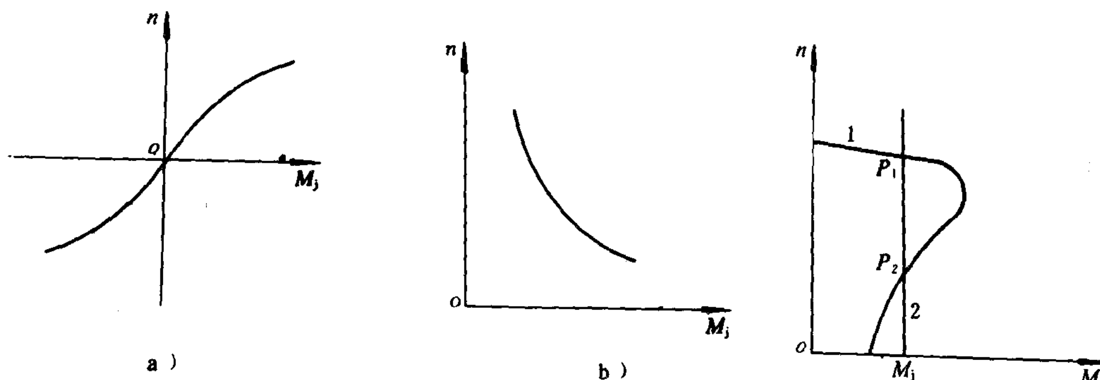


图 8.3.4—3　负载特性性质

a)通风机性负载特性曲线；b)恒功率性负载特性曲线

图 8.3.4—4　电动机的稳定运行点

恒功率性负载的转矩 M_j 的大小与转速 n 成反比例变化，如图 8.3.4—3b)所示。车床属于此种性质的负载。

1.2.3 拖动系统的稳定运行条件

电力拖动系统稳定运行的充要条件是电动机的机械特性与负载转矩特性具有交点，且具有抗干抗能力。在图 8.3.4—4 中，电动机机械特性曲线 1 与负载转矩特性曲线 2 具有两个交点 P_1 与 P_2。显然，P_1 满足上述稳定运行充要条件。在此处，$M=M_j$，且机械特性下斜，当扰动作用下系统转速大于 P_1 点所对应的转速时，$M<M_j$；而在小于 P_1 点所对应的转速时，$M>M_j$。当扰动消除以后，系统具有恢复到原来稳定运行点的能力。但在 P_2 点，虽然 $M=M_j$，但由于在此处机械特性上翘，当在扰动作用下，系统转速大于 P_2 点所对应的转速时，$M>M_j$；而小于 P_2 点所对应的转速时，$M<M_j$，即使扰动消除以后，系统没有能力恢复到原来转速。所以 P_2 点不是真正的稳定运行点。

1.3 电动机调速的基本概念

电动机的调速，是指电动机的转速调节，也叫转速控制，在电力拖动系统中，靠人为或自动地改变电动机的转速，以满足生产机械对不同转速的要求称为调速。

1.3.1 分类

1)无级调速与有级调速

无级调速又称连续调速。指电动机的转速可以平滑调节，在调速范围内可以获得任意速度，转速变化均匀，容易实现调速自动化。

有级调速又称间断调速或分级调速。指电动机转速只能实现有限几种转速的调节，转速变化是间断的。

2)恒转矩调速与恒功率调速

当调节电动机转速时，电动机输出电磁转矩恒定，不随转速的变化而改变，称为恒转矩调速，适用于恒转矩性负载的生产机械，当调节电动机转速时，其输出的电磁转矩随转速的升高而减小，但输出的电磁功率保持基本恒定，称为恒功率调速，适用于恒功率性负载的生产机械。

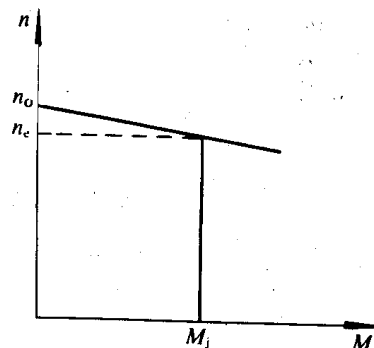


图 8.3.4—5 电动机的转速变化率

1.3.2 调速的性能指标

1)调速范围

电动机在额定负载下所能达到的最高转速 n_{max} 与最低转速 n_{min} 之比，称调速范围，也称调速比：

$$D=\frac{n_{max}}{n_{min}} \tag{8.3.4—5}$$

2)调速的稳定性(静差率)

稳定运行的电动机，当负载转矩发生变化时，电动机转速也会随之变化。衡量这种变化程度的性能指标称为稳定性，又称转速变化率，即：

$$\delta\%=\frac{n_0-n_e}{n_0}\times100\% \tag{8.3.4—6}$$

式中：n_0——理想空载转速，r/min；

n_e——电动机在某一负载下的实际转速，r/min；

Δn——转速降，r/min。

从图 8.3.4—5 中可以看出，电动机的机械特性越平直，转速变化越小，静差率越小，稳定性越好。

3)调速的平滑性

调速的平滑程度用平滑系数 φ 来衡量。它是相邻两级转速之比，若某任意一级转速为 n_i，相邻一级转速为 n_{i-1}，则：

$$\varphi=\frac{n_i}{n_{i-1}} \qquad (8.3.4—7)$$

在允许调速范围内，调速的级数越多，平滑性越好。当 $\varphi=1$ 时，则称为无级调速，转速在调速范围内连续可调。

4)调速的经济性

选择调速方案时，应在考虑满足生产机械对调速基本要求的前提下，对系统的初始投资、能量损耗以及运行效率等经济指标进行评价。

1.4 电动机的控制及其分类

现代的船舶电力拖动系统，均具有较高的自动化程度。对电动机的控制，操作人员不必参于控制的整个过程，而只需发出始动指令和对运行过程进行自动检测和监视，从而提高了控制的准确性、可靠性和快速性，进而提高了生产效率，改善了劳动强度。

电动机的自动控制一般有以下几种方式：

1.4.1 电动机的起动、制动和反转控制

这种控制可用继电器、接触器等触点电器来完成，也可由其它自动化调速装置来实现。

1.4.2 电动机的速度或其它参数的自动控制

如果用继电器、接触器等触点电器来完成速度或其它参数的调节，属于断续控制；如果用自动化装置来实现速度和其它参数的调节与控制，一般属于连续控制。其中带反馈的控制系统称为闭环控制，不带反馈的称为开环控制。

1.4.3 电动机的各种保护

1)短路保护：对于 500V 以下的低压电动机，一般采用熔断器和自动开关的电磁瞬时脱扣进行保护。熔丝的选择方法见表 8.3.4—3

2)过载保护：由于电动机起动时间过长，或负载发生突变，或供电电压过低，以及由于事故性过载，都会造成电动机过载。为防止电动机因过载而损坏，常用热继电器进行过载保护；瞬时过流采用过电流继电器进行过流保护。它们的线圈或发热元件根据不同情况分别接入电动机主电路。其详细原理图见电动机的起动与调速部分。

表 8.3.4—3　**交流电动机短路保护的熔丝选择**

电动机运行方式	熔丝额定电流 I_{re}与电动机额定电流 I_{De}
单台电动机直接起动	$I_{re}\geqslant 2\sim 3.5I_{De}$
多台电动机并联运行	$I_{re}\geqslant 2\sim 3I_{De}$（最大一台电动机）
绕线式异步电动机	$I_{re}\geqslant 1.25I_{De}$
降压起动的鼠笼电动机	$I_{re}\geqslant 1.5\sim 2I_{De}$

注：异步电动机又称感应电动机，绕线式又称滑环式。

3)失压、欠压保护：为了防止交流异步电动机在过低的电压下运行而烧坏的保护装置。交

流接触器、降压起动器或自动开关上的失压电磁机构等均能完成这种保护，并能防止电压恢复时电动机自行起动。

4)直流电动机的零励磁保护：在他励或并励直流电动机的励磁回路串接一个延时动作的直流电流继电器，防止电动机在磁场过弱或断磁的情况下起动或继续运行，以避免电动机电枢电流过大而损坏电机。

5)电动机正反转电气连锁保护：利用正反转接触器的常闭辅助触点串入相应的控制回路，防止可逆运行的电动机因误操作而使电源短路。

1.4.4 电动机的随动控制

船用雷达、自动舵等电动机拖动系统都必须进行自动跟踪控制，故称随动控制。这种控制一般属于闭环控制。

1.4.5 电动机的程序控制

根据生产机械单个或多个电动机的运行规律的要求，预先设定控制程序，对电动机实现过程控制。这种控制方式往往通过微型计算机或微处理器来实现。

1.4.6 电动机的最优与自适应控制

对于各项性能指标要求很高的电动机控制系统，尤其是多变量时变系统或非线性系统，往往要求进行多变量状态反馈控制或随机控制，这种控制往往借助于计算机来实现。

2 机 械 特 性

2.1 转矩—转速特性的概念

转矩M与转速n两个物理量之间的函数关系称为转矩—转速特性，通常被称作机械特性，可以表示成n=f(M)。它是电动机拖动控制系统中的重要性能特征之一。

2.1.1 电动机的机械特性

电动机的转速与转矩的关系n=f(M)称为电动机的机械特性。在图8.3.4—6a)中，曲线1～4表示不同类型的电动机的机械特性曲线。

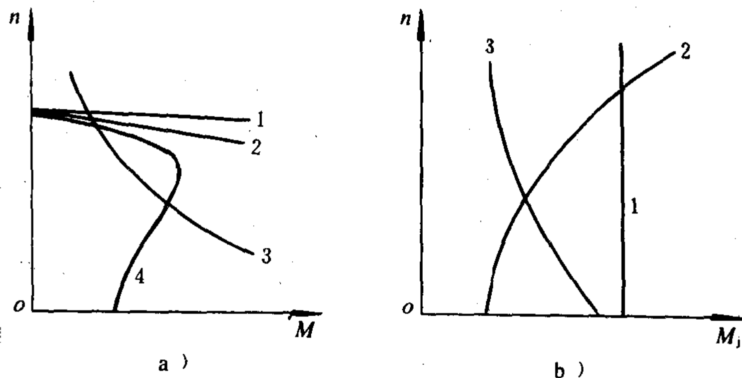


图8.3.4—6 机械特性曲线

a)电动机的机械特性曲线；b)生产机械的特性曲线

转矩变化量dM与所引起的转速变化量dn的比值，称为机械特性硬度，用β表示。即：

$$\beta=\frac{dM}{dn}\approx\frac{\Delta M}{\Delta n}\% \quad (8.3.4—8)$$

根据β值的不同，电动机的机械特性大致可分为三类：

①β→∞的机械特性称为绝对硬特性。说明M的变化可近似认为不引起n的变化。

②10<β<∞的机械特性称为硬特性。表示转矩变化10%时，转速变化不超过1%。

③β<10的机械特性称为软特性。表示转矩变化10%，转速变化大于1%。

2.1.2 生产机械的机械特性

生产机械的转速 n 与它的静转矩 M_j 的关系 $n=f(M_j)$ 称为生产机械的机械特性。图 8.3.4—6b)表示一些生产机械的机械特性。曲线 1 为位能负载特性；曲线 2 为通风机负载特性；曲线 3 为某些摩擦性负载的特性。由此可知，只有当生产机械的机械特性配以适当的电动机机械特性时，才能获得经济的运行效果和良好的调速性能。

2.2 直流电动机的机械特性

直流电动机在稳定运行时，具有以下基本关系式：

电压平衡方程式 $V=E+I_s r_s$，V

电枢绕组感应电势(反电势) $E=C_e\Phi n$，V

电动机电磁转矩 $M=C_m\Phi I$，N·m

式中：R_s ——电枢电阻，Ω；

V ——电动机电枢端电压，V；

I_s ——电动机电枢电流，A；

n ——电动机转速，r/min；

Φ ——电动机磁场磁通，Wb；

C_e，C_M——电动机结构系数，(Ce/Cm=0.105)。

根据上式可以得到直流电动机机械特性的一般表达式：

$$\left.\begin{aligned} n&=\frac{V}{C_e\Phi}-\frac{R_s}{C_e\Phi}I_s \\ \text{或 } n&=\frac{V}{C_e\Phi}-\frac{R_s}{C_eC_M\Phi^2}M \end{aligned}\right\} \quad (8.3.4\text{—}9)$$

2.2.1 直流他励电动机的机械特性

直流他励电动机原理线路如图 8.3.4—7a)所示。它的励磁绕组由专门的直流电源供电。在磁通 Φ 保持恒定时，电枢电流 I 与电磁转矩 M 成正比。式(8.3.4—9)代表了他励直流电动机的机械特性方程式。机械特性曲线见图 8.3.4—7b)。

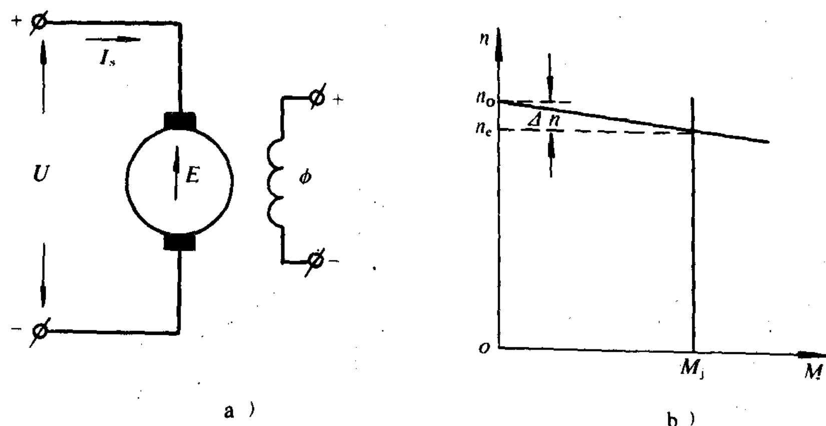


图 8.3.4—7 直流他励电动机电气原理与机械特性

a)电气原理图；b)机械特性曲线

在电动机理想空载情况下，I=0 或 $M_j=0$，这时 $n_0=\frac{V}{C_e\Phi}$ 称为理想空载转速，其大小仅决定于 V 与 Φ。$\Delta n=\frac{r_D}{C_eC_M\Phi}\cdot M$ 称为转速降。当 M 从零逐渐增加时，Δn 成比例增加，转速 n 成

比例下降，机械特性是一条由线性方程表示的倾斜直线，可改写成 $n=n_0-\Delta n$。

2.2.2　直流串励电动机的机械特性

串励直流电动机的最大特点是励磁绕组与电枢绕组串联，磁通 Φ 随电枢电流 I 按磁化曲线变化，其接线如图 8.3.4—8a)所示。机械特性方程式可根据式(8.3.4—9)修正后得出：

$$n=\frac{V}{C_e\Phi}-\frac{R}{C_e\Phi}I_s \qquad (8.3.4—10)$$

$$R=r_s+r_c+R_f$$

式中：r_c —— 串励绕组电阻，Ω；

R_f —— 电枢回路附加电阻，Ω。

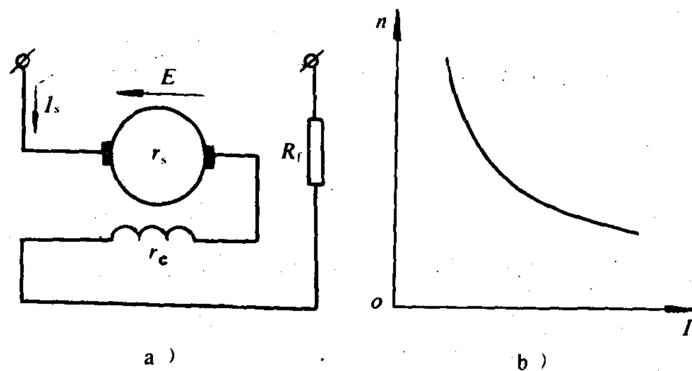


图 8.3.4—8　直流串励电动机接线与特性

a)接线原理图；b)机械特性曲线

当磁路尚未饱和时，可以近似认为 Φ 正比于 I_s，所以空载时，$M_j\to0$，$I\to0$，$\Phi\to0$，$n\to\infty$，说明串激直流电动机不存在理想空载转速。当 M_j 逐渐增大，电枢电流 I 逐渐增大，磁通 Φ 逐渐增大，并趋于饱和，机械特性随着转速 n 的下降而变硬。如图 8.3.4—8b)所示。

2.2.3　直流复励电动机的机械特性

复激直流电动机由于具有他励和串励两个励磁绕组(两绕组磁势作用方向一致为加复励相反为差复励)因此，机械特性介于以上两种电动机特性之间。

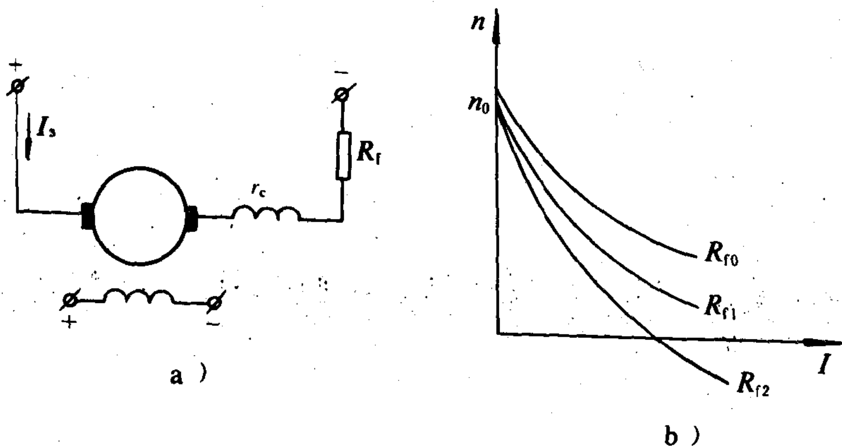


图 8.3.4—9　直流复励电动机接线与特性

a)接线原理图；b)机械特性曲线

从图 8.3.4—9a)的接线和 b)的机械特性曲线，可归纳如下特点：

①机械特性曲线形状因串励磁通所占比重不同而不同，串励比重大则特性软。一般占总磁通的 30%。

②存在相应的理想空载转速 n。

③电枢回路串入电阻愈多，特性愈软并且下移。

2.3 三相交流异步电动机的机械特性

根据三相交流异步电动机等效电路折算和简化，并考虑到电动机的电磁转矩 M 与转子电流 I_2 不成比例，所以异步电动机的机械特性用电磁转矩 M 和转差率 S 来表示。工程中常用的近似机械特性方程式为：

$$M=\frac{2M_k}{\frac{S}{S_k}+\frac{S_K}{S}} \qquad (8.3.4—11)$$

式中：$M_k=\frac{3V_1^2}{2\times 9.81 w_1 x'_{20}}$——电动机最大转矩，N·m；

$S=1-\frac{n}{n_0}$ ——转子转差率；

$S_k=v'_2/x'_{20}$——临界转差率；

V_1 ——电动机定子相电压，V；

$\omega_1=\frac{2\pi}{60}\cdot n=\frac{2\pi f_1}{P}$

ω_1 ——电动机同步角速度，rad/s；

f_1 ——电子电流频率，Hz；

P ——磁极对数；

n_0 ——旋转磁场同步转速，(r/min)；

n ——电动机转子转速；(r/min)；

$r'_2x'_{20}$ ——电动机转子静止对折算到定子侧的每相电阻与漏感抗，Ω。

由式(8.3.4—11)查阅电机产品目录，就可以绘制 M—S 曲线。

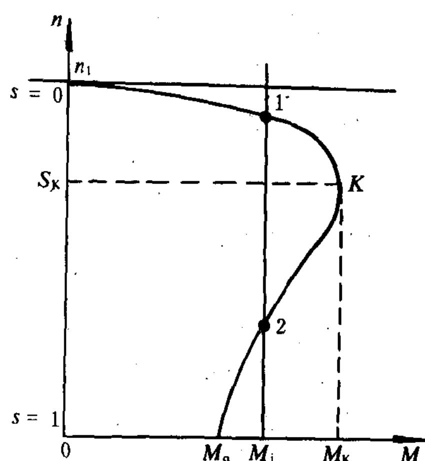


图 8.3.4—10 交流异步电动机机械特性

产品目录中给出的 λ_m，其定义为：

$$\lambda_m=\frac{M_k}{M_e}$$

而额定转矩 $M_e=9550\frac{P_e}{n_e}$，可以由额定功率 P_e 求出，因此可以求得 M_k。同时，从式(8.3.4—11)可得：

$$S_k=S_e(\lambda_m+\sqrt{\lambda_m^2-1}) \qquad (8.3.4—12)$$

在计算出 M_k、S_k 以后，即可绘制 M—S 曲线，如图 8.3.4—10 所示。由机械特性可以归纳如下特点：

①机械特性被临界转差率 S_k 分成两段，其中 S=0 至 $S=S_k$ 为稳定工作段，S>Sk 时电动机无稳定工作点。

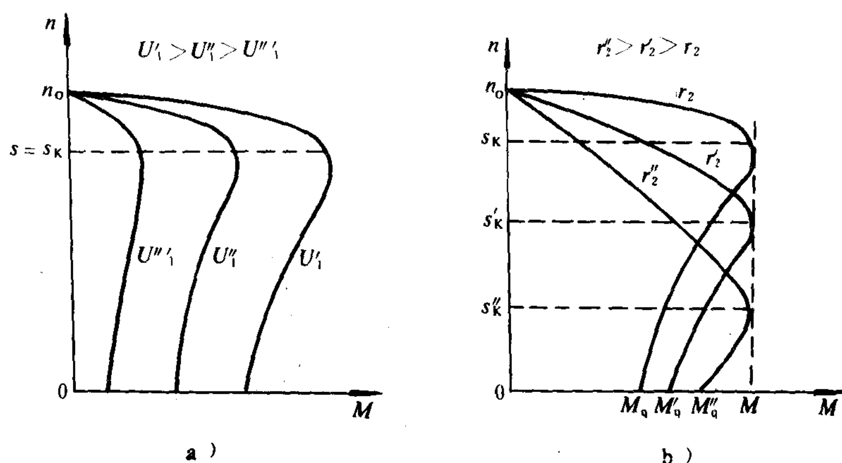


图 8.3.4—11　交流异步电动机不同参数下的机械特性

a)不同 U_1 时的机械特性；b)不同 r_2 时的机械特性

②当电网频率 f_1 和电机其它参数不变时，起动转矩 M_q，最大转矩 M_k 与电动机定子相电压 U_1 的平方成正比，而 S_k 与 U_1 无关，如图 8.3.4—11a)所示。

③对于绕线式异步电动机，当 f_1、V_1 不变时，增加转子相电阻 r_2 的阻值，则 M_k 与 r_2 无关，而 S_k 随 r_2 成正比例增加，如图 8.3.4—11b)所示。

3　控制线路的组成

3.1　控制线路的图示

拖动控制电路都是由各类电气元件组成的。根据颁布的国家标准，这些电气元件的图形符号和文字符号摘入表 8.3.4—4。

说明：

①表中，开关和继电器等触点的图形符号是指该电器处于无电压、无外力作用的正常状态。

②继电器的触点图形符号在图中垂直放置时，动触点在静触点左侧时为常开，在右侧为常闭。

表 8.3.4—4　**常用电气元件符号**

编　号	名　称	图　形　符　号	文　字　符　号
1	直　流　电	——	
2	交　流　电	～	
3	相数 m 频率 f 的交流电	m ～ f	
4	交直流电	≂	
5	正　极	+	

续上表

编　号	名　称	图　形　符　号	文　字　符　号
6	负　　极	—	
7	交流相序	∼	A、B、C
8	星形连接的三相绕组		
9	有中性点引出线的星形连接三相绕组		
10	三角形连接的三相绕组	△	
11	电气连接	或	
12	可拆卸的电气连接,如端子		
13	接　　地		
14	接　外　壳		
15	外壳接地		
16	不连接的跨越导线或母线		
17	互相连接的导线或母线		
18	固定电阻		R
19	有抽头的固定电阻		放电电阻 FDR 起动电阻 QR 制动电阻 ZDR 调速电阻 TSR
20	可调电阻		
21	电　位　器		W
22	电感线圈		L
23	有铁心的电感线圈		
24	电　抗　器		K

续上表

编号	名称	图形符号	文字符号
25	有铁心的单相双绕组变压器		变压器 B 照明变压器 ZB 降压变压器 JYB 整流变压器 ZLB
26	有铁心的三相双绕组变压器		
27	有铁心的单相自耦变压器		ZOB
28	单次级绕组电流互感器		LH
29	旋转电机的绕组 1)换向绕组 2)补偿绕组 3)交流电机定子绕组或直流电机励磁绕组,用四个半圆表示并励绕组		
30	三相鼠笼异步电动机		电动机 D 交流电动机 JLD 鼠笼电动机 LD 滑环电动机 HD
31	三相滑环异步电动机		
32	定子绕组能换接成两种极数的双速电动机从星形换成双星形		
33	定子绕组能换接成两种极数的双速电动机从三角形换成双星形		

续上表

编 号	名 称	图形符号	文字符号
34	他励式直流电机		直流电动机 ZLD 并励绕组 BQ 串励绕组 CQ 他励绕组 TQ 换向绕组 HXQ 补偿绕组 BCQ
35	串励式直流电机		
36	并励式直流电机		
37	交磁放大机，有一个控制绕组（如有一个以上的控制绕组应增加相应绕组数）		
38	单极开关		
39	开关和转换开关触点动 合（常开） 动断（常闭） 切换触点（常开常闭）		转换开关 HK
40	三极开关		刀开关 DK
41	三极自动开关		ZK
42	与工作机械连动的开关（如极限开关、微动开关、连锁开关等） 动合（常开）触点 动断（常闭）触点		行程开关 CK 微动开关 WK 限位开关 XWK

续上表

编号	名称	图形符号	文字符号
43	按钮 常开触点 常闭触点 复合按钮		AN 起动按钮 QA 停止按钮 TA
44	接触器 线圈 常开触点 常闭触点 带灭弧装置的常开触点 带灭弧装置的常闭触点		C 直流接触器 ZLC 交流接触器 JLC 正转接触器 ZC 反转接触器 FC
45	继电器 线圈 常开触点 常闭触点		J 中间继电器 ZJ 电压继电器 YJ 电流继电器 LJ 连锁继电器 LSJ
46	时间继电器 线圈 缓吸线圈 缓放线圈 瞬动常开触点 瞬动常闭触点 延时闭合的常开触点 延时断开的常开触点 延时闭合的常闭触点 延时断开的常闭触点	5J	

续上表

编号	名称	图形符号	文字符号
SJ47	双线圈 交流线圈 电流线圈 过电流继电器线圈 欠压继电器线圈		
48	速度继电器		SDJ
49	压力继电器		YLJ
50	熔断器		RD
51	照明灯		ZD
52	指示灯		ZSD
53	热继电器 热元件 常闭触点		RJ
54	电磁铁 三相电磁铁		DT
55	电磁离合器		CLH
56	电磁吸盘		DX
57	接插器		CQ
58	半导体二极管		硒整流器XZ 硅整流器GZ
59	晶闸管整流器		
60	电铃		DL

续上表

编　号	名　称	图　形　符　号	文　字　符　号
61	电　喇　叭		LB
62	电　警　笛		JD
63	磁放大器工作绕组 磁放器控制绕组		
64	控制器或操作开关		O—代表零位 Q—向前 H—向后 Z—自动 S—手动 ●—接通

3.2　控制线路的分类

电气控制线路一般分为两大类:

主电路:主要以电动机的供电电路为主构成的大功率传输电路。在电气原理图中,常以粗实线连接电气元件。

控制电路:又称为辅助电路。它是由连线、触点、指示测量元件、操作指令电器等各种电气自动化元件组成的信号传递电路。主要用于自动控制过程监视、检测、主令信息和各种电信号的传递,完成不同功能的控制任务。如各种保护电路;起动、制动、调速电路;测量指示电路等。这些电路的连线常以细实线表示。

3.3　绘制控制线路的基本规则

电气控制线路一般用两种图表示。一种是电气原理图,也称展开图,用这种图来说明各种电器及元件的电气连接关系和线路的工作原理。而另一种安装图则表示各元件的实际安装位置和实际布线、接线情况,安装图包括控制柜的盘面布置、前后接线及电线、电缆布线。

绘制电气原理图的规则如下:

①各种电气设备、电器及其它电气元件都必须根据颁布的国家标准,按规定的图形符号和文字符号表示。参阅表 8.3.4—4。

②电气原理图中所表示的电器动作状态,应是电器未受外力作用的状态。例如继电器、接触器的触点为线圈未通电时的状态,控制器为手柄处于 0 位时的状态。

③同一电器的各部件(如同一继电器的线圈与触点)用同一文字符号表示。同类型的数个电器在同一电路中用相同的文字标记,并冠以不同的数字标号以示区别,如同一类型的两个时间继电器应标以 1SJ、2SJ。

④控制电路电源线垂直画在两侧,并联的各线路画在其间,上下次序的排列,尽量符合动

作顺序。

⑤每个线路的接点应进行编号。编号规则是以一个串联线路中电压降最大的元件为中心，左侧用单号，右侧用双号，号码自小号排起，每经一个元件变一个号码。

⑥大电流线路图用粗实线表示，小电流线路用细实线表示。

安装图的作图规则是：

①板面布置图应根据图纸比例，以电器、元件的实际几何尺寸表示其布置与安装位置。如图 8.3.4—12b)所示。

②安装接线图应在图中画出各电器所在的位置，标明线路的走向与实际接法，并标明导线的牌号、规格。如图 8.3.4—12a)所示。

③安装图中的电器、元件的文字符号和编号应与原理图一致。

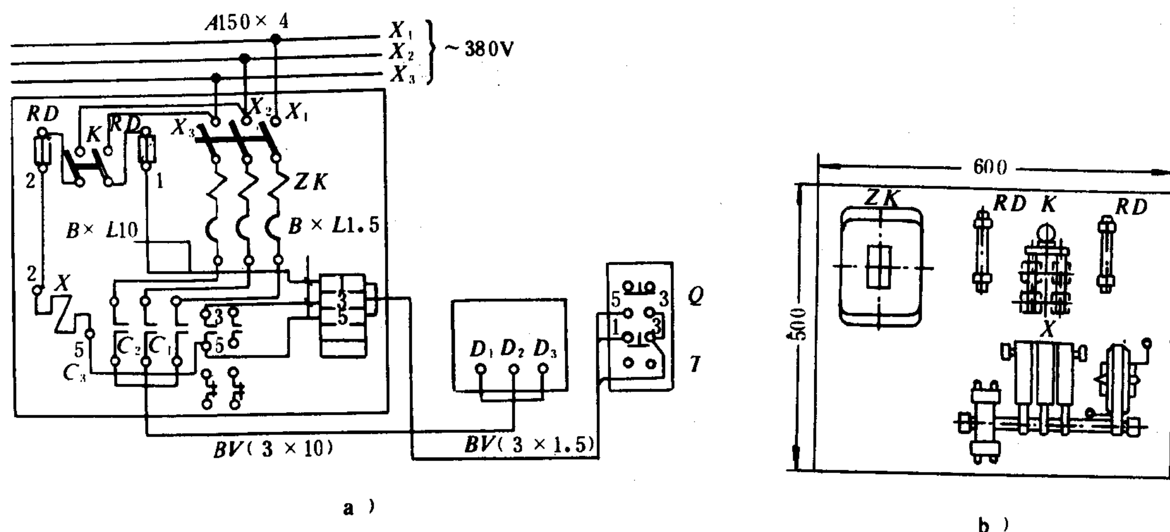


图 8.3.4—12 电气安装图的接线与板面布置

4 电动机的起动

4.1 起动的基本概念

静止的电动机当端子加上电压时，就会从静止状态开始转动。但由于存在机械惯性，电动机接上电源的瞬间，转速仍然为零，对于直流电动机，则反电势为零，相当于电源电压全部加在阻值很小的电枢绕组上，因此会引起很大的起动冲击电流。即：

$$I=\frac{U-C_e\Phi n}{r_s}=\frac{U}{r_s}$$

这样大的电流会直接损坏电机和其它电气设备的安全运行和使用寿命，并对供电设备造成破坏性影响，这都是实际运行时所不允许的。

对于交流异步电动机，由于同样的原因，起动瞬间 n=0，转差率 S=1，定子电流将达到额定电流的 4～7 倍，过大的起动冲击电流会影响电机的使用寿命，并造成电网电压的波动。

为了限制电动机起动时过大的起动电流，不同类型的电动机可以根据不同条件，采用不同的起动方法。直流电动机可在电枢回路串入电阻进行起动；绕线式异步电动机可在转子回路串入起动电阻进行起动；交直流电动机还可用降低电动机端电压的方法进行起动。

为了加快起动过程，就必须具有足够大的起动转矩；同时为了起动平稳，又必须在起动过程中不断调节起动电阻。起动电阻的自动切换，可根据起动过程中参数的变化和人们所要求的起动顺序进行自动控制。

常用的控制原则有三种：

①电动机按电流原则起动。利用起动的每一阶段之初，起动电流最大，每一起动阶段之末，电流随转速升高而变小的特点，通过电流继电器大电流吸上、小电流释放的原理，控制电动机起动过程；

②电动机按时间原则起动。利用时间继电器的延时作用，按预先整定的时间，控制接触器以时间为序，依次短接起动电阻，完成起动过程；

③电动机按速度原则起动。利用能反映电动机速度变化的电器，使它在一定速度时发出动作信号，切除相应的起动电阻。

4.2 直流电动机的起动控制

4.2.1 起动条件

第一，直流电动机不允许全压直接起动；

第二，只有在保证有励磁的情况下，才能给电动机加上端电压。直流串励电动机不允许在空载或负载很小的情况下起动；

第三，在限制起动电流的前提下，必须保证电动机有足够的起动转矩，使其能克服静阻转矩而加速。

4.2.2 直流他励电动机的起动

直流他励电动机电枢串电阻起动的电路原理和特性如图 8.3.4—13 所示。

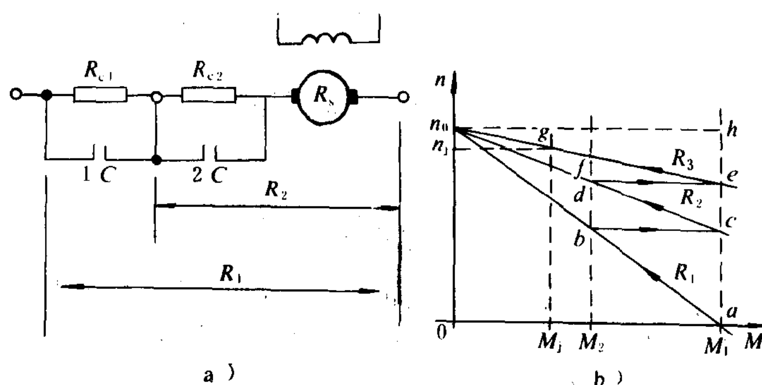


图 8.3.4—13 直流他励电动机起动原理与特性

在机械特性图中，M_1 为起动转矩，M_2 为切换转矩，M_j 为负载转矩。开始起动时，电枢回路电阻 $R_1=R_{c_1}+R_{c_2}+R_s$ 为最大，电动机在特性 ab 上起动加速。随着转速升高，电枢电流减小，使接触器 1C 闭合，短接电阻 R_{c1}，电动机电枢电阻变为 $R_2(R_2=R_{c2}+R_s)$，电动机过渡到特性 cd 上加速。然后 2c 闭合，短接电阻 R_{c2}，电动机从特性 cd 上过渡到特性 ef 上。最后稳定在 g 点运行。

接触器 1C、2C 的动作，可以采用时间、电流、或速度的原则进行控制。船用的时间原则起动控制电路有 QZH 系列。图 8.3.4—14a）为这种起动原则的不可逆电路，b）为可逆电路。采

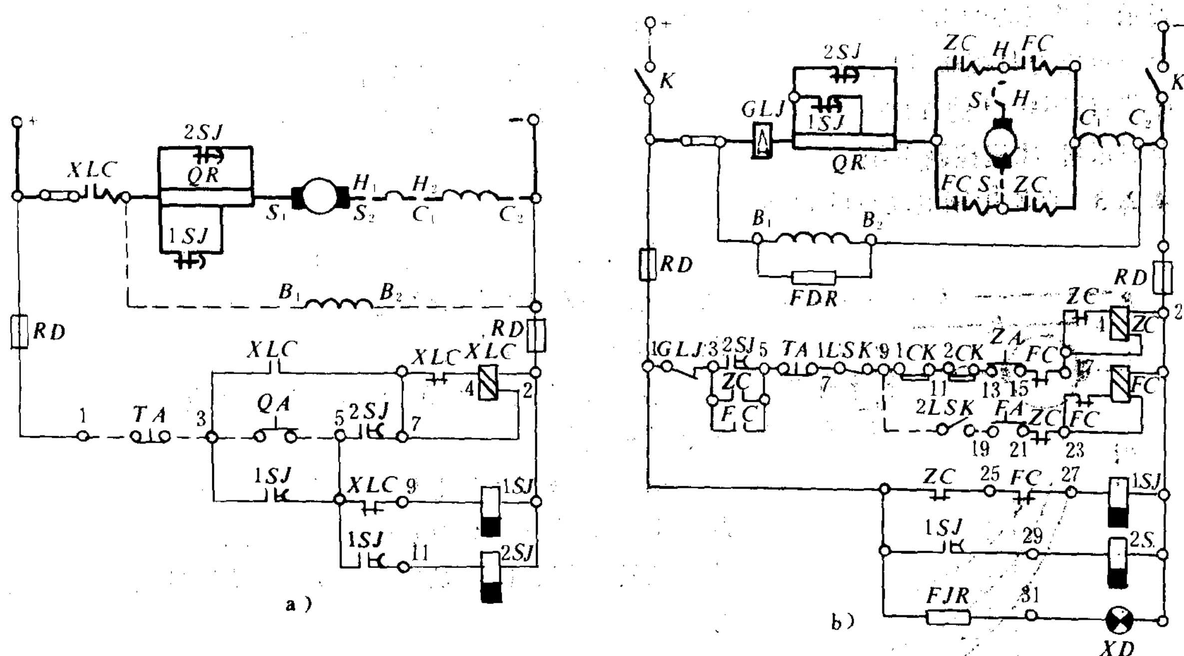


图 8.3.4—14 采用时间原则起动的 QZH 系例控制电路

a)不可逆电路；b)可逆电路

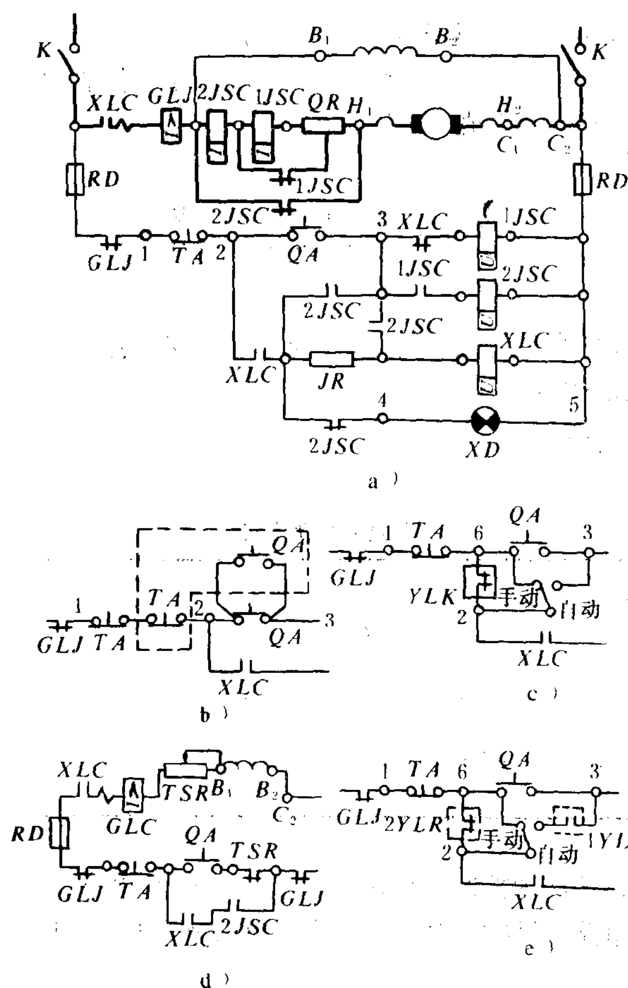


图 8.3.4—15 采用电流原则起动的 ZQLI 型控制电路

用电流原则起动的 ZQL1 系列如图 8.3.4—15 所示。图 a)中 1JSC、2JSC 为加速接触器,图 b)表示可用三心线引出遥控按钮环节,图 c)中 YLK 为单点压力开关,高于一定压力时断开,低于一定压力时接通,用于海水淡水压力柜。在主机海水冷却泵中,可采用该图 d)中的磁场调节环节;该图 e)中的 YLK 为双触点压力开关,IYLK 为压力下限触点,2YLK 为上限触点,适用于空压机,冰机控制系统。

4.2.3 直流串励电动机的起动

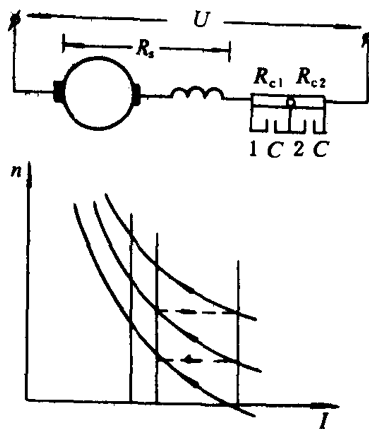


图 8.3.4—16 直流串励电动机原理与特性

图 8.3.4—16 是直流串励电动机的起动原理电路与特性。电枢回路串电阻分级起动的过程与直流他励电动机相似,但也有本身的特点:

第一,没有理想空载转速,不允许在空载或轻载的情况下起动和运行;

第二,转矩 M 与电枢电流 Is 的平方成正比在相同的起动电流倍数下(起动电流与额定电流之比),串励电动机的起动转矩倍数比他励电动机大,起动特性比他励电动机好。

4.3 交流异步电动机的起动控制

4.3.1 直接起动

交流异步电动机是否能直接起动,必须由下列经验公式来确定,满足下列公式的计算数值才可直接起动。

$$\frac{I_q}{I_e} \leqslant C \cdot \frac{\text{电源总容量(kW)}}{\text{电动机容量(kW)}} \qquad (8.3.4—13)$$

式中:C——系数,随电源总容量与电动机容量的比值而变动(表 8.3.4—5);

I_q——电动机起动电流,A;

I_e——电动机额定电流,A。

表 8.3.4—5 系数 C 的近似值

电源总容量/电动机容量	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5
C	1	0.750	0.625	0.550	0.5	0.465	0.438	0.4

交流异步电动机的直接起动控制,有 QC98、QC96、QC10 等系列。图 8.3.4—17a)为 QC96 系列磁力起动器不可逆电路;该图 b)为可逆直接起动控制电路。图中 X_1^*、X_3^* 为一级起动控制电路。

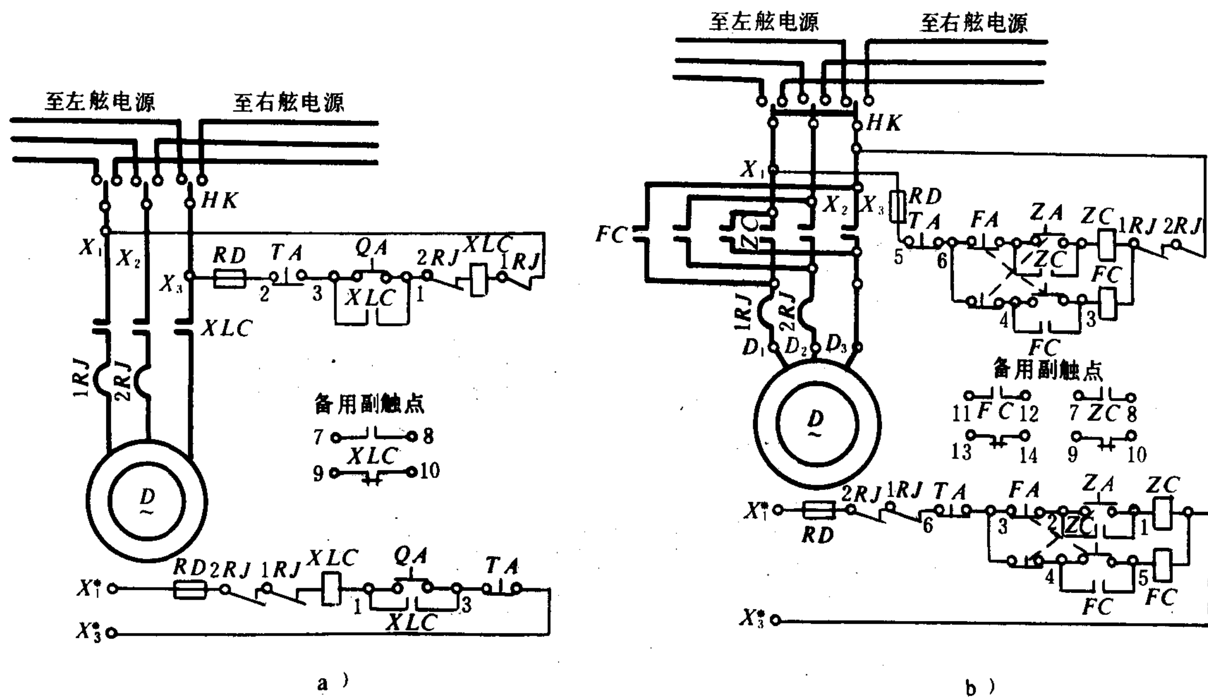


图 8.3.4-17　QC96 系列磁力起动器控制电路

a)不可逆电路；b)可逆直接起动电路

图 8.3.4—18 为 QC10 系列磁力起动器不可逆和可逆直接起动控制电路。

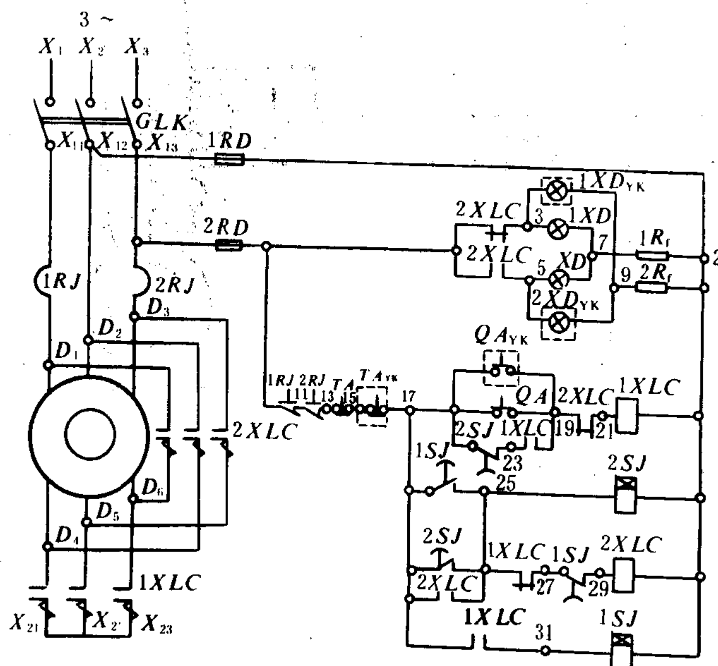
图 8.3.4—18　QC10 系列磁力起动器控制电路

a)不可逆直接起动电路；b)可逆直接起动电路

4.3.2　鼠笼式异步电动机 Y——Δ 降压起动

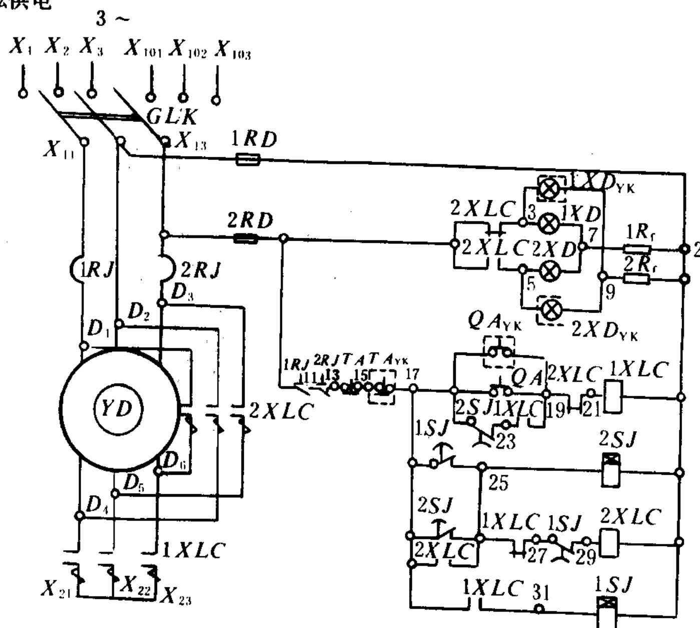
凡不能直接起动的大、中容量鼠笼异步电动机，必须采取降压、限流的方法进行起动。常用的起动方式是降压起动。自动 Y—Δ 起动器电路分单舷与两舷供电两种，如图 8.3.4—19 所示。

单舷供电



a）

两舷供电



b）

图 8.3.4－19 自动 Y－Δ 起动器原理线路图

a)单舷供电；b)两舷供电

这种起动控制电路的电器设备明细表见表 8.3.4—6。

表 8.3.4—6　　**自动星—三角起动器电器设备明细表**

序号	名称	符号	数量	规格					
				单舷供电			两舷供电		
				50 安	100 安	150 安	50 安	100 安	150 安
1	接触器	1XLC 2XLC	2	CT91— 50/33 380V 50A	CT 91— 100/33 380V 100A	CT91— 150/33 380V 150A	CT91— 50/33 380V 50A	CT91— 100/33 380V 100A	CT91— 150/33 380V 150A
2	时间继电器	1SJ 2SJ	2	JS7—1(TH/H)380 伏延时 0.4～60s					
3	隔离开关	GLK	1	HD 11— 100/38	HD 11— 100—/38	HD 11— 200/38	HS 11— 100/3	HS 11— 100/3	HS 11— 200/3
4	热继电器	1RJ 2RJ	2	JR 11 型规格按电动机电流选择					
5	按　钮	QA TA	2	LA_2(TH/H)					
6	熔断器	1RD 2RD	2	RL93—6　380V　6A					
7	信号灯	1XD 2XD	2	ZSD—2　110V　8A					
8	附加电阻	1Rf 2Rf	2	ZG11—50　6kΩ　50W					

从表 8.3.4—7 可以看出，电动机起动接成星形时，起动电流只有原来角形接线的1/3，有效地限制了起动电流。但起动转矩也只有原来角形接线的1/3，说明这种起动方法起动转矩减小，只适用于空载或轻载起动的场合。

表 8.3.4—7　　**Y—Δ 起动时的电流和转矩**

接线方式 \ I,M	每相绕组起动电流	起动电流之比	起动转矩之比
Y	$I_{q_Y}=\frac{U_e}{\sqrt{3}Z}$	$I_{q_Y}=\frac{1}{3}I_{q_\Delta}$	$M_{q_Y}=\frac{1}{3}M_{q_\Delta}$
Δ	$I_{q_\Delta}=\sqrt{3}\,I_q=\frac{\sqrt{3}\,U_e}{Z}$		

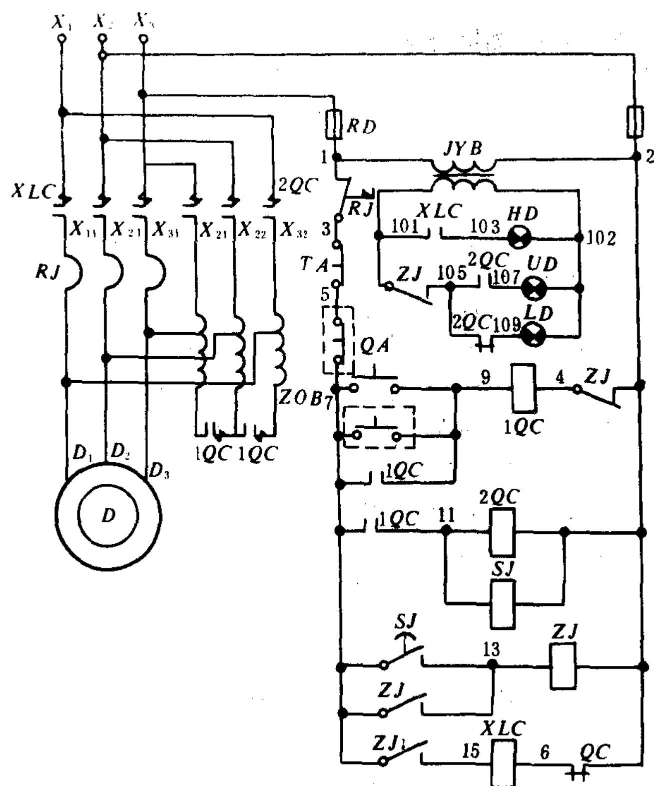


图 8.3.4—20　28～75kW 电动机用 XJ01 系列自耦减压起动箱接线图

4.3.3　鼠笼式异步电动机用自耦变压器降压起动

用于起动的自耦变压器又称补偿起动器。用它起动电动机时，起动电流和起动转矩可根据抽头位置进行调节。其高压侧接于电网，低压侧接至电动机。若自耦变压器二次电压与一次电压之比为 K，则 K<1，加于电动机上的端电压 U_D 降低到电网电压 U_X 的 K 倍，即：

$$U_D = KU_X$$

电动机降压起动的电流 I_q 比直接起动时的电流 I_{qz}(即样本上查得的允许起动电流)降低了 K 倍，即：

$$I_q = KI_{qz}$$

若以 K_u 表示自耦变压器的抽头比；K 表示降压起动的实际电流 I_q 与电动机直接起动的允许电流 I_{q_z} 之比；K_M 表示降压起动转矩 M_q 与直接起动转矩 M_{qz} 之比，则可以从表 6.3.4—8 归纳出几个比值的关系。

我国目前生产的 XJO1 系列自耦减压起动箱，适用于交流 380V，功率分别为 14～20kW，28～75kW 和 80～300kW 的交流异步电动机降压起动。图 8.3.4—20 为 XJ01 系列自耦减压器起动箱电气原理图(用于 28～75kW 电动机)。XJ01 系列技术规格见表 8.3.4—9。图中，QC 为起动接触器，XLC 为正常运转接触器，靠时间继电器 SJ 进行自动调整。对于 80kW 以上的 XJ01 系列起动器，还配有手动操作和自动操作选择开关 HK。在手动操作时，必须注意从起动切换到运转，一定要等电动机接近额定转速时进行，否则会损坏接触器并对电网造成影响。

表 8.3.4—8　**起动电流、起动转矩比较**

起动变压器抽头比 k_u	起动电流之比 $k = I_q/I_{qz}$	起动转矩之比 $k_M = M_q/M_{qz}$
60%	0.6	0.36
65%	0.65	0.4225
80%	0.8	0.64

表 8.3.4—9　**XJ01 系列自耦减压起动箱技术规格**

型　号	控制电动机功率　(kW)	最大工作电流　(A)	自耦变压器功率　(kW)	电流互感器电流比	热继电器整定电流参考值(A)
XJ01—14	14	28	14		28
XJ01—20	20	40	20		40
XJ01—28	28	56	28		56

续上表

型　号	控制电动机功率　(kW)	最大工作电流　(A)	自耦变压器功率　(kW)	电流互感器电流比	热继电器整定电流参考值(A)
XJ01—40	40	80	40		80
XJ01—55	55	110	55		110
XJ01—75	75	142	75		142
XJ01—100	100	200	115	300/5	3.2
XJ01—115	115	230	115	300/5	3.8
XJ01—135	135	270	135	600/5	2.2
XJ01—190	190	370	190	600/5	3.1
XJ01—225	225	410	225	800/5	2.5
XJ01—260	260	475	200	800/5	3
XJ01—300	300	535	300	800/5	3.5

4.3.4　延边三角形起动

延边三角形起动是在Y—△起动方法基础上加以改进的一种新的起动方法。电动机起动时，定子绕组一部分接成角形，一部分接成星形，如图8.3.4—21所示。由于接线方法如同三角形的三条边延长，故称延边三角形，用符号"△"表示。

采用这种方法起动的优点，是不必再用自耦减压起动器，只要调节定子绕组的抽头比K，就可以得到不同数值的起动电流与起动转矩，以适应不同的使用要求。应注意，采用这种起动方法的电动机需要有九个抽头。从图可看出，定子绕组抽头比$K=\frac{Z_1}{Z_2}$。(Z_1、Z_2为绕组阻抗)

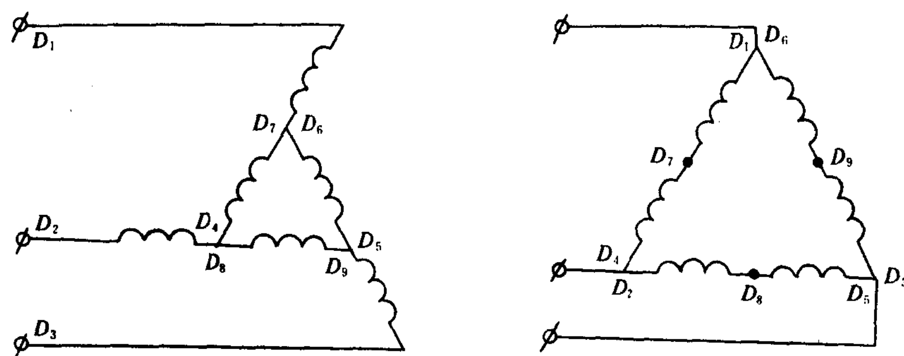


图8.3.4—21　定子绕组的三角形连接与延边三角形连接

目前我国生产的XJ1系列低压起动控制箱就是应用"△"—"△"起动方法制成的新型起动设备。它允许频繁操作，而且还可以作Y—△形起动。如图8.3.4—22所示。

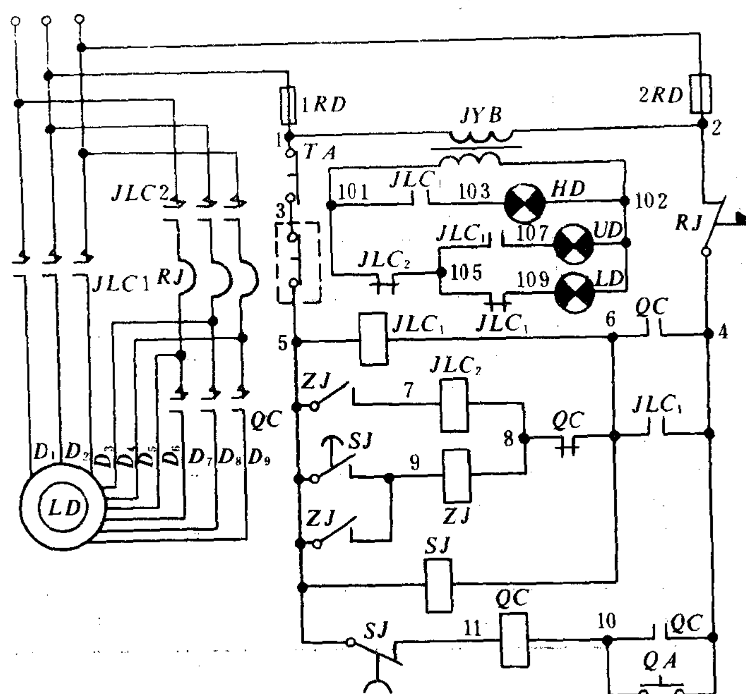


图 8.3.4—22　XJ1 系列低压起动控制箱原理图

表 8.3.4—10　　**XJ1 系列低压起动箱电气元件参数表**

序号	符号	数量	元件名称 ＼ 型号	XJ1—11 XJ1—15	XJ1—18 XJ1—22 XJ1—30	XJ1—37 XJ1—45 XJ1—55	XJ1—75	XJ1—90 XJ1—110	XJ1—125
1	JLC	2	交流接触器	CJ10—20	CJ10—40	CJ10—60	CJ10—100	CJ10—150	CJ10—150
2	QC	1	起动接触器	CJ10—10	CJ10—20	CJ10—40	CJ10—60	CJ10—60	CJ10—100
3	RJ	1	热继电器	11kW,JR0—20(10～16) 15kW,JR0—20(14～22) 18.5kW,JR0—60(14～22) 22kW,JR0—60(22～32) 30～37kW,JR0—60(28～45) 45～55kW,JR0—60(40～63)			JR0—20(1.5～2.4)		
4	QA	1	起动按钮	LA—18～22 黑			LA19—11D 黄		
5	LA	1	运转按钮				LA19—11D 红		
6	TA	1	停止按钮	LA—18～22 红			LA19—11D 绿		
7	RD	2	熔断器	RL1—15/4 500V			RL1—15/6,500V		
8	LD	1	绿色指示灯	DS22—2 灯座 带 6.3V,0.15A 灯泡					
9	UD	1	黄色指示灯						
10	HD	1	红色指示灯						

续上表

序号	符号	数量	元件名称 \ 型号	XJ1—11 XJ1—15	XJ1—18 XJ1—22 XJ1—30	XJ1—37 XJ1—45 XJ1—55	XJ1—75	XJ1—90 XJ1—110	XJ1—125
11	JYB	1	指示灯变压器	380V/6.3V					
12	LH	2	电流互感器				LQG—0.5 200/5	LQG—0.5, 300/5	
13	A	1	电流表				1T1—A 200/5	1T1—A, 300/5	
14	HK	1	转换开关				LW5—15DO413/2		
15	SJ	1	时间继电器	JS10 电动式(带常开常闭触点)					
16	ZJ	1/2	中间继电器	JZ7—44,380V　JZ7—44,380V					

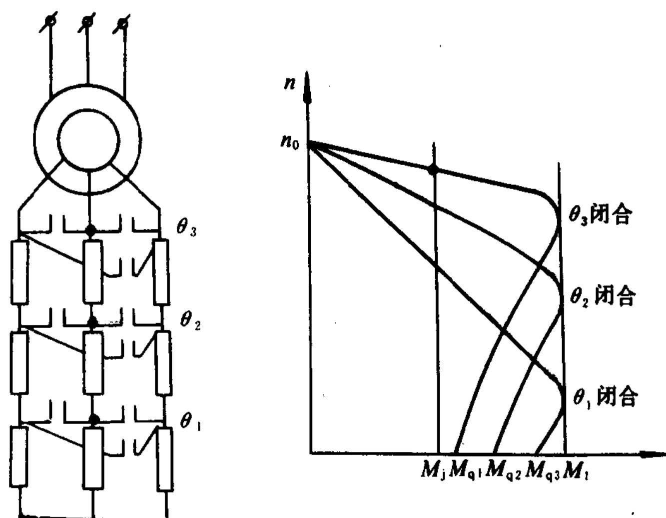


图 8.3.4—23 绕线式异步电动机转子串电阻起动

用 XJ1 作 Δ—△起动时,只需将电动机引出线接在控制箱内接线板的相应符号的端子上。用作 X—△起动时,电动机只用六个引出线,其余 D_7、D_8、D_9 三个引出线不用并包扎好。其接线板上 D_7、D_8、D_9 则用短接板短接。XJ1 系列起动箱电气元件技术参数见表 8.3.4—10。

4.3.5 绕线式异步电动机转子回路串入起动变阻器起动

从异步电动机机械特性可看出。绕线式异步电动机转子回路串电阻,既可以减小起动电流,又可增加起动转矩。串入转子回路的电阻一般为三相起动变阻器,每级都是星形连接,起动时分级切换(如图 8.3.4—23 所示)。切换时,应使起动转矩保持在最大值和最小值之间变动。起动转矩最大值 Mq_{max} 一般取额定转矩的 1.5～2 倍,或不超过临界转矩的 0.7～0.85 倍,最小值应大于负载转矩 M_L。

转子串入的电阻在切换中一直保持三相对称时为三相对称变阻器。相反,起动时串入的全部电阻不对称,切换后也不对称时为三相不对称变阻器。

4.3.6 频敏变阻器在异步电动机起动中的应用。

频敏变阻器是一种阻抗值随频率明显变化的无触点电磁元件。它结构简单,制造容易,运行可靠,便于维护。如果将它串入绕线式异步电动机转子回路,可以利用它对频率的敏感而自动变阻,乃至使控制系统大大简化,且获得接近恒转矩的机械特性。其主要缺点是功率因数较低。目前主要用于绕线式异步电动机的起动,其中分以下两种情况:

①对长期工作制的绕线式异步电动机,可以采用短时起动用的频敏变阻器,起动完毕即被切除,起动时可获得接近恒转矩特性。

②对于重复短期工作制的绕线式异步电动机,可以采用持续通电率分别为 15%、25%、

40%,60%的重复短时起动的频敏变阻器,除作起动用外,还可用作反接与能耗制动,它可以长期串入转子回路而不必切除。

目前我国生产的GTT6121系列绕线式异步电动机控制柜,又称低压综合起动器,就是使用频敏变阻器控制转子起动,线路简单可靠,起动平滑迅速。现已在空压机中广泛使用。见图8.3.4—24。

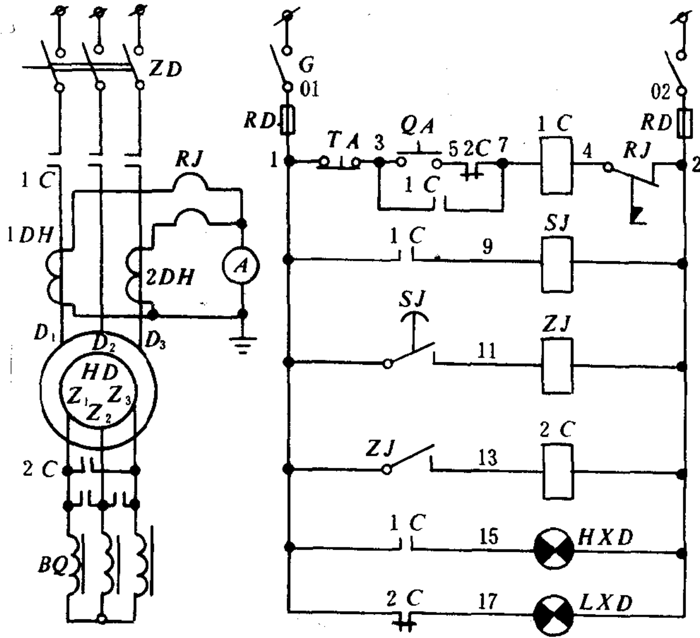


图8.3.4—24　低压综合起动器控制线路

主要技术参数见表8.3.4—11

表8.3.4—11　**低压综合起动器电器元件参数**

序号	符号	GTT6121—23D		GTT6121—33D		GTT6121—43D		GTT6121—53D		数量
		型号	数据	型号	数据	型号	数据	型号	数据	
1	ZD	DZ10—100/330	脱扣器电流	DZ10—250/330	脱扣器电流	DZ10—250/330	脱扣器电流	DZ10—600/330	脱扣器电流	1
2	1C 2C	CJ1—75/3	副触点3/3	CJ1—150/3	副触点3/3	CJ1—300/3	副触点3/3	CJ1—600/3	副触点3/3	2
3	1DH 2DH	LQ—0.5	75/5	LQ—0.5	150/5	LQ—0.5	300/5	LQ—0.5	750/5	2
4	A	1T9—A	75/5	1T9—A	150/5	1T9—A	300/5	1T9—A	750/5	1
5	BQ	BP2—70规格与电机配合								1
6	RJ	JR0—40热元件电流与电机配合								1
7	G	HD10—40/2								1
8	RD	RL1—15/15						RL1—60/20		2
9	TA	LA_2　红色						LA_5		1

续上表

序号	符号	GTT6121—23D		GTT6121—33D		GTT6121—43D		GTT6121—53D		数量
		型号	数据	型号	数据	型号	数据	型号	数据	
10	QA	LA_2 绿色						LA_5		1
11	SJ	JS7—2A 0.4～60 秒								1
12	ZJ	JZ7—44						JZ1—21		1
13	HXD	ZSD—38 红色								1
14	LXD	ZSD—38 绿色								1

4.4 起动电阻的计算

4.4.1 直流他励电动机起动电阻的计算

直流他励电动机电枢串电阻分级起动时，起动电阻可以用图解法和解析法两种方法计算。用图解法计算时，应首先画出分级起动时电动机的机械特性图(如图 8.3.4—12)并根据分级起动特性，量出转速降的变化数值，然后利用转速与电枢电阻的线性关系，求取起动电阻。用解析法计算起动电阻的步骤是：

①由电动机的铭牌数据，算出电枢电阻 R_s。

②根据电动机容量和工艺要求，选定最大起动电流 I_1 和最大起动电阻 R_1。

一般 $I_1=(1.5\sim2.0)I_e$ [或 $M_1=(1.5\sim2.0)M_e$]

最大起动电阻 $$R_1=\frac{U_e}{I_1}$$

其中：U_e、I_e—分别为电动机额定电压和电流。

③选取切换电流 I_2，确定起动电阻级数 m。

一般 $I_2=(1.1\sim1.2)I_e$ [或 $M_2=(1.1\sim1.2)M_e$]

或 $I_2\geqslant(1.2\sim1.5)I_j$ [或 $M_2\geqslant(1.2\sim1.5)M_j$]

由 $\lambda=\dfrac{I_1}{I_2}$ 确定 λ，

再根据 $m=\dfrac{\lg\dfrac{R_1}{R_s}}{\lg\lambda}$ 计算 m。

注意，若算出的 m 不是整数，则选取邻近较大的整数，然后用整数 m 代入 $\sqrt[m]{\dfrac{R_1}{R_s}}$ 式中，修正入和 I_2 值。

④由计算出的 λ 值算出各段起动特性上对应的电枢回路总电阻，见图 8.3.4—25。

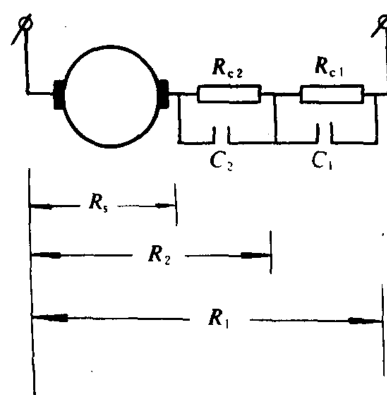


图 8.3.4—25 直流他励电动机电枢串电阻起动

$$R_m=\lambda R_s$$
$$R_m-1=\lambda R_m$$
$$R_2=\lambda R_3$$
$$R_1=\lambda R_2$$

⑤由电枢回路总电阻 R_1、R_2、R_3……R_m 计算各段起动电阻：

$$\left.\begin{array}{l} R_{cm}=R_m-R_s\cdots\cdots \\ R_{c2}=R_2-R_3 \qquad R_{c1}=R_1-R_2 \end{array}\right\} \qquad (8.3.4-14)$$

4.4.2 直流串励电动机起动电阻的计算

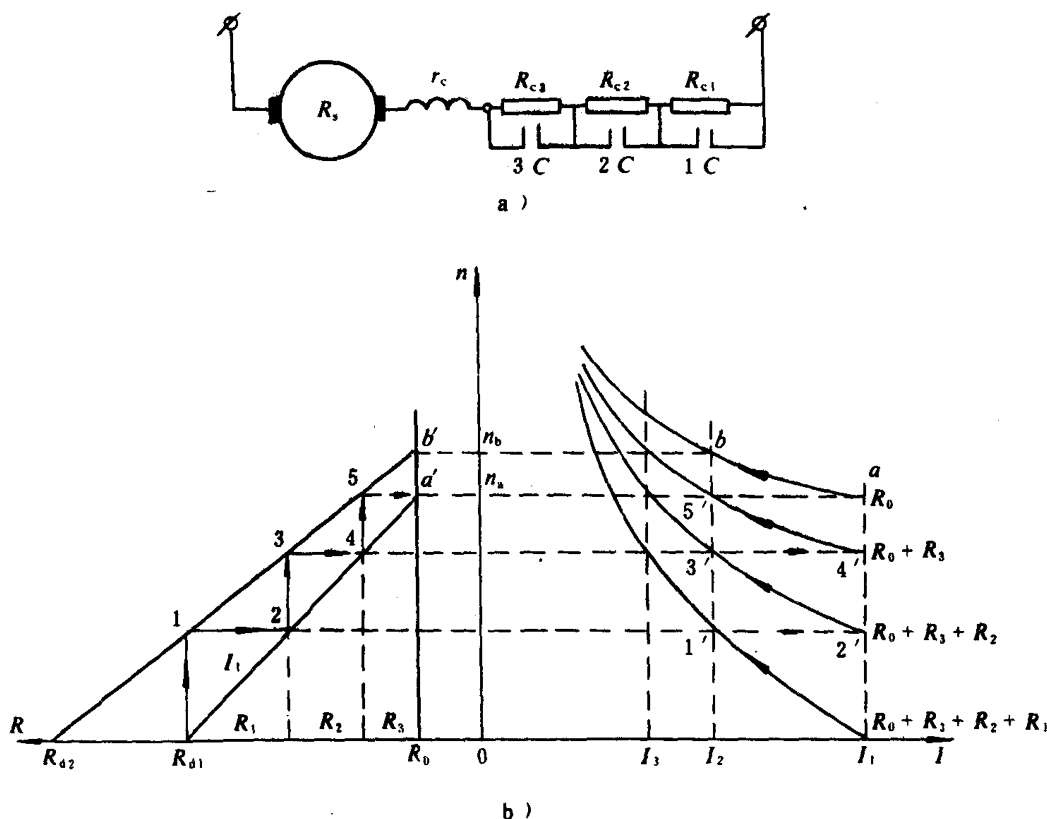


图 8.3.4—26 直流串励电动机起动电阻计算

图 8.3.4—26a)是直流串励电动机三级起动电路。图中 R_{c1}、R_{c2}、R_{c3} 分别为各级起动电阻，其起动过程与直流他励电动机相同。起动电阻常用图解法计算，其步骤为：

①根据产品样本给定的电动机万用机械特性曲线，将自然特性绘在坐标纸上，见图 8.3.4—26b)。

②确定最大起动电流 I_1 与切换电流 I_2，然后作它们的垂直线，与自然特性曲线相交于 a、b 两点，其中：

$$I_1=(1.5\sim2.0)I_e$$

$$I_2=(1.2\sim1.5)I_j \text{ 或 } I_2=(1.1\sim1.2)I_e$$

式中：I_e、I_j——分别为电动机额定电流或负载电流。

③以图中第 II 象限的横坐标表示电阻值，在 $R_0=R_s+r_c$ 点作垂直线，即 R_0 电阻线。

其中：R_s ——电枢电阻；

r_c ——串励绕组电阻。

④由 a、b 两点作水平线分别交 R_0 电阻线于 a′、b′两点。

在 a′点 $\quad R=R_0 \quad I=I_1 \quad n=n_a$

在 b′点 $\quad R=R_0 \quad I=I_2 \quad n=n_b$

⑤计算 $R_{d1}=\dfrac{V}{I_1}$，$R_{d2}=\dfrac{V}{I_2}$ 并在电阻坐标上找到相应阻值的 R_{d1}、R_{d2} 两点。这里，R_{d1}、R_{d2} 是指 n=0 时，I 分别为 $I=I_1$，$I=I_2$ 所需的电枢电阻值。

⑥连 $a'Rd_1$ 和 $b'Rd_2$，它们分别是 $I=I_1$ 时的 $n=f(R)$ 特性曲线和 $n=f2(R)$ 特性曲线。说明在同一电流下，电动机转速 n 正比于电枢电阻 R。

⑦由 R_{d1} 点起作 $a'R_{d1}$ 和 $b'R_{d2}$ 两直线间的曲折线，R_{d1}—1—2—3……最后相交于 a′点。

若折线最后不落于 a′点，则适当调整 I_1、I_2，重新按上述步骤作图，直到折线交于 a′点为止。图中折线分别与 $I_1 1'$，$1'2'$，$2'3'$ 等相对应，绘出曲折线，即可知道起动特性。

⑧折线 12，34，5a′在电阻坐标轴上的长度分别为所求的各级起动电阻 R_{c1}，R_{c2}，R_{c3}。

4.4.3 绕线式异步电动机转子回路起动电阻的计算

1）三相对称起动电阻的计算

为了方便，一般用近似的方法计算：

①首先将异步电动机机械特性工作区间的特性曲线线性化作为依据，并根据给定的起动级数作出起动特性。如图 8.3.4—27 所示。

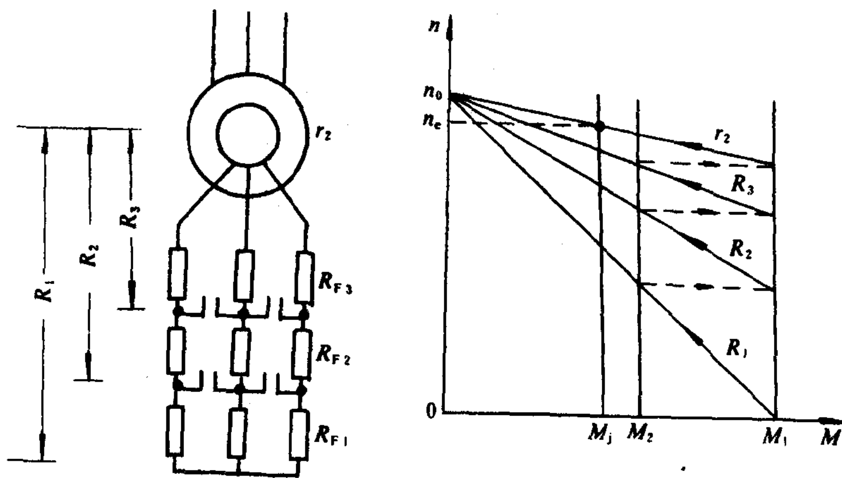


图 8.3.4—27 绕线式异步电动机机械特性线性化计算起动电阻

②确定起动倍数 λ：

一般
$$\lambda=\sqrt[m]{\frac{1}{\frac{M_1}{M_e}Se}} \tag{8.3.4—15}$$

式中：M_1——最大起动转矩，$M_1=(1.5\sim2)M_e$；

M_2——切换转矩（$M_1/M_2=\lambda$）；

M_e——电动机额定转矩；

S_e——电动机额定转差率（$S_e=\frac{n_0-n_e}{n_0}$）。

③计算 r_2：

转子每相电阻

$$R_{2e}=\frac{V_{2e}}{\sqrt{3}I_{2e}},$$

$$r_2=R_{2e}\cdot S_e。 \tag{8.3.4—16}$$

式中：U_{2e}——转子开路电压；

I_{2e}——转子额定电流。

④计算 R_1、R_2、R_3、及 R_{F1}、R_{F2}、R_{F3}：

$$R_3=\lambda r_2；R_2=\lambda R_3；R_1=\lambda R_2。$$

$$\left.\begin{aligned}R_{F3}&=R_3-r_2=(\lambda-1)r_2\\R_{F2}&=R_2-R_3=\lambda(\lambda-1)r_2\\R_{F1}&=R_1-R_2=\lambda^2(\lambda-1)r_2\end{aligned}\right\}\qquad(8.3.4—17)$$

⑤校验：

通过计算，应保证切换转矩 M_2 大于负载转矩 M_j。

2)三相不对称起动电阻的计算

三相不对称电阻起动方法适用于中小容量绕线式异步电动机。三相转子不对称电阻可以用对称的等效电阻计算出来。对于图 8.3.4—28 的计算结果列入表 8.3.4—12。计算方法与前面相同，其中 $\lambda=\frac{M_1}{M_2}$

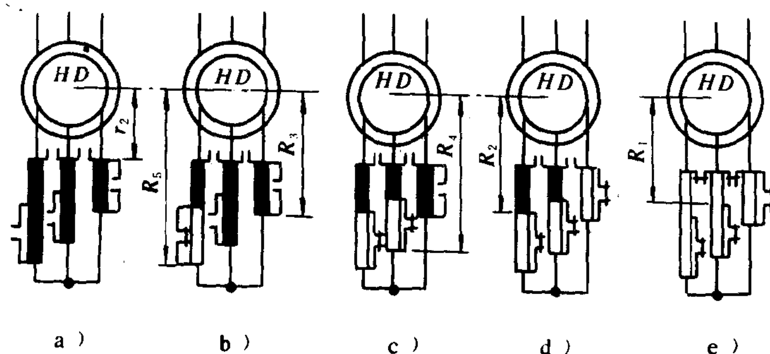


图 8.3.4—28 绕线式异步电动机转子回路串入不对称电阻起动

表 8.3.4—12

三相不对称起动电阻计算表

控制器位置	串入电阻级数	等效对称电阻	三相不对称电阻			各级切除的分段电阻		
			1	2	3	1	2	3
1	4	$R_4=\lambda R_3$	$R_5=\lambda R_4$	R_4	$R_3=\frac{R_4}{\lambda}$	—	—	—
2	3	$R_3=\lambda R_2$	$R_2=\frac{R_3}{\lambda}$	$R_4=\lambda R_3$	R_3	$R_5-R_2=R_{F1}$	—	—
3	2	$R_2=\lambda R_1$	R_2	$R_1=\frac{R_2}{\lambda}$	$R_3=\lambda R_2$	—	$R_4-R_1=R_{F2}$	—
4	1	$R_1=\lambda r_2$	$R_2=\lambda R_1$	R_1	$r_2=\frac{R_1}{\lambda}$	—	—	$R_3-r_2=R_{F3}$
5	0	r_2	r_2	r_2	r_2	$R_2-r_2=R_{F4}$	$R_1-r_2=R_{F5}$	—

5 直流电动机的制动

5.1 制动的目的和方法

制动目的：

①使电力拖动系统停车；

②使电力拖动系统的转速降低；

③对于位能负载的工作机械，用制动获得稳定的下降速度。

制动方法：

①断开电枢电源，实现自由停车。这种自由停车方法时间较长；

②采用电磁制动器，实现机械制动。这种方法制动力矩大，制动过程短；

③采用能耗、电源反接等方法实现电气制动。这种方法制动效果好，常与上述第②种制动方法配合使用。

5.2 直流他励电动机能耗制动及其控制

5.2.1 原理

正在旋转的电动机，若只保持磁场电压而将电枢电路自电源断开，同时与附加制动电阻 R_f 接通构成闭路，即产生能耗制动，见图 6.3.4—29。由于惯性，旋转的电动机仍按原电动方向旋转，E 方向不变，电枢电流 I_s 反向，又因 U=0，所以：

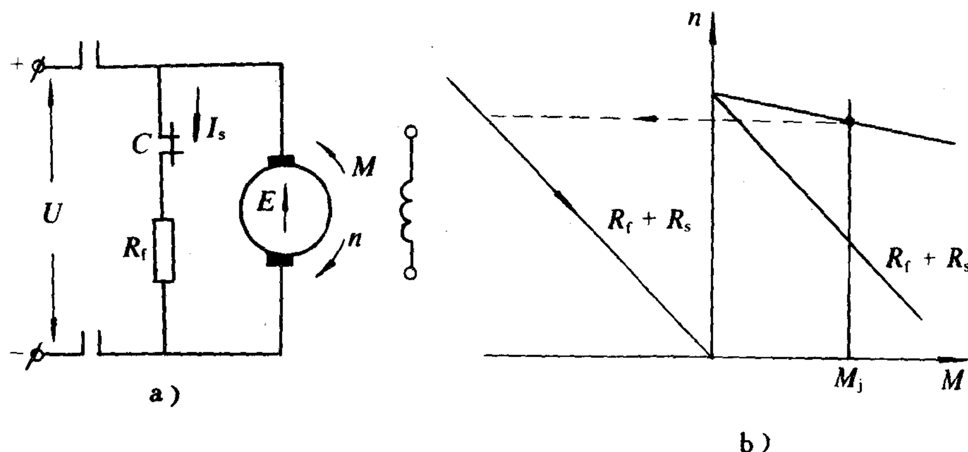


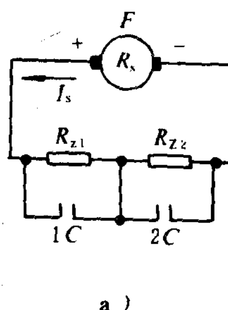
图 8.3.4—29 直流他励电动机的能耗制动

$$I_s = -\frac{E}{R_s + R_f}$$

I_s 产生与旋转方向相反的制动转矩，将贮积于系统的机械位能与惯性能量转变为电功率，全部变为热能消耗在 R_f 上。能耗制动的机械特性位于第二象限，如图 8.3.4—29b)所示。

5.2.2 控制线路

如图 8.3.4—29a)所示，接触器常开触点 c 断开使电动机断开电源，常闭触点 c 闭合将 R_f 接入电枢回路，即进行能耗制动。



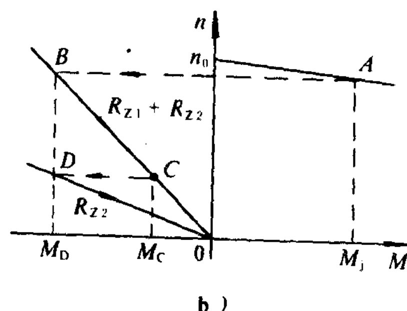


图 8.3.4—30 直流他励电动机两级能耗制动线路及机械特性

5.2.3 特点

①线路简单，制动减速平稳可靠。

②制动转矩随转速下降而减小，制动过程较长。为改善制动效果，一般分两级制动。见图 8.3.4—30。

图 8.3.4—31 为直流他励电动机能耗制动自动控制线路。起动时采用速度原则，靠接触器 XC、QC 控制。制动时通过电压继电器 YJ 使 ZC 动作，将制动电阻 R_Z 接入，实现能耗制动。图中接触器 QC 接于电动机电枢两端，反映速度大小。

5.3 直流他励电动机的电气反接制动

5.3.1 原理

对正向带载旋转的电动机，突然改变电枢电压极性（也可改变励磁绕组极性），电磁转矩将会反向。这时由于电机和机械系统的惯性，转速不能突变，电磁转矩与转速方向相反，故为制动转矩，机械特性位于第二象限。电动机将在电磁转矩与负载转矩共同作用下，急剧减速至零，这时若不及时切断电枢外加电压，电机将反向起动。见图 8.3.4—32。

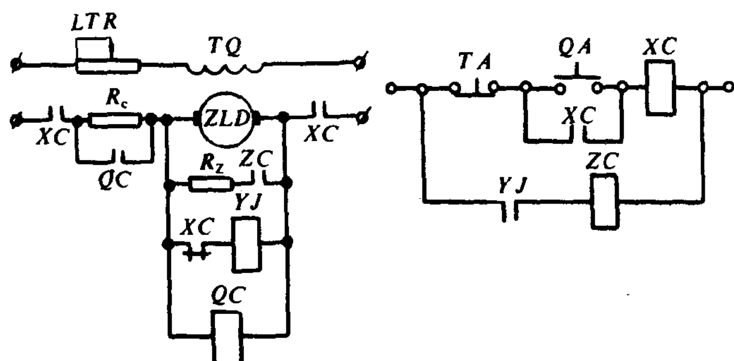


图 8.3.4—31 直流他励电动机能耗制动自动控制线路

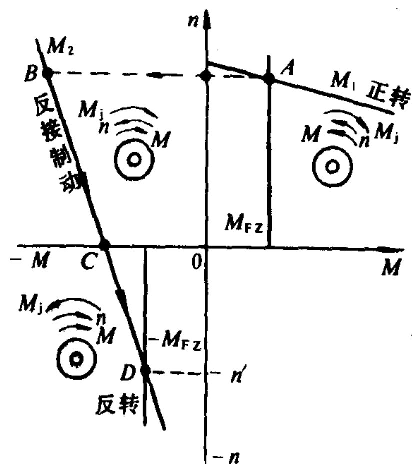


图 8.3.4—32 反接制动与反转时的机械特性

5.3.2 特性方程

电枢回路电流：

$$I_s=\frac{-U_e-E}{R_s+R_z}=-\frac{U_e+E}{R_s+R_z}$$

机械特性方程：

$$\eta=-\frac{U_e}{C_E\Phi}-\frac{R_s+R_z}{C_e\Phi}I_s \qquad (8.3.4—18)$$

式中：R_Z——串入电枢回路的限流制动电阻。

5.3.3 特点

①制动转矩较稳定，制动较强烈，制动时间较短；

②反接制动过程中，由于外加电压与反电势同向，将产生很大的制动电流。为了限流，必须串入反接制动电阻，制动电阻 R_Z 的大小应保证制动电流不超过 $2I_e$。即：

$$R_s+R_z=\frac{U_e+E}{2I_e}=\frac{U_e}{I_e} \qquad (8.3.4—19)$$

因反接制动电阻比能耗制动电阻大，所以反接制动特性要陡得多。

③电气反接制动适用于要求迅速制动或迅速反转的场合。

5.4 直流他励电动机的再生制动(发电制动)

5.4.1 原理

电动状态运转的电动机受到与电磁转矩方向一致的外力拖动时,电动机将进入再生制动状态,如起货机落放重物时,负载转矩 M_j 与电动机转矩 M_D 方向相同,共同使运动系统加速,E 增加,电枢电流 $I_s=\frac{U_e-E}{R_s+R_f}$ 减小。当速度增加到 $n=n_0$ 时,则 $I_s=0$,$M_D'=0$,负载转矩 M_j 仍然使电动机继续加速。当 $n>n_0$ 时,$E>U_e$,电动机进入再生状态,I_s 反向,电磁转矩阻碍系统运动,机械特性位于第二象限(见图 8.3.4—33)。当 n 增加到一定数值时,$M_D=M_j$,电动机以高于 n_0 的稳定速度控制重物匀速下降,电动机将负载的机械功率变成电功率,一部分以热能形式消耗在电枢回路电阻上,另一部分回馈到电网。

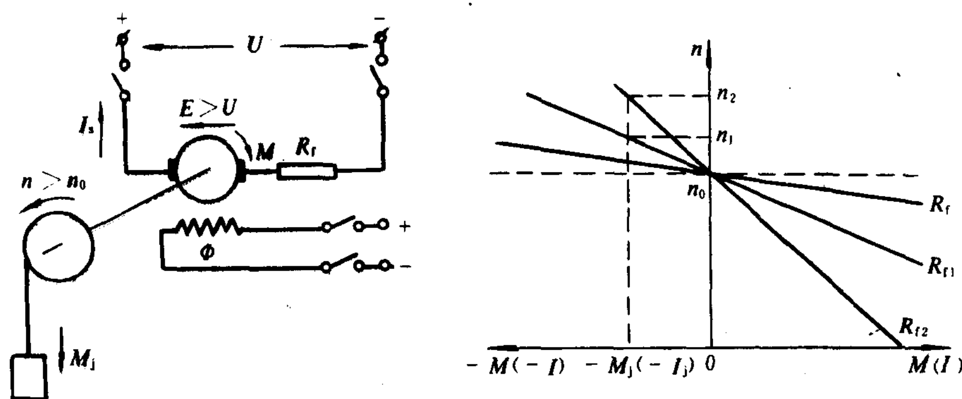


图 8.3.4—33 直流他励电动机再生制动及其机械特性

5.4.2 特性方程

$$n=\frac{V}{C_e\Phi}+\frac{(R_f+R_s)I_s}{C_e\Phi} \qquad (I_s<0) \qquad (8.3.4—20)$$

5.4.3 特点

①再生(发电)状态位于第二象限,机械特性是第一象限电动状态机械特性的相应延长线。故在高速情况下处于再生状态的电动机,电枢回路不能串入电阻,以免特性上翘,转速过高。

②这种制动状态是在转速大于某一理想空载速的一段范围内起作用,所以一般不能制动到停车。

5.5 直流串励电动机的能耗制动

5.5.1 原理

直流串励电动机能耗制动有自励和他励两种方式,自励能耗制动如图 8.3.4—34 所示。它是在电动机具有一定转速时,把电枢从电源断开,而接到制动电阻 R_f 上,利用电动机剩磁自励发电,自励电势在闭合回路产生电流,形成制动力矩。必须注意,电动状态时,电流自电源流入,而制动时,电流反向,即自电枢输出。为了保持制动电流产生的磁场方向与剩磁方向一致,串励绕组必须反接,而在切换 K_1 的同时,K_2 也应从原来的上端子投向下端子。

串励机他励能耗制动如图 8.3.4—35 所示,当电动机电枢与电源断开,并接至制动电阻 R_f 时,将串励绕组经一个较大电阻 R_f 接到恒定电源上,使磁场在制动过程中保持恒定,其制

动特性与他励直流电动机能耗制动时相同。

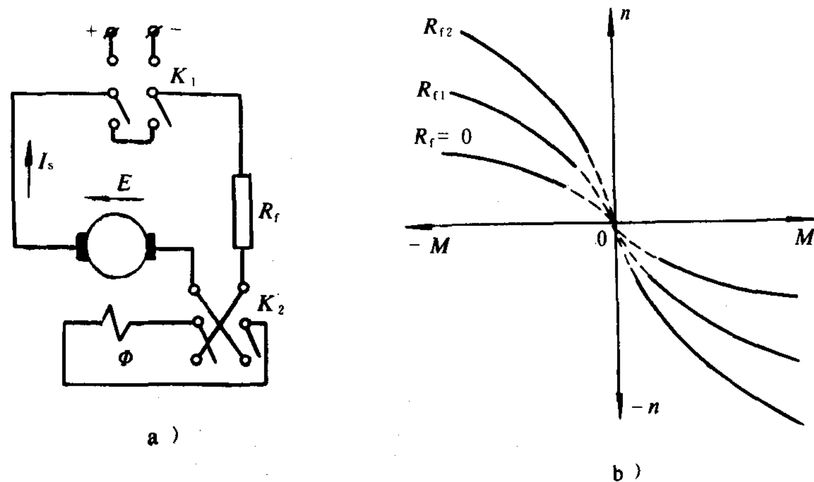


图 8.3.4—34 直流串激电动机自励能耗制动线路及特性

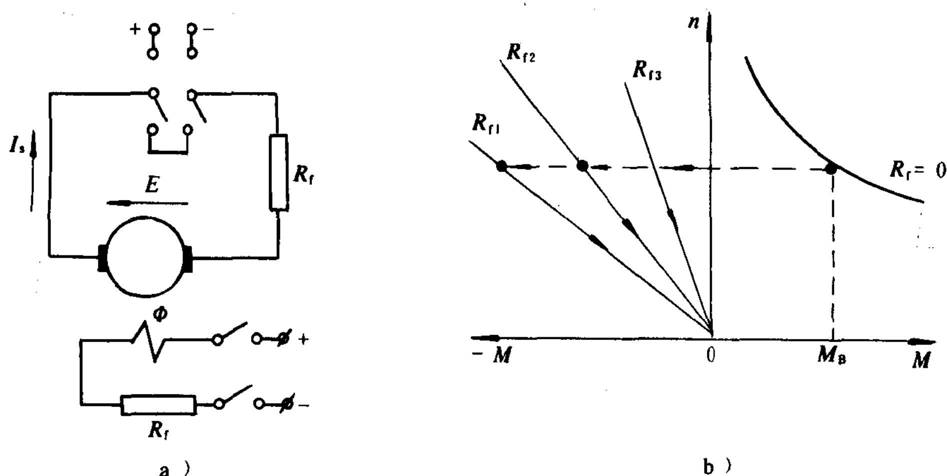


图 8.3.4—35 直流串励电动机他励能耗制动线路及机械特性

5.5.2 特点

①串励机他励能耗制动效果比自励要好，但必须配备他励电源。图 8.3.4—36 即为小型串励机他励能耗制动的具体控制线路。图中，用按钮 ZQA、FQA 控制接触器 ZC、FC，实现电动机正反转，松开按钮电动机就停止运转，并通过 ZC、FC 常闭触点将电阻 1Rc、2Rc 接入实现能耗制动。

②对于自励能耗制动而言，若速度低，自励电势小，其制动电流小，基本没有制动作用，高速时制动能力强。

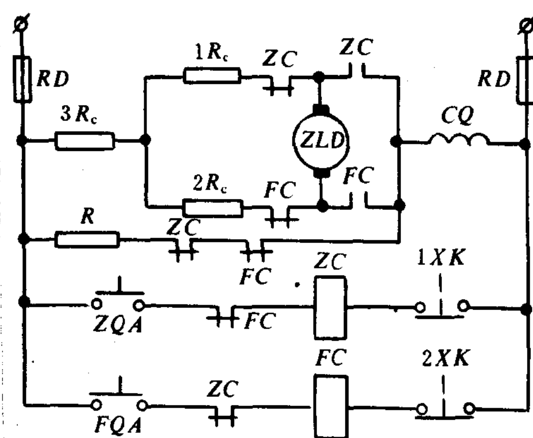


图 8.3.4—36 直流串励电动机他励能耗制动控制线路

5.6 直流串励电动机的反接制动

5.6.1 原理

直流串励电动机的反接制动状态与他励机相同。图 8.3.4—37 为直流串励电动机带有反接制动的控制线路，主令控制器 LK 控制电动机正反转，采用时间原则控制起动。

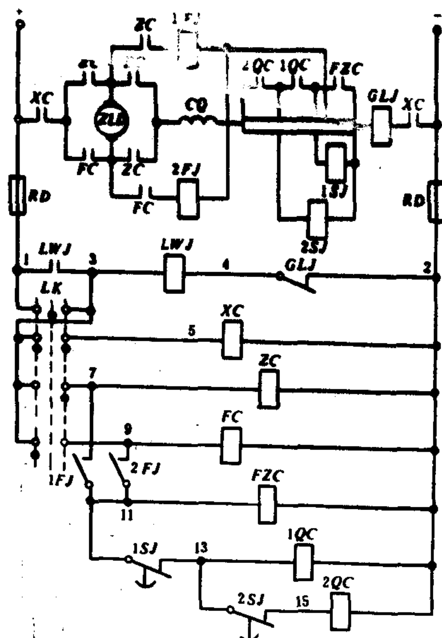


图 8.3.4—37 直流串励电动机带反接制动的自动控制线路。

正转时动作过程

LK(3～5)闭合→XC、ZC→1SJ、2SJ→1FJ→FZC(反接制动接触器)→1SJ 失电→1QC→2SJ 失电→2QC→起动完毕。

当 LK 突然搬到反转时，电动机转向仍保持正转方向，但 XC、FC 闭合，反接继电器 FJ，线圈电压变得很小，触头断开，FZC 失电，电机电枢电路串入反接制动电阻，进行反接制动，转速迅速下降，当 n 接近于零时，FJ 线圈电压升到动作电压，FZC 线圈得电，短接反接电阻，然后可以反向起动，此时机械特性位于 II、III 象限(图 8.3.4—38)。如果电动机在位能负载(如起货机的提升机构下放重物)时，可以用转速反向的方法实现外力反接制动，机械特性位于第四象限。

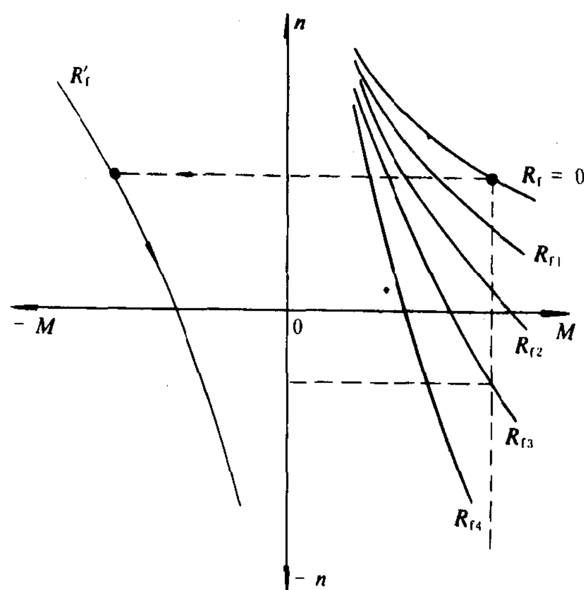


图 8.3.4—38 直流串励电动机反接制动特性

5.6.2 特点

①反接制动时，电枢回路电流很大，必须串入较大的限流制动电阻。

②电源反接制动时，只能将电机电枢反接（或磁场反接），而不能将电枢与磁场同时反接。

6　交流异步电动机的制动

6.1　交流异步电动机的机械制动

6.1.1　原理

机械制动一般采用制动抱闸，即瓦式制动器与制动电磁铁配合作用。目前电力液压推杆制动器已得到广泛应用。机械制动的控制线路分两种形式。

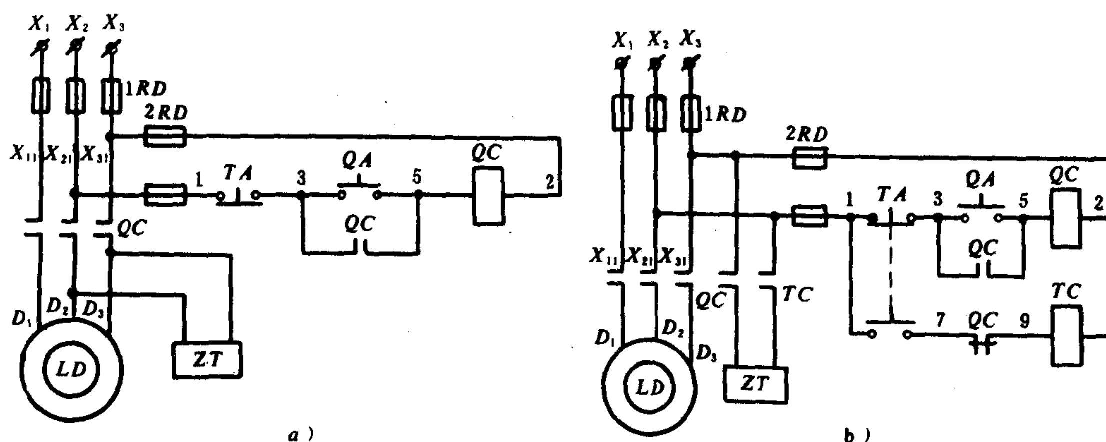


图 8.3.4—39　机械制动控制线路

a）切断电源时的机械制动线路；b）有电源时机械制动线路

图 8.3.4—39a）是切断电源时起制动作用的机械制动控制线路。图 8.3.4—39b）是接通电源时起制动作用的机械制动控制线路，其中 ZT 为制动电磁机构。

6.1.2　特点

①可以克服任何外加力矩，实现准确停车。如提升机构起吊重物时，通过抱闸可以使重物停留在需要高度。

②制动时间短，但冲击振动较大。

6.2　交流异步电动机的再生制动

6.2.1　原理

外界输入转矩（如重物的重力）使电机加速，且当转速 n 超过同步转速 n_0 时，感应电势反向，电流与电磁转矩也随之反向，起着阻碍运动的作用，电动机相当于发电机运行在第二象限（反向时再生状态运行于第四象限）。将输入能量转换成电能回馈到电网（见图 8.3.4—40）。

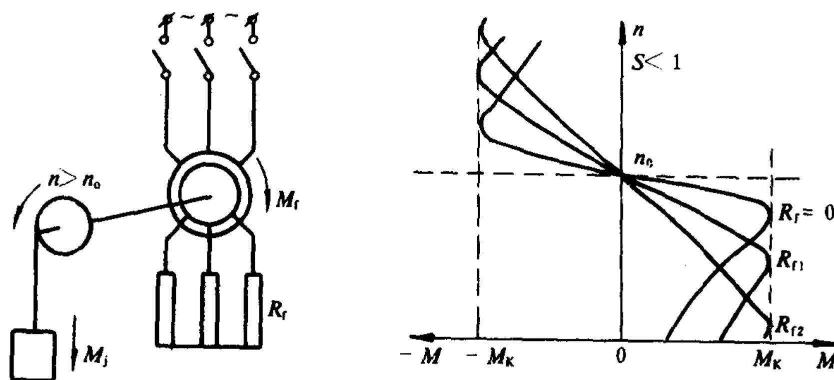


图 8.3.4—40　交流异步电动机再生制动状态及机械特性

6.2.2　特点

①不需改变线路，即可从电动状态自动转入再生（发电）制动状态。

②只有当 $n>n_0$ 才能获得再生制动转矩，此时能量可回馈到电网，比较经济。

③这种制动只能得到稳定转速（如稳速下放重物）而不能使电机停止运转。

6.3　交流异步电动机的反接制动

异步电动机的反接制动有两种，一种是外力（倒拉）反接，另一种是改变电源相序的电气反接。

6.3.1　原理

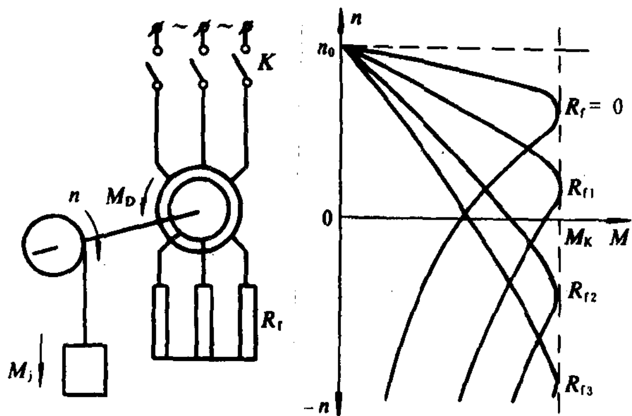


图 8.3.4—41　交流异步电动机外力反接制动机械特性

①外力反接制动：电动机提升重物负载时，若转子被负载拖着向下逆转，电动机便进入外力反接制动状态（图 8.3.4—41）。这时虽然电动机按提升方向（即电动方向）接通电源，但因转子回路串入较大电阻，电动机获得软特性，并工作在第四象限，电动机按下降方向旋转，重物匀速下降。

②电气反接制动：改变电动机定子电源电压的相序，n_0 反向，转子电势与电流反向，随之转矩也反向，将使正转的电动机反转，但由于电机有惯性，电源反接之初，电机仍按原来方向旋转，并在负载转矩与电磁转矩的共同作用下使电机很快停下来。这时若不切断电源，电机将反向起动。

在运行换接过程中为了限制大的制动电流，转子回路串入大的电阻，机械特性从第一象限经第二象限的软特性过渡到第三象限。见图 8.3.4—42。

6.3.2　特点

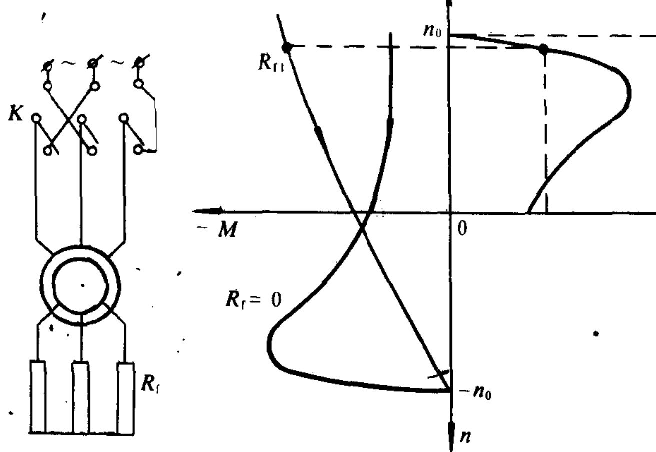


图 8.3.4—42　交流异步电动机电气反接制动

①设备简单，制动迅速，适用于制动要求迅速、系统惯性较大的场合。

②制动能量损耗较大，而且产生较大的制动冲击，不宜于频繁制动。

③为了限制很大的制动电流（可高达额定电流的 10 倍左右）必须接入制动电阻，其阻值可根据以下经验公式计算。当电源电压为 380V，电动机直接起动电流为 I_q，而要求反接制动时的最大电流也等于 I_q 时，则每相串接电阻为：

$$R \approx 0.13 \times \frac{220}{I_q} \quad (\Omega)$$

若最大制动电流限制为 $1/2\ I_q$，则每相串接电阻为：

$$R \approx 1.5 \times \frac{220}{I_q} \quad (\Omega)$$

若反接制动只在电源两相中串联电阻，则制动电阻为上述电阻 R 的 1.5 倍。

6.3.3　反接制动控制线路

①异步电动机单向起动反接制动控制线路（图 8.3.4—43）。

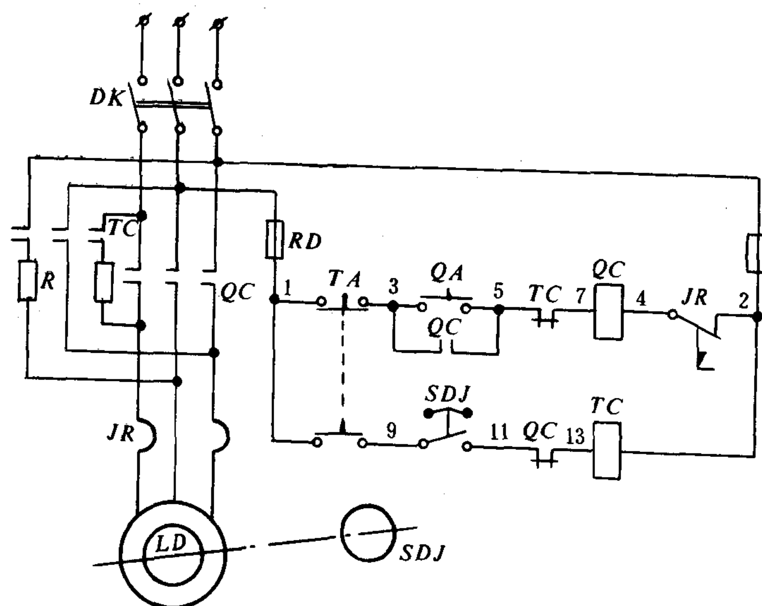


图 8.3.4—43　交流异步机单向起动电气反接制动控制

图中，SDJ 为速度继电器(或称反接制动继电器)，它由电动机带动旋转，当电动机转速达到 120r/min 以上时，常开触头闭合，为反接制动作准备。当电动机正常运转时，揿停止按钮TA，则 QC 断开，TC 通过 SDJ(9—11)吸合，电动机进入电气反接制动状态。当电动机转速低于 100r/min 时，SDJ(9—11)断开，TC 断开，电动机逐渐停下来。SDJ 技术数据见表 8.3.4—13。

表 8.3.4—13 **速度继电器技术参数**

名称	型号	交流				最高允许转速(r/m)	触点数	
		额定电流(A)	额定电压(V)	接通电流(A)	分断电流(A)		动合	动断
速度继电器	JY1	3	380	5			2	2
反接制动继电器	JFZO—1	2	380	3	0.3	300～1000	2	2
	JFZO—2	2	380	3	0.3	1000～3600	2	2

②异步电动机正反转反接制动控制线路(见图 8.3.4—44)。

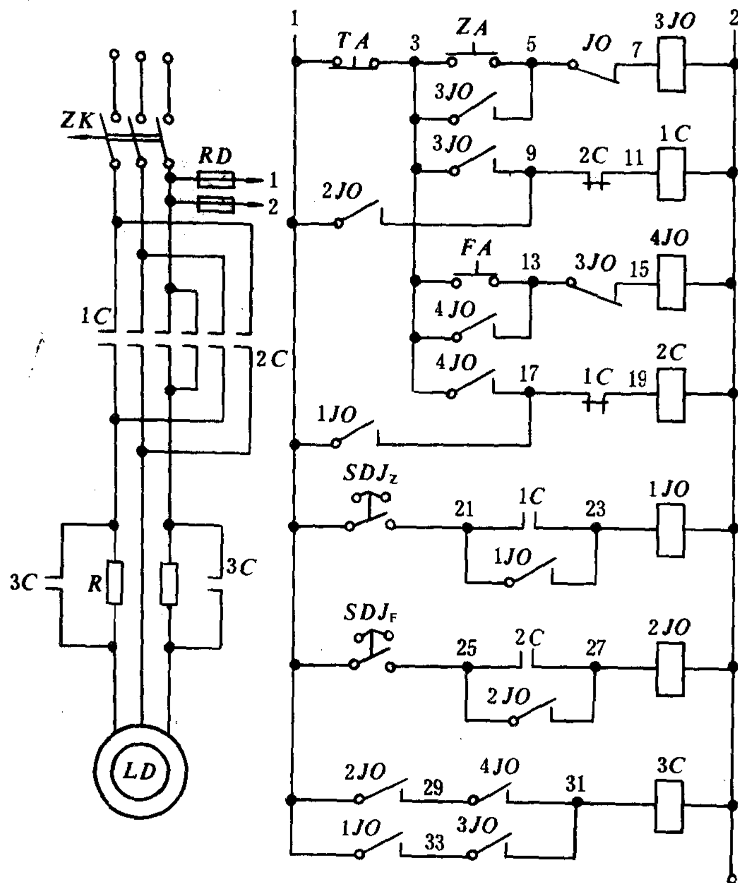


图 8.3.4—44 交流异步电动机正反向反接制动控制线路

图中主回路电阻 R，既限制了起动电流，又可限制反接制动电流。1JO～4JO 为中间继电器，1C，2C 为正反转接触器。其动作顺序为：

正转时，按 ZA→3JO→1C→电动机降压起动→转速上升→SDJ_Z(1－21)→1JO→3C→R被短接，电动机起动完毕。

正转停车时，按 TA→3JO、1C、3C 失电→2C 通过 1JO(1－17)吸合(电动机转速仍高，SDJ仍闭合，1JO 保持吸合状态)。电动机电源相序反接，进入反接制动状态，当电动机转速低于100r/min 时，SDT_Z(1－21)断开，1JO、2C 释放失电，制动过程结束。

反转时，按 FA 按钮，4JO、2C 动作，过程与正转起动相同。

6.4 交流异步电动机的能耗制动

6.4.1 原理

当切断异步电动机交流电源，并在定子的两相(Y 接法)或一相(Δ 接法)绕组中输入直流电，于是在定子绕组中产生一个恒定的磁场，使继续旋转的转子所感应的电势与电流反向，此时转矩与转速方向相反，形成制动转矩，机械特性从电动状态过渡到第二象限的能耗制动状态(图 8.3.4—45b)转子的动能转化为电能，消耗在电阻上。图中 a)表示制动转矩与输入绕组的直流电流大小有关，增大励磁电流会增大制动转矩。图中 b)表示绕线式异步电机的制动转矩与转子电路中的电阻有关。转子回路接入适当制动电阻，可以获得足够大的制动转矩。

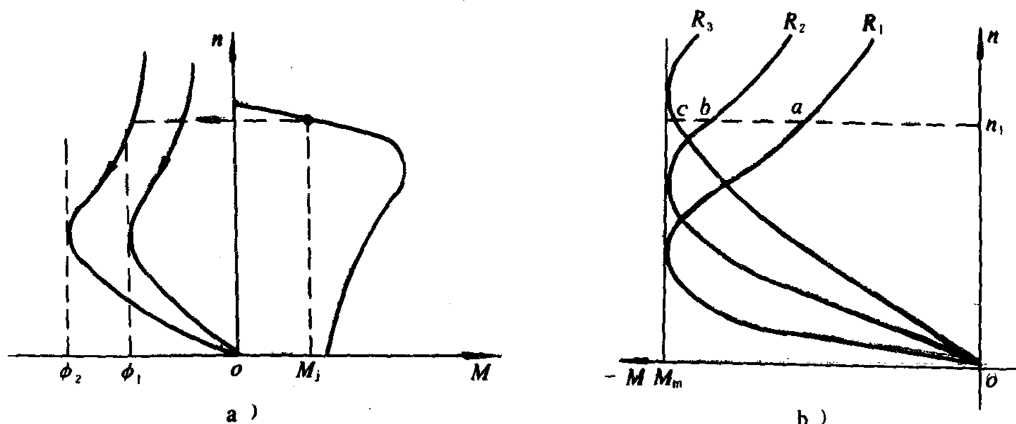


图 8.3.4—45 交流异步电动机的能耗制动机械特性

6.4.2 特点

①制动平稳、迅速，且制动电流较小。

②需要一套整流电源，同时因定子绕组的直流电阻较小，所需直流电压较低，故必须采用变压器降压。其主电路与控制电路如图 8.3.4—46 所示。图 a)中 GZ 为桥式整流电路；ZLB 为整流变压器，ZDC 为制动接触器。图 b)是通过 ZDC 进行单相整流实现能耗制动，而不需整流变压器。图 c)为采用速度继电器 SDJ 实现能耗制动的控制电路；图 d)是采用时间继电器 SJ 完成延时控制的能耗制动控制电路。

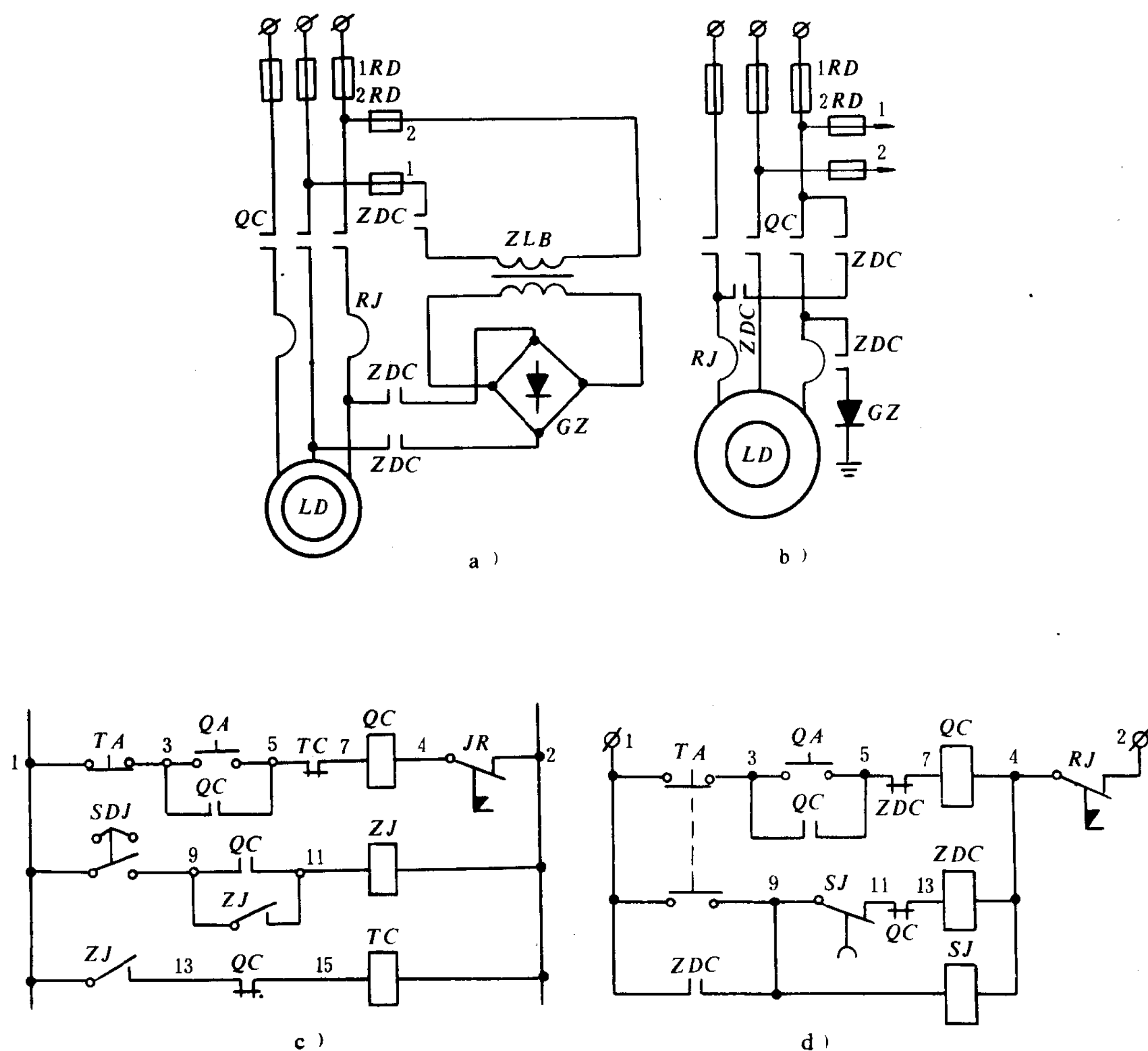


图 8.3.4—46　交流异步电动机能耗制动电路

a)、b)能耗制动主电路；c)采用速度继电器的控制电路；d)采用时间继电器的控制电路

③对于绕线式异步电动机，为限制制动电流，增加制动转矩，在转子中可以串接制动电阻，其阻值通常取：

$$R_Z = (0.2 \sim 0.4)R_{2e}$$

式中：$R_{2e}=\dfrac{V_{2e}}{\sqrt{3}\,I_{2e}}$——转子每相额定电阻，Ω；

U_{2e}——转子开路电压，即转子堵转时的集电环间开路电势，V；

I_{2e} ——转子额定电流，A。

U_{2e}、I_{2e}可以从电机铭牌或产品目录查到。

7　直流电动机的转速调节

7.1　基本调速方式

由直流电动机的机械特性方程式(8.3.4—9)可以看出，改变电枢回路电阻R、外加电枢电压U及励磁磁通Φ等参数中的任一参数，就可改变电动机稳定运行速度，从而获得三种基本调速方式。

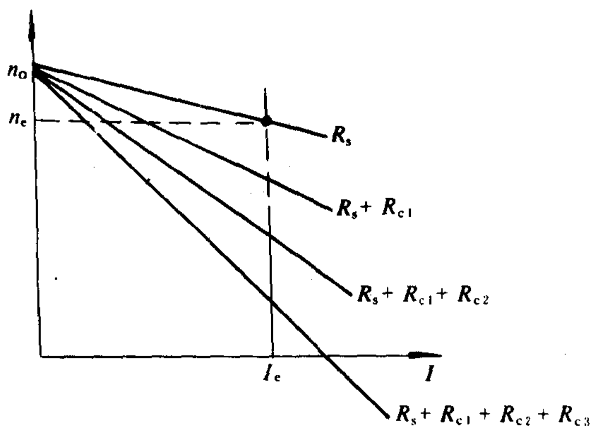


图8.3.4—47　直流电动机电枢串电阻调速的机械特性

7.1.1　改变电枢回路电阻调速

以直流他励电动机为例，当改变电枢回路附加电阻R_C的数值，即可获得一组机械特性曲线，如图8.3.4—47所示。随着R_C增加，特性斜率增大，在同一负载下，转速降Δn增加，转速变低。即

$$n=\frac{U}{C_e\Phi}-\frac{(R_s+R_c)I_s}{C_e\Phi}=n_0-\Delta n。$$

这种调速方式的性能特点是：

①U、Φ恒定，调节R_C属恒转矩调速，可获得额定转速n_e以下的速度调节，且速度愈低，特性愈软，稳定性(静差率δ%)愈低。

②因电枢回路电流较大，附加调速电阻R_C只能分段抽头切换，所以只能进行有级调速，调速平滑性差。

③调速范围不大，轻载时调速范围更小。

④调速方法简单，但损耗大，运行不经济。仅适用于低速运行时间不长的起重、卷扬等重复短期工作制的拖动系统。

图8.3.4　48

直流他励电动机调节端电压的机械特性

7.1.2　改变电枢电压U调速

在R_s、Φ不变的情况下，调节他励电动机端电压U，可以获得一组平行于自然特性的机械特性曲线。其理想空载转速n_0随端电压成比例变化，而特性硬度不变，如图8.3.4—48所示。其调速性能如下：

①由于在额定电压U_e以下调节端电压，故转速也是在额定转速n_e以下调节，属恒转矩性调速。

②由于特性硬度不变，所以稳定度较高，调速范围较大。

③当供给电动机的电源连续变化时，可以得到无级平滑调速。然而需要专门可调的直流供电装置，其初始投资较大。

目前应用较多的可调直流电源是直流发电机和晶闸管整流装置，以这些装置为基础的调速系统有：

①直流发电机—电动机调速系统；

②交磁放大机—电动机调速系统；

③由交磁放大机励磁的直流发电机—电动机系统；

④由晶闸管励磁的直流发电机—电动机系统；

⑤由晶闸管供电的直流电动机调速系统；

⑥由磁放大器励磁的直流发电机—电动机调速系统。

7.1.3 改变磁通Φ调速

在直流他励电动机端电压为额定电压 V_e 时，减小电动机励磁磁通Φ，使转速升高，称为弱磁升速。

在调速公式(8.3.4—9)中，Φ减小，n_0 提高，使电动机得到在 n_e 以上的转速调节，特性变软。

调速性能为：

①励磁电流小，损耗小，而且可以通过变阻器进行连续调节，实现无级平滑调速。

②只能在 n_e 以上调节，调节范围不大（一般 D=2）转速高时，机械特性较软，稳定度（静差率）变低。

③随着Φ减小，转速升高，转矩M减小，而输出电磁功率 $P=\frac{M\cdot n}{975}=P_e$ 基本不变，属恒功率调速。

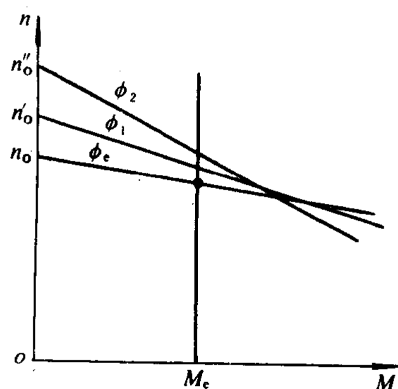


图 8.3.4—49 直流他励电动机调节励磁的机械特性

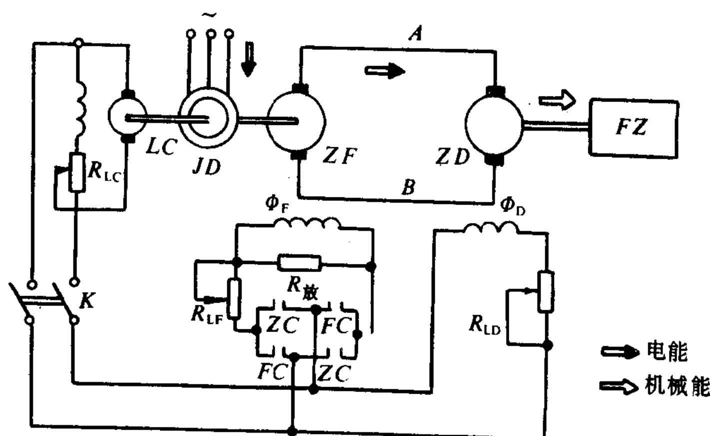


图 8.3.4—50 直流发电机—电动机系统

7.2 F—D系统调速原理及控制

7.2.1 系统组成

直流发电机—电动机调速系统简称F—D系统。直流电动机D由直流发电机F供电。F与D的磁场电流由励磁机LC提供，原理如图8.3.4—50所示。F、LC的原动机为交流异步电动机JD。发电机与电动机的磁场励磁电流也可以由整流桥或晶闸管整流桥提供（图8.3.4—

51)。

7.2.2 运行原理

在图 8.3.4—50 中，首先应起动原动机 JD，使并励机 LC 逐步达到额定电压，保证直流电动机 D 的励磁绕组达到额定励磁电流。然后再通过接触器 ZC 或 FC 给发电机 F 励磁，随着发电机励磁电流增加，输出电压逐步升高，直流电动机平稳起动。

在图 8.3.4—51 中，首先应起动发电机的原动机 JD，使其达到额定运转速度，同时使晶闸管整流桥 SCR_1～SCR_6 及整流桥 GZ 同时接上交流电源，保证直流电动机 D 得到额定激磁。这时若要起动直流电动机，只要使接触器 ZC 或 FC 闭合，并触发晶闸管 SCR_1～SCR_6 使直流发电机 F 逐渐增大激磁，就能使直流电动机平稳起动。

图 8.3.4—51

晶闸管激磁的直流发电机—电动机系统

7.2.3 转速调节

F—D 系统的转速调节有两种情况：

第一，电动机磁场保持额定，而只调节发电机的励磁，从而改变发电机的输出电压，即调节电动机的电枢端电压，以达到调节电动机转速的目的，实现额定转速以下的转速调节，属恒转矩调速。在图 8.3.4—50 中，可以通过调节直流发电机励磁回路变阻 R_{LF} 的阻值来实现这种调速方式；而在图 8.3.4—51 可以通过调节晶闸管的导通角来实现这种调速方式。

第二，若为了扩大系统调速范围，还可以在上述调速方法的基础上，在保证直流电动机额定端电压的情况下，调节电动机励磁回路的变阻器 R_{LD}，减少励磁电流，实现电动机额定转速以上的速度调节，且属于恒功率调速。

图 8.3.4—52 F—D 系统控制电路

7.2.4 特点

①调速范围较大，在静差率要求不高的情况下调压调速范围可达 10∶1 左右，调磁调速范围可达 2～4∶1，所以 F—D 系统的总调速范围可达 30∶1 左右。

②起动、制动平稳，调速平滑，操作方便损耗较小，但过渡过程时间较长。

③机组占地面积较大，效率较低。

7.2.5 控制电路

图 8.3.4—52 为典型的 F—D 系统控制电路原理图。图中 ZC、FC 为正反转接触器，ZDC 为能耗制动接触器，XC 为线路接触器，SJ 为时间继电器，JSC 为励磁调节接触器，LJ 为电流继电器，GLJ 为过电流继电器。

正向或反向起动时，由于 SJ 和 JSC 的延时闭合，发电机励磁绕组串入了全部调节电阻 R_{LF}使励磁电流最小，保证电动机在低压下起动。同时，即使 SJ 延时以后 JSC 常开触点闭合，只要在起动过程中起动电流超过电流继电器 LJ 的动作电流，LJ 常闭触点断开，也保证了发电机励磁电流最小。只有当电动机电枢电流减少到规定值，LJ 常闭触点闭合，发电机励磁电流增加，电动机加速。当调节 R_{LF}数值，就可实现电动机转速的调节。停车时电动机通过 ZDC 实现能耗制动。

7.3 JDF—D 系统调速原理及控制

7.3.1 系统组成及其运行

交磁电机放大机—电动机调速系统，简称 JDF—D 调速系统(图 8.3.4—53)。直流电动机 D 由交磁电机放大机 JDF 供电。交磁电机放大机是一种特殊的直流发电机，它除了有补偿绕组 BCQ、换向极绕组 HXQ 和交轴去磁绕组外，还具有多个(一般 2～4 个)控制绕组作为给定和反馈用。它由专门的交流电动机作为原动机，给定绕组 KQ_I 上的直流电压和电动机的励磁电流由专门的直流电源供电。本图中的另外两个控制绕组 KQ_{II}、KQ_{III}分别作电压负反馈和电流正反馈用。当调节 KQ_I 绕组的给定电压值，就可以用很小的励磁电流控制 JDF 的输出电压，从而达到调节电动机转速的目的。

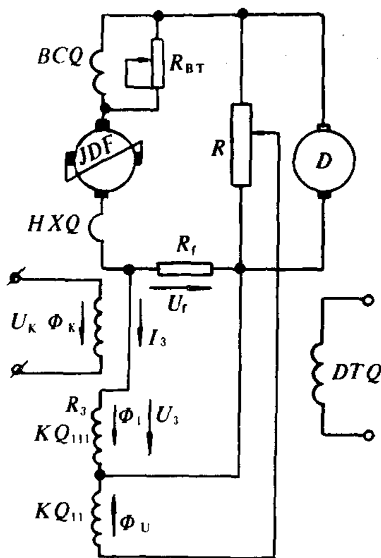


图 8.3.4—53 JDF—D 调速系统

7.3.2 特点

①引入电压负反馈，可以维持电机放大机输出电压基本不变，以减少电动机的转速降，同时还可以减少剩磁，消除“爬行”，加快过渡过程。

②加入电流正反馈，可以提高特性硬度，扩大调速范围。

③电压负反馈与电流正反馈一般同时使用，也可以单独使用电压负反馈或速度负反馈，而不允许单独使用电流正反馈，以免系统不稳定。

④由于交磁电机放大机时间常数小并具有较大的放大倍数，所以它既可以在小功率拖动系统中直接给电动机供电，也可以在 F—D 系统中作发电机的励磁机，构成 JDF—F—D 系统。

7.3.3 技术准备

第一，放大机应做运行前的调整和电枢反应补偿的调节，并进行极性检查。确定极性后应按表 8.3.4—14 的规定标上标志。

第二，连接反馈信号的控制绕组要注意极性，可以使导线与相应的接线端短暂接触，接触瞬间观察放大机电压，对于负反馈，放大机电压降低，极性才正确。

第三，不允许放大机反转。

第四，放大机补偿调节电阻应仔细安装调整，不能断路。否则直轴电流全部流经补偿绕组，

导致带载后电压过高，乃至自激，放大机失控。

表 8.3.4－14　　**JDF 绕组出线端标志**

绕组名称		出线端标志	
		始端	末端
补偿绕组		BC_1	BC_2
电枢绕组		S_1	S_2
换向极绕组		H_1	H_2
交轴助磁绕组		J_1	J_2
交流去磁绕组		QC_1	QC_2
控制绕组	第一个	KI_1	K_2^{I}
	第二个	KII_1	K_2^{II}
	第三个	$KIII_1$	K_2^{III}
	第四个	KIV_1	$KIII_2$

8　交流异步电动机的转速调节

8.1　调速方式

根据异步电动机旋转磁场理论有下列关系：

$$n_1=\frac{60f_1}{P}$$

式中：n_1——定子旋转磁场转速；

f_1——电源频率；

p ——电机极对数。

而异步电动机的转差率为：

$$s=\frac{n_1-n}{n}$$

故异步电动机的转速可表示成：

$$n=\frac{60f_1}{p}(1-s) \tag{8.3.4—21}$$

由上述关系式可以得到以下几种调速方式：

①变极调速，即改变异步电动机的极对数 P 实现转速调节。

②变频调速，即改变电源频率 f_1 实现转速调节。其中又分交—直—交变频和交—交变频。

③改变转差率 s 调速，其中又可分为：绕线式异步电动机转子回路串电阻调速；绕线式异步电动机串级调速；异步电动机交流调压调速；以及电磁离合器调速。

8.2 变极调速

8.2.1 变极原理

图 8.3.4—54 是一台双速电动机的 A 相绕组，制造时分成两部分，即 $A_1—X_1$ 与 $A_2—X_2$ 两个半相绕组(B、C 两相与 A 相接法完全相同)。图中 a)是 $A_1—X_1$ 与 $A_2—X_2$ 顺次串联，构成四级；图中 b)是 $A_1—X_1$ 与 $A_2—X_2$ 首尾并联，形成两极，极数减少一半。

利用这个原理，除了得到倍极比(2/4，4/8 极)多速电机外，还可以得到非倍极比(4/6，6/8 极)多速电机。

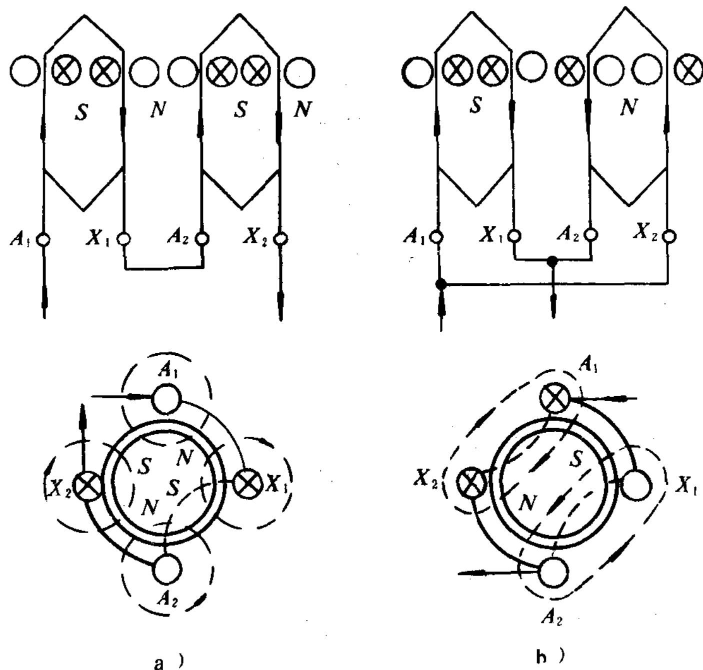


图 8.3.4 54 双速电机的绕组连接
a)半相绕组串联；b)半相绕组关联

8.2.2 变极的接线方式

改变定子绕组极对数，可以通过单一绕组改变不同的接线组合；或在定子槽内安放两种不同极对数的独立绕组；再或者在两种不同极对数的独立绕组基础上改变不同的接线组合，来实现变极调速。

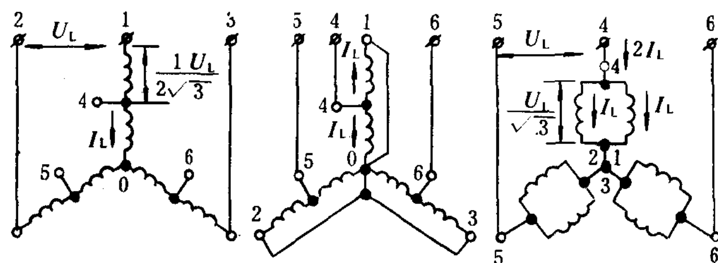


图 8.3.4—55 Y—YY 变换时的三相绕组

①图 8.3.4—55 所示 Y—YY 变换，即单星，形接法变换成双星形接法。

单星形时，端点 1、2、3 接电源，中间抽头 4、5、6 不用，三相绕组另外一端接在一起，形成中性点 O，此时输入功率为 $P_Y=\sqrt{3}U_eI_e\cos\Phi_r$。

双星形连接时，端点 4、5、6 接电源，端点 1、2、3 接在一起，并与中性点相连，此时，极对数由 2P 变为 P，同步转速增加一倍，输入功率 P_{YY} 比 P_Y 增加一倍。即：

$$n_{YY}=2n_Y$$

$$P_{YY}=\sqrt{3}V_e(2I_e)\cos\Phi_r=2P_Y$$

而 $M_{YY}=\frac{975P_{YY}}{n_{YY}}=\frac{975(2P_Y)}{2n_Y}=M_Y$

说明绕组由 Y 变换成 YY，同步转速与输入功率增加一倍，但输出转矩保持不变，属恒转矩调速．其机械特性如图 8.3.4—56a）所示。

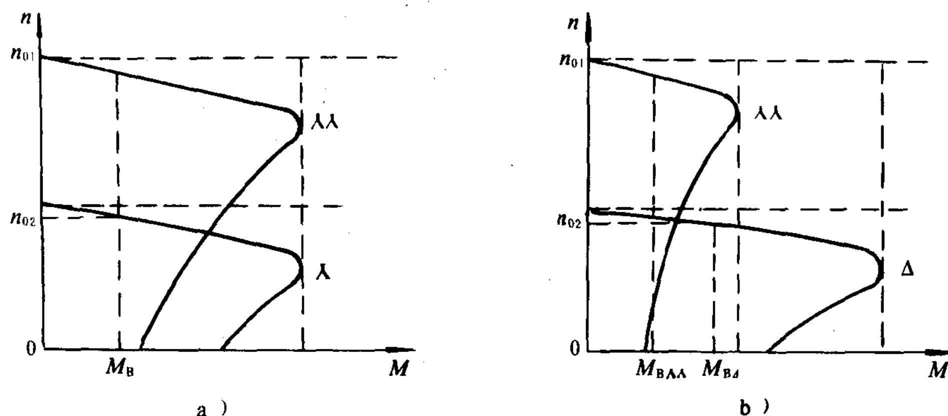


图 8.3.4—56　变极调速的恒转矩特性与恒功率特性

②图 8.3.4—57　为△—YY 变换，即三角形接法变换成双星形接法。

角形连接时，端点 1、2、3 接电源，端点 4、5、6 空着，三相绕组依次首尾相连，此时，输入功率为：

$$P_\Delta=3V_eI_e\cos\Phi_\Delta$$

而双星接法时，端点 4、5、6 接电源，端点 1、2、3 接在一起构成中性点，两个半相绕组并联，极对数较角形连接减少一半，同步转速增加一倍，而输入功率为：

$$P_{YY}=3\frac{U_e}{\sqrt{3}}(2I_e)\cos\Phi_{YY}$$

即　　$P_{YY}=1.15P_\Delta\approx P_\Delta$

而　　$M_{YY}=975\frac{\Phi_{YY}}{n_{YY}}\approx975\frac{P_\Delta}{2n_\Delta}=\frac{1}{2}M_\Delta$

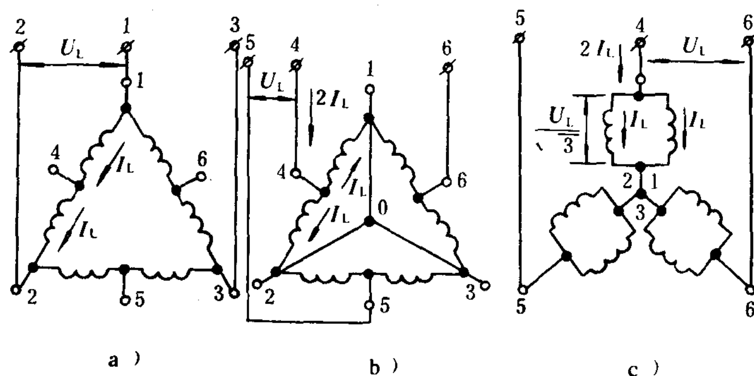


图 8.3.4—57　△—YY 变换时的三相绕组

这说明由△变换成 YY 后，转速增加一倍，输出转矩减少一半，输出功率基本不变，属于恒功率调速，其机械特性如图 8.3.4—56b）所示。

8.2.3　变极调速的应用范围

变极调速效率高，机械特性硬，而且操作简便，初始投资小，既可获得恒转矩调速，又可获得恒功率调速，但只能进行有限的有级调速。为此，这种调速方案多用于对调速的平滑性要求不高的场合，如船舶起货机和锚机拖动控制系统等。

8.2.4 控制电路

1)用手柄操作的双速开关控制

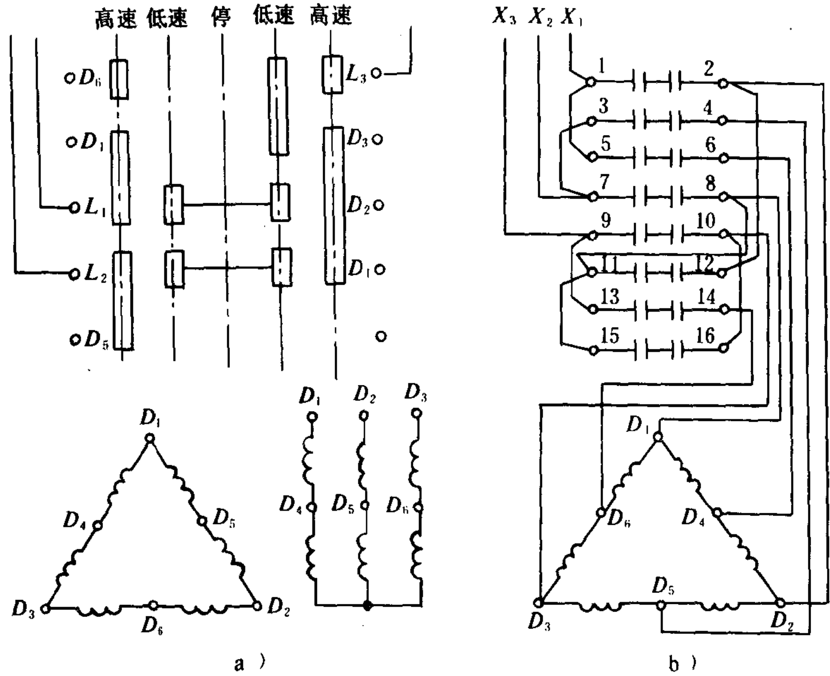


图 8.3.4—58 双速开关接线图

a)HZ_3—451 系列；b)HZ_5 系列

常用的有 HZ_3—451 系列及 HZ_5 系列，其接线图如图 8.3.4—58 所示，触点闭合情况见表 8.3.4—15 及表 8.3.4—16，可用于 Y—YY 控制与△—YY 控制。

2)用交流接触器控制

图 8.3.4—59 与图 8.3.4—60 所示，分别用两只接触器与三只接触器控制的 Δ—YY，变极调速电路，所不同的是前者控制 2kW 以下异步电动机，后者控制容量较大的电动机。

表 8.3.4—15 **HZ_3—451 触点闭合表**

转换位置 / 触点	低速	停	高速
	Δ(Y)	断开	YY
L_1—D_2	×	—	—
L_2—D_1	×	—	—
L_3—D_3	×	—	—
L_1—D_4	—	—	×
L_2—D_5	—	—	×
L_3—D_6	—	—	×
D_1—D_2—D_3	—	—	×

表 8.3.4—16　HZ- 系列触点闭合表

触点编号 ＼ 定位特征及接线图编号	MO₈ 0	1	2
1—2	—	×	—
3—4	—	—	×
5—6	—	—	×
7—8	—	×	—
9—10	—	×	—
11—12	—	—	×
13—14	—	—	×
15—16	—	—	×

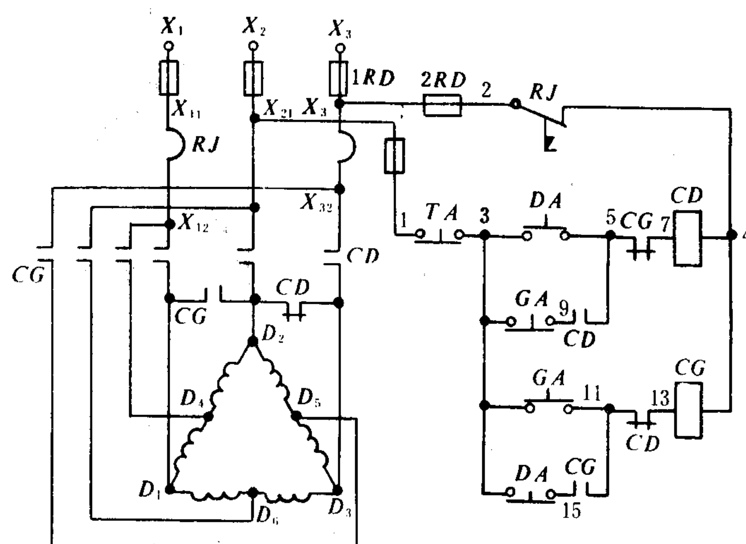


图 8.3.4—59　用两只接触器控制的变速电路

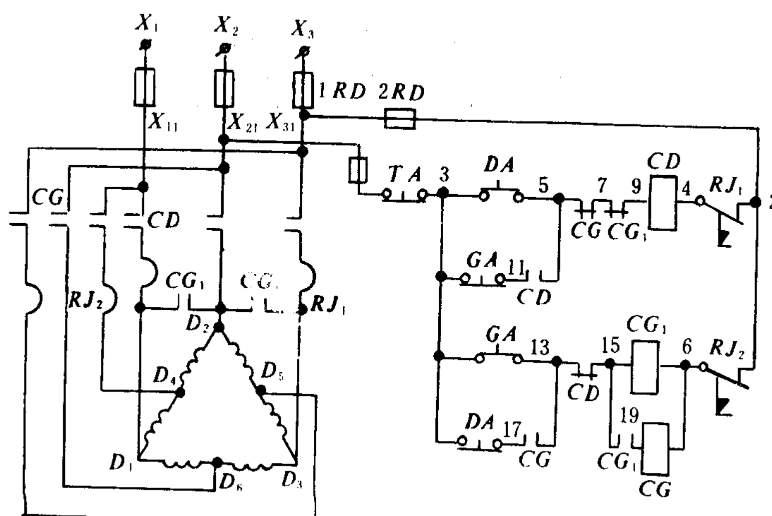


图 8.3.4—60　用三只接触器控制的变速电路

3)实际控制电路

双速电动机和三速电动机多用于锚机拖动控制系统。图 8.3.4—61 为三速异步电动机的内部接线与控制电路;图 8.3.4—62 是用于锚机拖动系统的 MDCI—20、40/2 电气原理图。

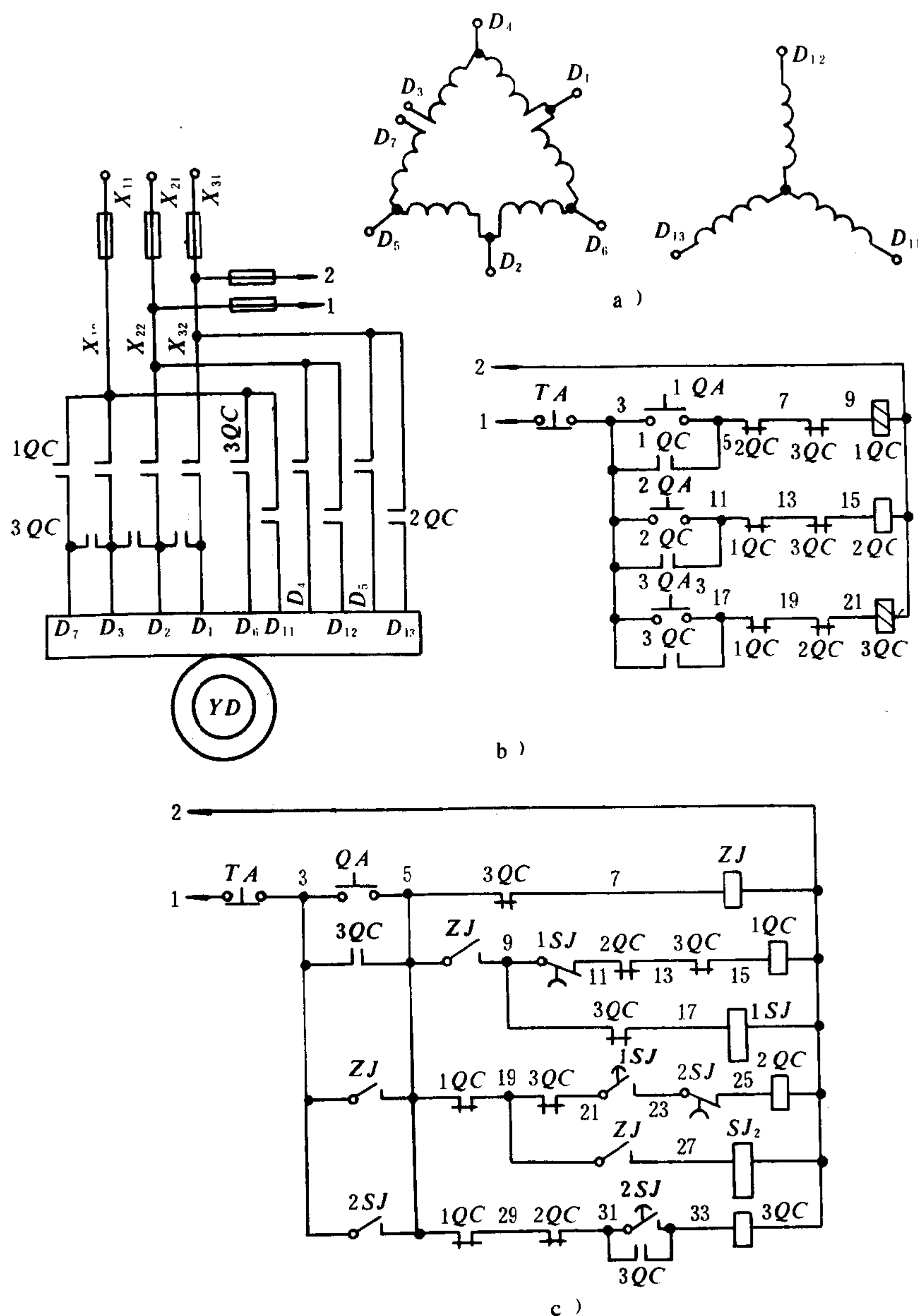


图 8.3.4—61 三速交流异步电动机内部接线和控制电路

a)定子绕组接线示意图;b)用交流接触器起动的电路;c)用交流接触器和延时继电器的自动加速控制电路

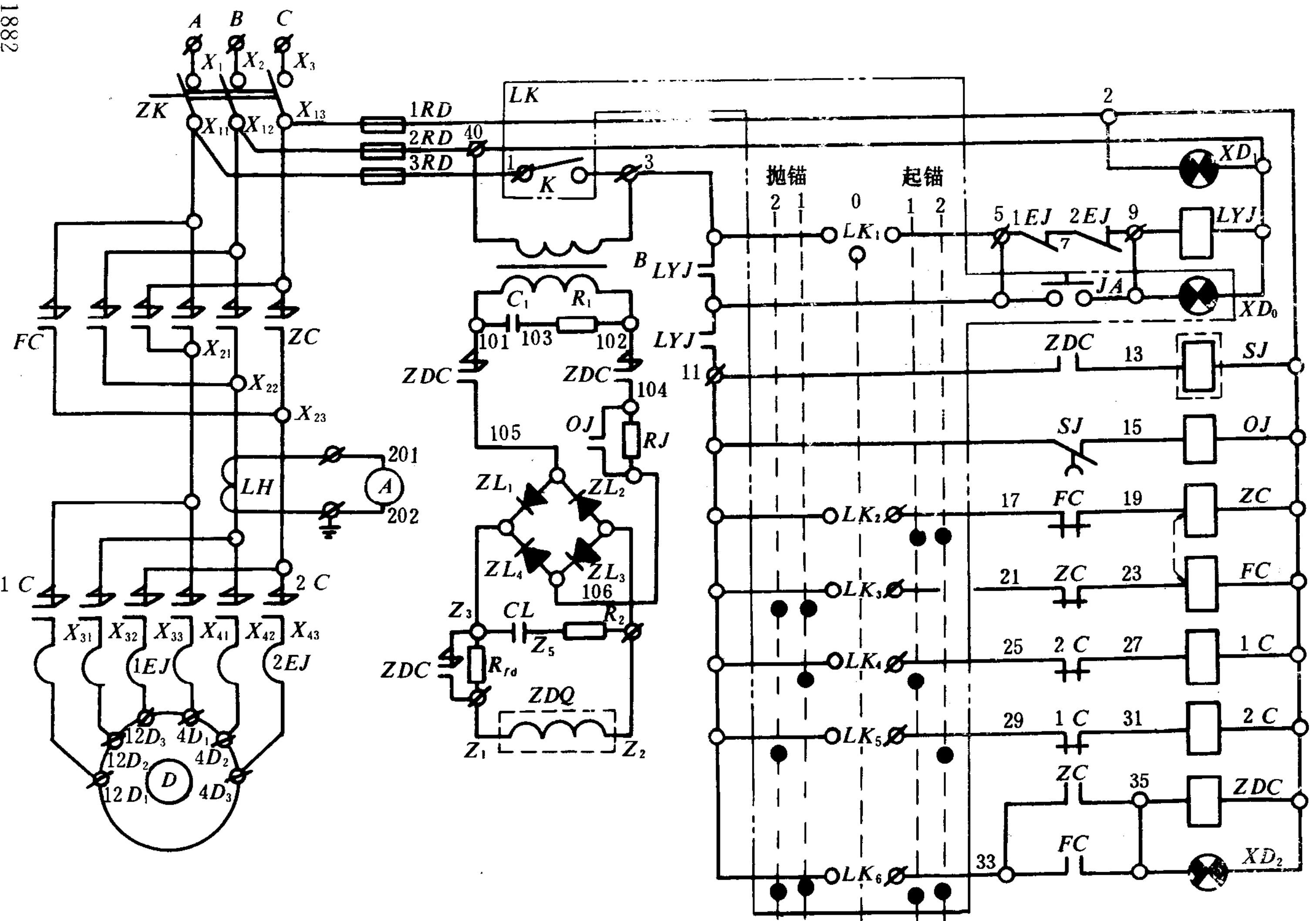


图 8.3.4－62　MKCI－20、40/2 锚机电气原理

$XD_{0\sim2}$	指示灯
1～3 RD	熔断器
$C_{1\sim2}$	电容器
$R_{1\sim2}$	电阻
R_{fd}	放电电阻
R_j	经济电阻
$ZL_{1\sim4}$	硅整流器
B	变压器
A	电流表
LH	电流互感器
ZK	自动空气开关
JA	应急按钮
K	控制电源开关
LK	主令控制器
SJ	延时继电器
1～2 EJ	热继电器
OJ	中间继电器
LYJ	零压继电器
1～2 C	速度接触器
ZC、FC	方向接触器
ZDC	制动接触器
ZDQ	直流制动器
D	电动机

8.3 绕线式异步电动机转子回路串电阻调速

8.3.1 调速原理

从绕线式异步电动机串电阻起动的机械特性可以看出，转子回路串入电阻后，电动机的最大转矩 M_m 和同步转速 n_1 都不变，但临界转差率随电阻 R 的增大而增加，当负载转矩 Mj 一定时，串入电阻越大，机械特性越软，电动机的转速越低。如图 8.3.4—63。

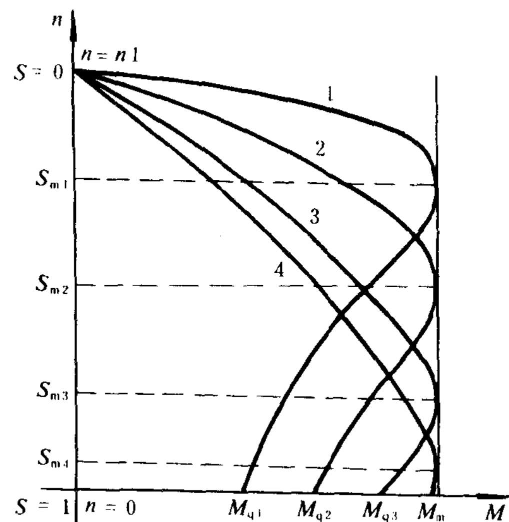


图 8.3.4—63

绕线式异步电动机转子串电阻调速的机械特性

8.3.2 调速特点

①只能进行有级调速，调速范围受负载转矩的影响，轻载时，调速范围很小。

②串电阻后，特性变软，稳定性较差。

③调速时转差功率全部损耗在电阻上，能量指标差。

④调速方法简单，适用于重复短期工作制的位能性负载，如船舶起重，绞缆起锚设备。

8.3.3 调速装置

绕线式异步电动机转子串电阻调速的控制装置常用 LK 系列。表 8.3.4—17～19 为 LK913 系列的主要规格和数据以及与之配套的电阻元件。

表 8.3.4—17 **LK913 触点额定数据**

持续电流(A)	最大允许接通电流(A)		每小时允许接通次数(次/h)	线路电压不超过(V)		感应负荷时最大允许断开电流 (A)	
						交流	直流
	交流	直流		交流	直流	380V	220V
15	75	12	600	380	220	10	1.5

表 8.3.4—18 **LK913 基本参数**

类别	型号	电路数	工作位置数	信号灯数	有否电阻	重量(公斤)
单联	LK913—08/A	8	4—0—4	3	有	70
	LK913—09/A	9	4—0—4	3		
	LK913—08	8	4—0—4	3	无	66
	LK913—09	9	4—0—4	3		
双联	LK913—16/A	16	4—0—4	6	有	120
	LK913—18/A	18	4—0—4	6		
	LK913—16	16	4—0—4	6	无	155
	LK913—18	18	4—0—4	6		

接触图表(续上表)

触头	向前				0	向后			
	4	3	2	1		1	2	3	4
K1	×	×	×	×					
K2						×	×	×	×
K3	×	×	×	×					
K4						×	×	×	×
K5	×	×	×	×		×	×	×	×
K6	×	×	×				×	×	×
K7	×	×						×	×
K8	×								×

×—触头关合

LK913—08

LK913—16

触头	向前				0	向后			
	4	3	2	1		1	2	3	4
K1	×	×	×	×					
K2						×	×	×	×
K3	×	×	×	×					
K4						×	×	×	×
K5	×	×	×	×		×	×	×	×
K6	×	×	×	×		×	×	×	×
K7					×				
K8	×	×						×	×
K9					×				

×—触头关合

LK913—09

LK913—18

表 8.3.4—19 **电阻箱与电阻元件**

序号	系列名称	主要规格	用途及说明
1	ZX98 船用	功率 0.15～0.6kW	一般作放电电阻箱,采用 ZG11 或 ZG3 电阻元件
2	ZX97 船用	功率 0.4～4.8kW	一般作起动、制动电阻箱,采用 ZB1 或 ZB2 电阻元件
3	ZX915 船用	功率 3.4～10.3kW	一般作调速电阻箱,采用 ZYH 电阻元件
4	ZX94 船用	功率 1.85～10.6kW	一般作调速电阻箱,采用 ZB1 或 ZB2 电阻元件
5	ZG11	7.5～200W 5～25000Ω	珐琅瓷管形电阻,有可调与不可调两种, 常用作附加电阻,放电电阻等
6	ZB1	0.95～0.2Ω 18.9～42A	平板形电阻,常用作起动电阻,扁铜丝结构
7	ZB2	260～0.7Ω 1.17～22.3A	同 ZB1,圆铜丝结构
8	ZYH	0.08～1.56Ω 107～24A	圆筒形电阻,用铁铬铝合金作电阻丝 容量大、阻值小,适用于调速电阻

8.4 电磁离合器调速

8.4.1 工作原理

电磁离合器是将异步电动机转轴和生产机械转轴，通过电磁感应原理作软性连接，以此传递功率的一种装置。电磁离合器分电磁滑差离合器和磁粉离合器两种。

图 8.3.4—64a)为电磁滑差离合器示意图。图中 1 是主动部分，它是由电磁材料制成的圆筒，称为电枢，由异步电动机带动作恒速旋转。2 是从动部分，上面装有激磁绕组 3。绕组引线接于集电环上，通过电刷与直流电源接通。当绕组通过直流电流产生磁场时，则异步电动机带动的电枢会因切割磁力线而感应涡流，涡流再与磁极的磁场作用产生电磁力并形成转矩，以致使内磁极组成的从动部分带动生产机械跟随电枢旋转，调节励磁电流的大小，就可调节从动部分的转速。但从动部分转速不会等于主动部分转速。只有保持"转差"，才能产生涡流，产生带动生产机械转动的转矩。机械特性如图 8.3.4—64b)所示。

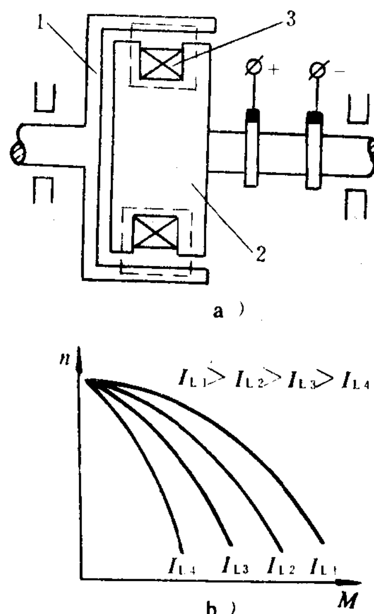


图 8.3.4—64 电磁滑差离合器
a)结构示意图；b)机械特性

8.4.2 系统组成

图 8.3.4—65 是电磁转差离合器调速系统组成原理图及其机械特性。系统由电磁转差离合器励磁控制装置和测速反馈装置等组成。

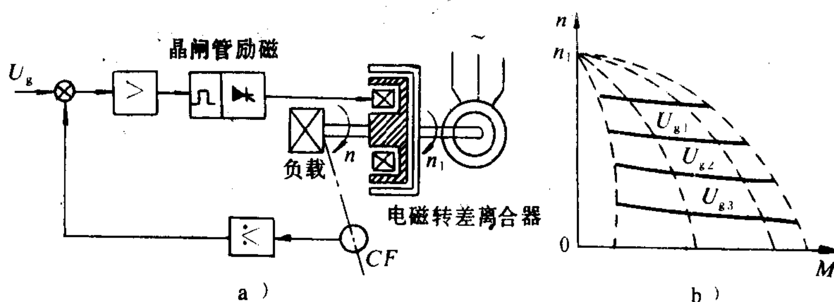


图 8.3.4—65 具有速度负反馈的电磁转差离合器调速系统

这种调速装置我国已有系列产品。附有测速发电机的电磁转差离合器型号有 JZT_1、JZT_2 系列（30kW 以下，励磁电流小于 3A）和 TZTT 系列（最大功率可达 90kW，最大励磁电流 5A），其控制装置为 ZLK 系列。图 8.3.4—66为上海成套电器厂生产的 JZT_1 单机手操作简易式转差离合器控制装置电气原理图。

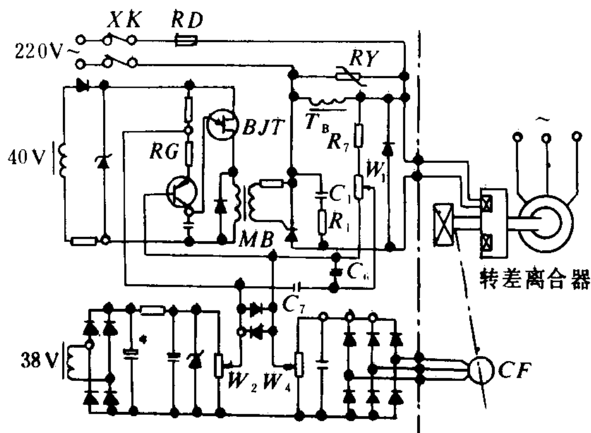


图 8.3.4—66　JZT_1 型控制装置电气原理图

8.4.3 特点

①可以进行无级平滑调速。但由于开环特性过软，必须引入速度负反馈才能获得硬特性，以扩大调速范围（可达 10:1），提高调速精度。

②结构简单，造价低廉，运行可靠，维护方便。

③低速时损耗大，传递效率低（高速时的传递效率仅为 80%～90%左右）。

④由于摩擦和剩磁的影响，当负载转矩小于额定负载的 10%时，可能会出现失控，故存在不可控区。

⑤适用于通风机负载和恒转矩负载，而不适用于恒功率负载。

8.5 串级调速

8.5.1 工作原理

异步电动机串级调速，就是在绕线式异步电动机转子回路内引入一个附加电势 E_f，用调节 E_f 的大小来实现转速调节。这个电势的频率与转子频率相同。引入电势的方向可与转子电势方向相同，也可相反。方向相同时，转子电流增加，使转矩提高，转速增加；方向相反时，转子电流减小，转矩减小，转速下降。电势 E_f 大小若平滑变化，则异步电动机的转速可平滑调节。

引入附加电势的方法很多，当前常用的是通过晶闸管组成的全控整流电路来获得。这种调速系统称为恒转矩的晶闸管串级调速系统（图 8.3.4—67）。

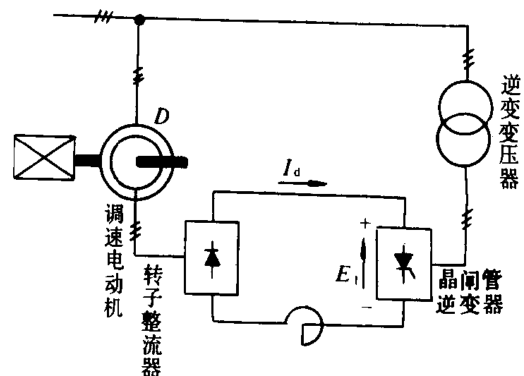


图 8.3.4—67　恒转矩晶闸管串级调速系统

转子的转差功率通过不可控整流器整流输出，再利用晶闸管组成的有源逆变电路逆变，将能量回馈入电网。改变逆变角 β 的大小，就可调节有源逆变器的逆变电压值，即改变了 E_f 值，实现了电动机低于同步转速的速度调节。实际系统参见本篇第五章。

8.5.2 特点

①可无级平滑调速。

②在调速过程中，机械特性硬度基本不变，故调速范围宽，稳定性能好。

③转差功率可返回电网，效率较高，适合于大容量绕线式异步电动机的转速调节。

④因逆变电压频率必须随转子转速而变化，这样的装置在技术上较复杂，设备投资较大。

⑤适用于通风机负载和恒转矩性负载。

8.6 定子调压调速

8.6.1 工作原理

定子调压调速是在恒定交流电源与异步电动机之间接入由晶闸管组成的调压装置，利用改变电动机端电压的方法来实现转速调节。

由于交流电压是正弦交变的，为了使异步电动机端电压是正、负半波对称的电压波形，每相采用两只晶闸管反并联连接，也可采用双向晶闸管(图 8.3.4—68a)所示)。对于不同的触发时刻，可获得不同的控制角 α，从而可得到相应的不同输出电压波形 U=f(t)(图 8.3.4—68b)所示)也就改变了加在电动机端电压的有效值。

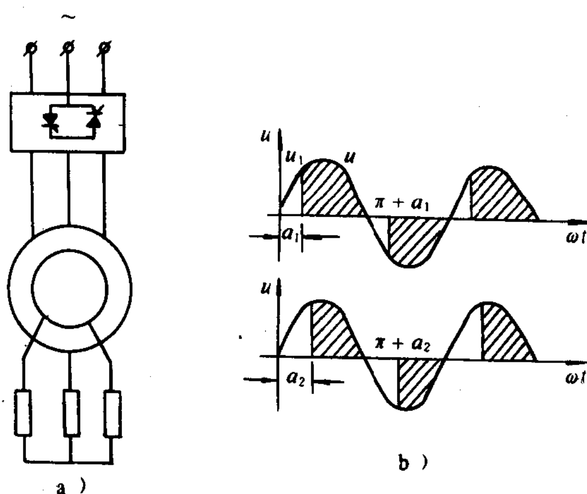


图 8.3.4—68 晶闸管交流调压调速
a)主电路；b)电压波形图

仅仅调节电动机端电压，对电动机实行开环控制，其机械特性如图 8.3.4—69a)所示，这种调速方法的调节范围不大，显然没有实用价值。目前多采用具有转速负反馈的调压调速系统，其组成如图 8.3.4—69b)所示。由于引入了速度反馈，静态特性硬度大大增加，见图 8.3.4—69c)，调速精度和调速范围得到很大提高。

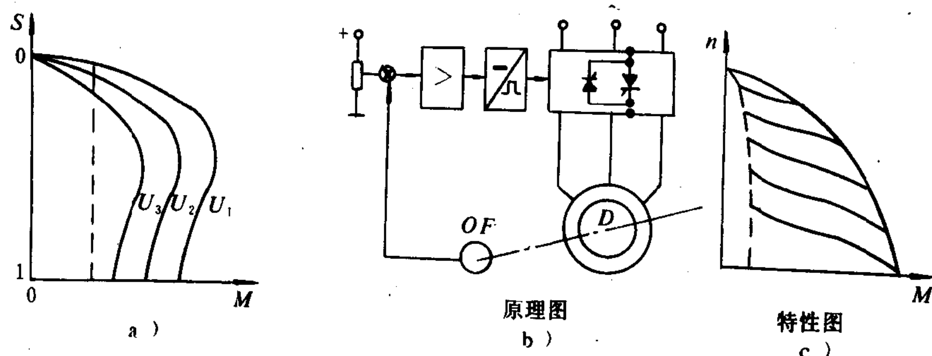


图 8.3.4—69 交流调压调速的机械特性与系统组成

8.6.2 特点

①调速系统线路简单，价格低廉，维修方便，可以对绕线式异步电动机或高转差鼠笼异步电动机实现无级平滑调速。调速范围可达 10∶1 或更大一些。

②低速运行时，转差损耗大，效率低。适用于短期或重复短期工作制的生产机械。

③存在高次谐波，功率因数较低。

④属恒转矩性调速，适用通风机负载或恒转矩性负载。

8.7 调频调速

8.7.1 工作原理

根据交流异步电动机的转速公式 $n=\frac{60f_1}{p}(1-s)$ 可以知道均匀改变定子供电电源频率，则可以平滑调节电动机的同步转速，而且在许多场合，为了保持在调速时电机的最大转矩不变，需要维持磁通恒定，为此定子电压也要求作相应调节，即 U/f＝常数，这时频率是在 50HZ 以下进行调频调速，属于恒转矩调速。在 50HZ 以上变频时可使定子电压为最大值并保持不变，实现电动机的恒功率调速。

当前，变频电源常用的形式是交—交变频和交—直—交变频。前者是把某一固定频率、固定电压的交流电源直接变为另一种可调频调压的交流电源。后者是首先把交流电整流成直流电源，再由直流电变为可调频调压的交流电源，图 8.3.4—70a)所示属于交—直—交串联电感式逆变器的变频调速主电路原理图。

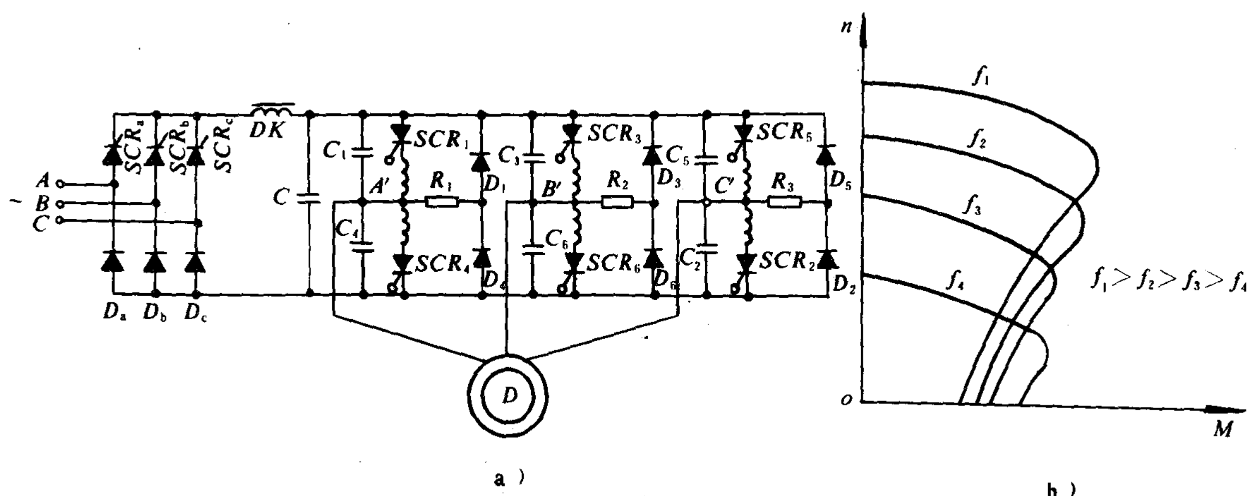


图 8.3.4—70 变频调速系统

a)主电路；b)特性

图中首先通过由 SCR_{a-c} 和 D_{a-c} 组成的半控整流电路，将三相工频交流电源整流成电压可调的直流电，然后经电感器 DK 和电容器 C 滤波以后，再经由 SCR_{1-6} 和 D_{1-6} 组成的逆变器变成可调的三相交流电输出，作为电动机的电源。通过对整流器和逆变器的协调控制，即获得所需的频率和电压最佳变化规律。具体控制电路见本篇第五章。

8.7.2 特点

①调速平滑性好，调速范围大，一般可达 10：1 至 50：1。

②频率改变时机械特性硬度基本不变，50HZ 以下可实现恒转矩调速，50HZ 以上则属于恒功率调速，输出转矩会相应减小，特性如图 8.3.4—70b)所示。

③变频调速系统控制线路较复杂，类型较多，且各具特点，交—直—交的直流电源型式又分电流型与电压型。其特点比较见表 8.3.4—20 与表 8.3.4—21。

表 8.3.4—20　**交—交变频器与交—直—交变频器主要特点比较**

比较内容＼变频器类型	交—交变频器	交—直—交变频器
换能方式	一次换能，效率较高	二次换能，效率略低
换流方式	电网电压换流	强迫换流或负载换流
装置元件数量	较多	较少
元件利用率	较低	较高
调频范围	输出最高频率为电网频率的 1/3～1/2	频率调节范围宽
电网功率因数	较低	如用可控整流桥调压，则低频低压时功率因数较低，如用斩波器或 PWM 方式调压，则功率因数高
适用场合	低速大功率拖动	可用于各种拖动装置，稳频稳压电源和不停电电源

表 8.3.4—21　**电流型与电压型交—直—交变频器主要特点比较**

比较内容＼变频器类型	电　流　型	电　压　型
直流回路滤波环节	电抗器	电容器
输出电压波形	决定于负载，当负载为异步电机时，近似正弦形	矩形
输出电流波形	矩形	决定于逆变器电压与负载电动机的电势，有较大的谐波分量
输出动态阻抗	大	小
再生制动	方便，主回路不需附加设备	需要在电源侧设置反并联逆变器
过流及短路保护	容易	困难
动态特性	快	较慢，如用 PWM 则快
对晶闸管要求	耐压高，对关断时间无严格要求	耐压一般可较低，关断时间要求短
线路结构	较简单	较复杂
适用范围	单机、多机拖动	多机拖动，稳频稳压电源或不停电电源

9 磁放大器控制

9.1 磁放大器

9.1.1 工作原理

在图 8.3.4—71a)所示的铁芯上，绕有交流线圈 $W_\sim$ 和直流线圈 $W_=$，交流线圈流过的负载电流：

$$I_\sim = \frac{U_2}{\sqrt{R_\sim^2 + (2\pi fL)^2}} \qquad (8.3.4\text{—}22)$$

式中：$R_\sim$、L——交流线圈的电阻与电感；

$U_\sim$——交流线圈电压。

显然，当 $R_\sim$ 不变时，$I_\sim$ 的大小仅与线圈电感 L 有关，而：

$$L = \mu w_\sim^2 \frac{s}{l} 10^{-8}$$

式中：μ——磁路的导磁率；

$W_\sim$——交流绕组匝数；

s——铁心截面积，(cm^2)；

l——磁通平均路径，cm。

因此，$I_\sim$ 的大小决定于磁路的导磁率 μ。当改变直流线圈中的激磁电流 $I_=$，就可以调节 μ 的大小，达到控制输出 $I_\sim$ 的大小，图 8.3.4—71b)表示在不同的 $I_=$ 下，磁路具有不同的磁通 Φ，也就有相应的 $I_\sim$ 的输出。

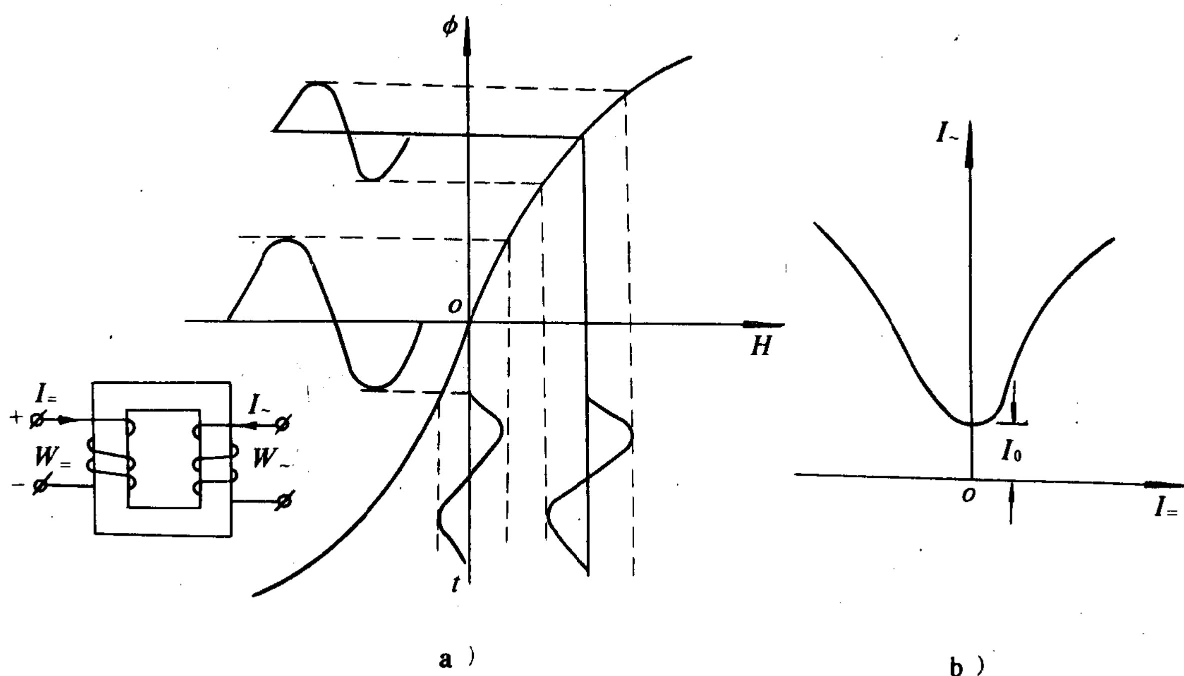


图 8.3.4—71 简单磁放大器

a)工作原理；b)放大特性

9.1.2 实际接线

在图 8.3.4—71a)的接线中，直流线圈相当于变压器的副端，会感应交流电势而难以工作。如果按图 8.3.4—72a)、b)的接线方式，就可以使交变磁通在直流线线圈中的感应电势相互抵消图中“*”号为同名端。

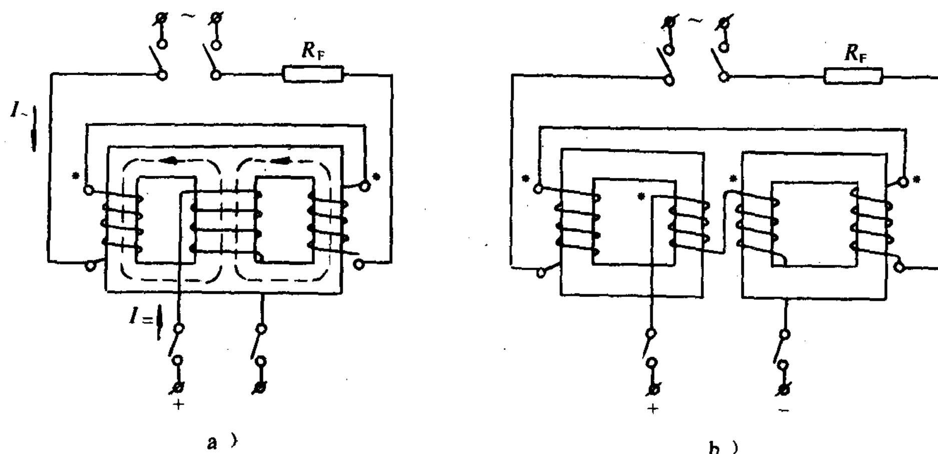


图 8.3.4—72 实际磁放大器接线图

9.1.3 位移绕组

图 8.3.4—71b)反映了 $I_{=}$ 与 $I_{\sim}$ 的输入—输出关系，但不能反映直流输入电流的极性。若按图 8.3.4—73a)接线，在线圈 W_P 加上一恒定直流励磁，输入—输出特性左移(或右移)。在图 8.3.4—73b)中，当控制电流 $I_{=}$ 为正时，负载电流 $I_{\sim}$ 增加，$I_{=}$ 为负时，$I_{\sim}$ 减小。显然引入位移绕组使得空载电流 I_0 增加到 I'_0。

9.1.4 双拍磁放大器

图 8.3.4—73a)表示单拍式磁放大器的接线，其所以称为单拍，主要是指控制电流 $I_{=}$ 的极性变化时，其输出电流 $I_{\sim}$ 只能改变大小，而不能改变极性。所谓双拍式指用两套单拍磁放大器，通过接线组合在一个线路内(图 8.3.4—74a)，它的主要特点是控制电流极性的改变，不但能够改变输出电流的大小，还可以改变其极性，同时能够消除空载电流(图 8.3.4—74b)所示)。

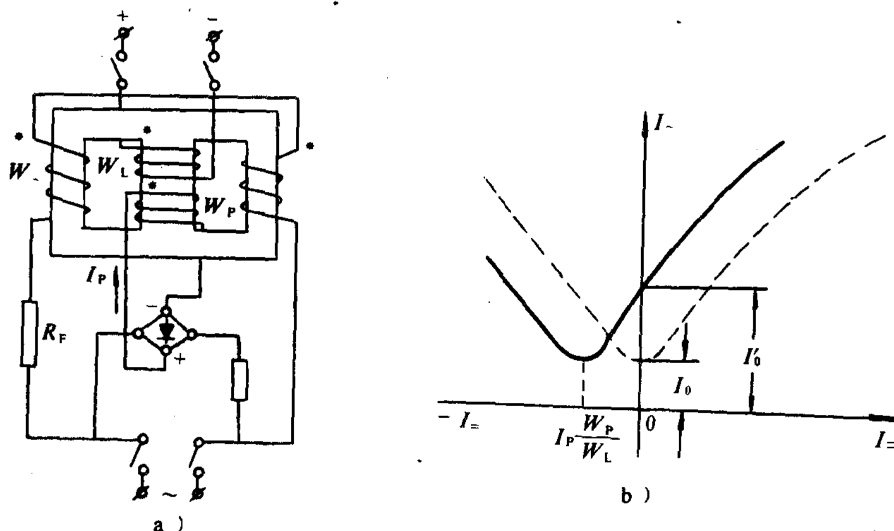


图 8.3.4—73 磁放器引入位移

a)接线；b)特性

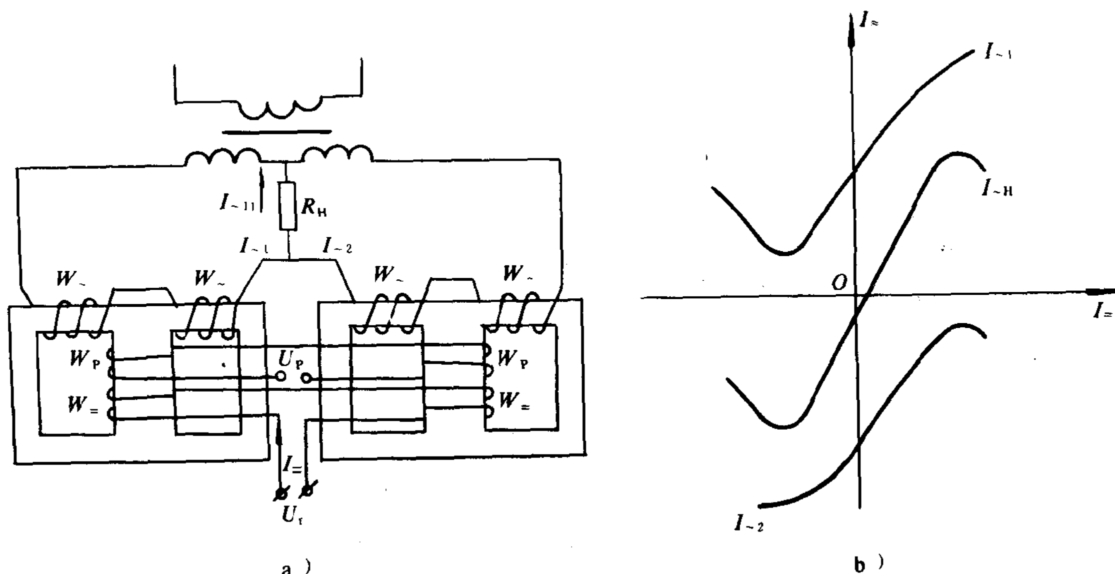


图 8.3.4—74 差动式双拍磁放大器

a)接线；b)控制特性

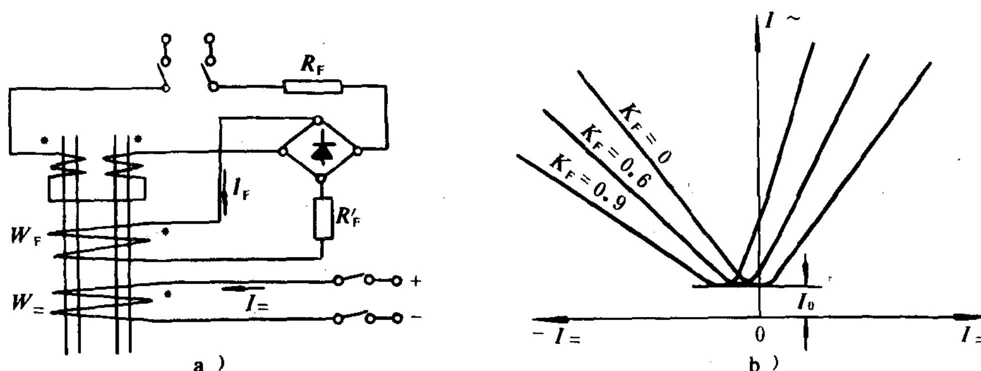


图 8.3.4—75 磁放大器正反馈线路及不同反馈系数的特性

9.2 磁放大器在拖动控制中的应用

9.2.1 用途

磁放大器和交磁放大机一样，可以实行多绕组控制。实际磁放大器由于采用正反馈接线(图 8.3.4—75a)中 W_F 为反馈绕组)，使放大倍数可达 10^3～10^6。其工作绕组，既可交流输出，也可经整流作直流输出。当直流输出时，可直接给直流电动机供电，也可以作为直流发电机的励磁控制，分别组成磁放大器—电动机(CFD—D)系统和磁放大器—发电机—电动机系统。图 8.3.4—76 为具有内反馈的 CFD—D 系统。

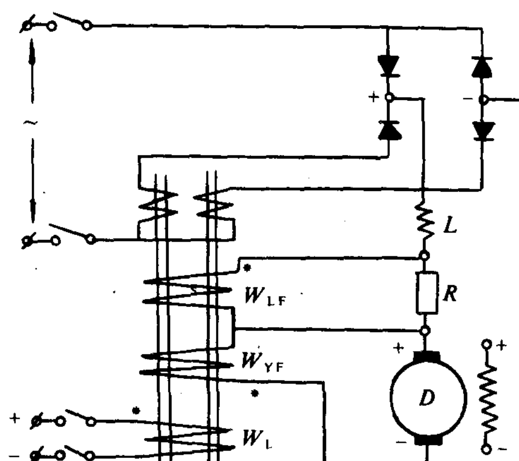


图 8.3.4—76

具有内反馈的磁放器—电动机系统

9.2.2 特点

①结构简单，容易制造，成本低廉。

②无旋转部分，性能稳定，工作可靠，便于维护。

③电磁时间常数大，响应慢。

④双拍磁放大器效率低，占地面积较大。

9.3 磁放大器的技术规格与用途(见表 8.3.4—22)

表 8.3.4—22 船用磁放大器技术规格与用途

序号	系列名称	主要规格	用途及说明	生产厂
1	FC0	0.04～2.5W 400Hz 交流： 12～36V 直流： 4～10.8V 10～240mA	自动化系统中放大温差，光敏电势及微弱信号，亦可控制中频伺服电机。可用于 50Hz，但电压要变动	北京低压电器厂 上海机床电器厂
2	FC1	0.8～31.5W 400Hz 交流： 36～220V 直流： 22～155V 36～210mA	自动化系统中放大温差，光敏电势及微弱信号，亦可控制中频伺服电机。可用于 50Hz，但电压要变动	北京低压电器厂 上海机床电器厂
3	FC2	5～130W 50Hz 交流： 36～220V 直流： 15～130V 0.35～1A	自动化和电气传动中作综合信号和前置放大，控制伺服电机及作为无触点继电器。	北京低压电器厂 上海机床电器厂及天津电气控制设备厂
4	FC3	65～1400W 50Hz 交流： 220～380V 直流： 115～240V 0.56～10A	电气传动中作中等容量功率输出，控制小型直流电机的励磁及小功率直流电机电枢电压。	北京低压电器厂 上海机床电器厂 天津电气控制设备厂
5	FC4	2～15kW 50Hz 交流：220～380V 直流：145～270V 13.8～96.8A	电气传动中作大容量功率输出，控制小型直流电机的电枢电压及中型直流电机的励磁，接成交流线路可用于控制异步电机的调速。	天津电气控制设备厂 上海东风电器厂
6	FC5	2～80KVA 50Hz 单相 交流输入：220 或 380V 交流输出：209 或 361V 9.6～383A(220V) 17.5～222A(380V)	主要用于控制异步电动机的电压以调节转速或在稳压、恒流电源装置中作为执行元件。是属饱和电抗器类。所以是交流输出。	上海东风电器厂

注：各系列磁放大器均能作三防处理。

10 无换向器电动机调速

10.1 工 作 原 理

无换向器电动机也称为无整流子电动机，是一种新型的无级调速电动机，它由同步电动机、简单的逆变器和转子位置检测器组成。其工作原理、特性及调速方式同直流电动机相似，但没有换向器，故称为无换向器电动机。

把直流电动机与无换向器电动机相比，不难发现，两者本身都是一台同步电动机，只是无换向器电动机用晶闸管组成的半导体逆变器代替了直流电动机的换向器，利用逆变器换流，将直流电流变换成交流电输入电枢绕组，而无接触式转子位置检测器代替了直流电动机的电刷。图 8.3.4—77 表示直流无换器电动机的工作原理。位置检测器与电动机同轴相连，将电机的实际转速转换成频率信号，再通过触发电路控制逆变器中晶闸管的导通和换流时刻。如果转子转速变化，频率信号的频率也随之变化，可以有效保证转子磁极和定子旋转磁场间的相对位置不变。

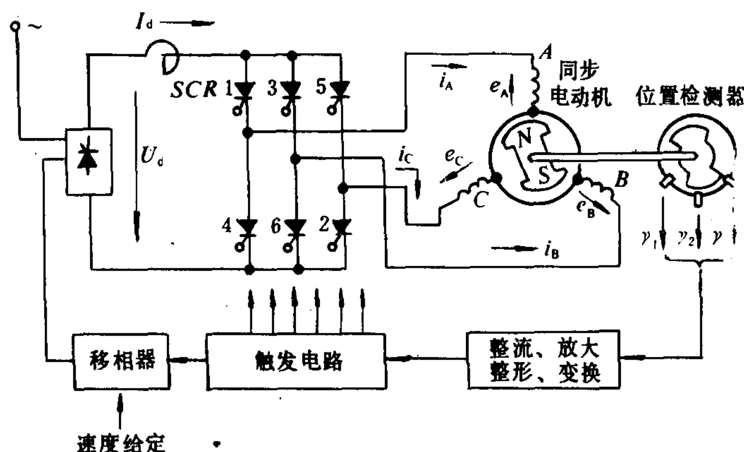


图 8.3.4—77 直流无换向器电动机原理图

10.2 基 本 特 性

10.2.1 调速性能

图 8.3.4—78 表示无换器电动机主电路及电压波形，其调速特性，可以由下式表示：

$$n = \frac{2.34V_2\cos\alpha - I_dR_\Sigma}{K_e\Phi\cos\left(r_0 - \frac{\mu}{2}\right)\cos\left(\frac{\mu}{2}\right)} \quad (8.3.4\text{—}23)$$

图中与式中所代表的物理符号分别为：

R_Σ——主回路总等效电阻，包括滤波电抗器电阻，电枢绕组两相的电阻及晶闸管正向压降等值电阻等；

$E_d=2.34V_2\cos\alpha$——直流电源电势或晶闸管输出电压平均值；

V_d、I_d——分别为逆变器直流输入电压、电流平均值；

V、E——分别为电动机相电压、电势有效值；

α、r_0——分别为晶闸管整流器的控制角及逆变器换流超前角；

μ——逆变器换流重迭角。

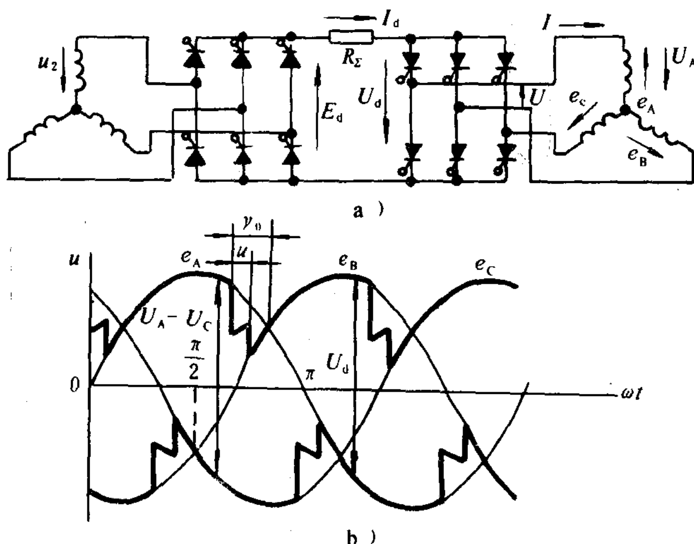


图 8.3.4-78 无换向器电动机

a)主电路；b)电压波形

上式与直流电动机的转速公式非常相似。由此可知，无换向器电动机具有三种调速方法。

①通过改变控制角 α 调节直流电压 V_d；

②改变励磁电流 I_e，即改变磁通 Φ；

③改变逆变器换流超前角 r_0。

10.2.2 过载能力

无换向器电动机的过载能力主要是受逆变器晶闸管换流问题的限制，比一般直流电动机低。一般过载倍数为 1.25～2 倍。

10.3 应用情况

①无换向器电动机具有和直流他励电动机相似的硬特性，可以在低速下稳定运行，具有较宽的调速范围，开环控制时 D=(10～20)：1，适合于开环与闭环控制。

②位置检测器在结构上型式很多。应用较广的有霍尔元件式、光电式、接近开关式和电磁感应式等。在容量较大的电动机中，国外多用灵敏度较高的光电式或接近开关式，国内多用电磁感应式，因为它结构简单，工作可靠。

③要求电动机可逆调速作四象限运行时，若用直流电动机的晶闸管整流桥供电，则需采用“双桥反并联”；但若用无换向器电动机，则只要改变逆变器触发脉冲的顺序，即可改变电动机转矩方向，实现可逆调速，具有结构简单，运行经济合理的优点。

④目前，无换向器电动机容量可高达几千 kW，转速可达 6000～9000r/min，适用于环境恶劣、要求高速大容量或低速大容量的场合。如轻纺、化工、矿山、水泥等应用较大，也适用船舶卷扬机械。

11 交流异步电动机矢量变换控制

11.1 基本原理

异步电动机的矢量控制是一种新的控制思想和控制结构，其矢量变换控制方式有磁场定向式和滑差频率控制式两种基本型式。

磁场定向式是按照产生同样的旋转磁场的等效原则，利用异步电动机与直流电动机存在着确定的矢量变换关系，通过控制异步电动机定子电流 i_a、i_b、i_c 的变化规律，相当于控制直流电动机电枢磁场和励磁磁势，从而将异步电动机模拟成直流电动机来控制，获得等效于直流电动机的调速性能。

11.2 系统组成

异步电动机矢量变换控制系统的原则性方柜图如图 8.3.4—79 所示。

图中带"＊"号各量表示为给定信号，不带"＊"号的各量表示实测信号。

此图完全模仿了直流电动机的双环调速系统，所不同的是控制信号要从直流量变换到交流量，而反馈信号则必须从交流量变换成直流量。

系统的外环是速度环，速度给定信号 W^* 与测速发电机 SF 实测的速度反馈信号 W 相比较，经速度调节器 ST 输出电流给定信号 i_T＊(相当于直流电动机的电枢电流给定信号)，励磁给定信号 Φ^* 与通过磁通检测装置、直角坐标/极坐标变换器(K/P)实测的励磁反馈信号 Φ 相比较。经磁通调节器 ΦT 输出电流给定信号 i_M＊(相当于励磁给定信号)，i_T＊、i_M＊经直角坐标/极坐标变换器(K/P)合成电流幅值给定信号 i_1＊和相位给定信号 Q＊。i_1＊与实测电流反馈信号 i_1 相比较，经电流调节器 LT 控制变频装置电流的幅值。

系统的内环是电流环，电流反馈是由检测出的三相交流电流 i_A、i_B、i_C 经三相/两相变换器(3Φ/2Φ)得到等效的两相交流电流 i_α 和 i_β，再经矢量旋转变换器(VR)得到等效的直流电流 i_T 和 i_M，最后经 K/P 得到实测的电流反馈信号 i_1。

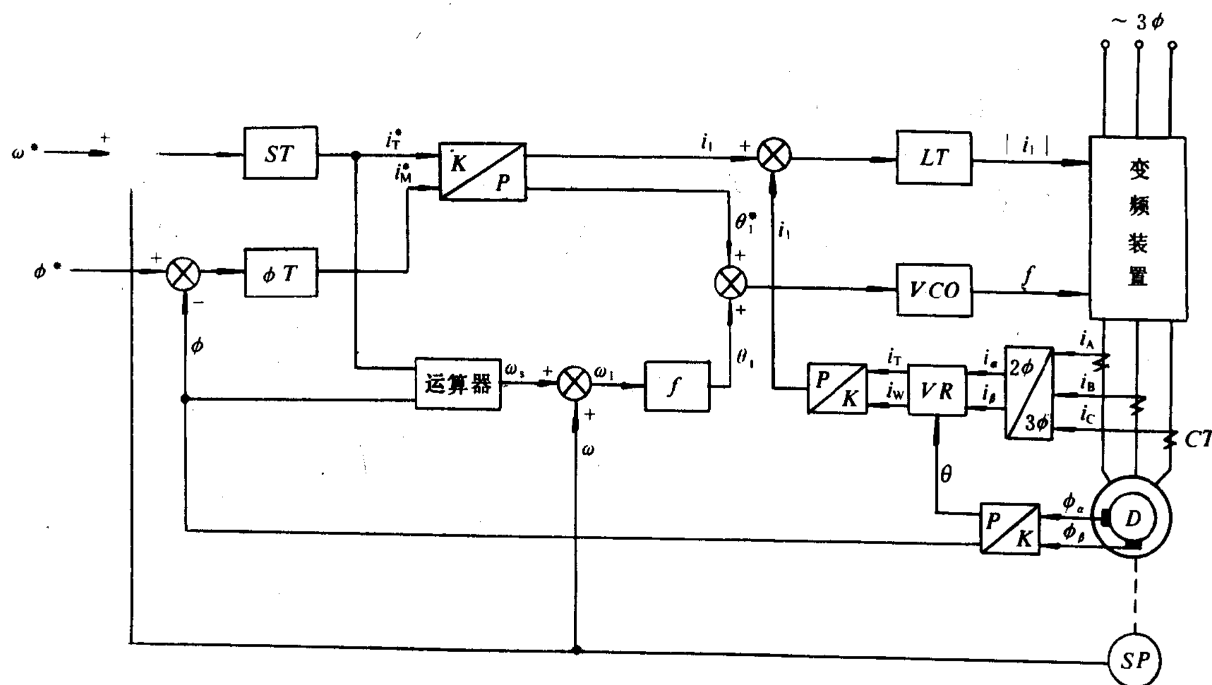


图 8.3.4—79 原理性的异步电动机矢量变换控制系统方框原理图

变频装置所需的频率控制信号，一般采用转差控制方式。电流给定信号 i_T^* 和实测的激磁反馈信号 Φ，经运算器运算后，所得的滑差角速度 W_S 与实测的速度反馈信号 W 相加，得到同步角速度 W_1 积分后，可得到磁通同步旋转的角度 Q_1，Q_1 与 Q^* 相加，经电压控制振荡器

(VCO)控制逆变频率 f,这样就能及时而准确地控制电流换相波形,以获得更好的动态性能。

11.3 拖动系统的特点

矢量变换控制的交流异步电动机调速装置,已在少数国家进行系列化生产,并成功地应用于轧钢和大型造纸机的传动调速控制,获得良好的性能指标和运行效果。我国一些科研单位和高等院校正处于研制阶段,这个系统的特点是:

①速度控制精度和瞬态过程响应时间与直流电动机调速系统大致相同,调速精度可高达±0.1%。

②自动弱磁控制与直流电动机调速系统相仿,调速范围为 4:1 左右。

③过载能力强,能承受冲击负载和转速突变运行,并能突然可逆运行在四个象限。

④应用范围广,能适应恒功率、恒转矩或速度平方转矩负载特性的生产机械。

⑤节电与经济性能较好,适用于大、中、小容量的交流异步电动机电力拖动。

12 步进电机控制系统

12.1 工作原理

步进电机又称脉冲马达,是将电脉冲信号转换为角位移或线位移的电磁机械。其转子的转角(或位移)与输入的电脉冲数成比例,其速度与单位时间内输入的脉冲数(即脉冲的频率)成比例,它们运动的方向则取决于脉冲的顺序。因此,步进电机可以在数字系统中作为数字—模拟(转角或位移)的转换元件,也可以直接带动机械负载产生一定的转角或速度。它在数字控制系统、数字运动系统以及计算控制系统中得到了广泛的应用。

将步进电机作为执行电机的控制系统,其组成部分主要包括(见图 8.3.4—80):

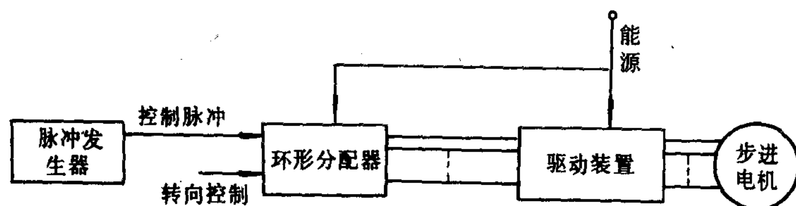


图 8.3.4—80 步进电机开环系统组成

①分配器(电子换向器);

②驱动装置(功率放大器);

③步进电机(驱动元件)。

其中①与②构成系统的控制部分。若增加速度发送器作反馈元件,则可组成闭环系统。

环形分配器是控制步进电机各绕组按一定次序通电的环节,它的作用是把脉冲(频率)发生器送来的一系列脉冲信号按照一定的循环规律依次分配给各绕组,使步进电机按一定的规律运动。有关内容在电机部分有详细介绍。

从环形分配器输出的电流一般仅有几毫安,而步进电机的绕组却需要几安培的电流才能使电机转动,因此必须对分配器的输出脉冲进行功率放大。

图 8.3.4—81 是用于 SKJ—5401 数控铣床步进电机绕组的驱动电路，共包括四级功率放大，输出电流为 3A，供给步进电机绕组，而输入信号来自 D 触发器组成的环形分配器，电压为 3V（高电平）和 0.35V（低电平）。

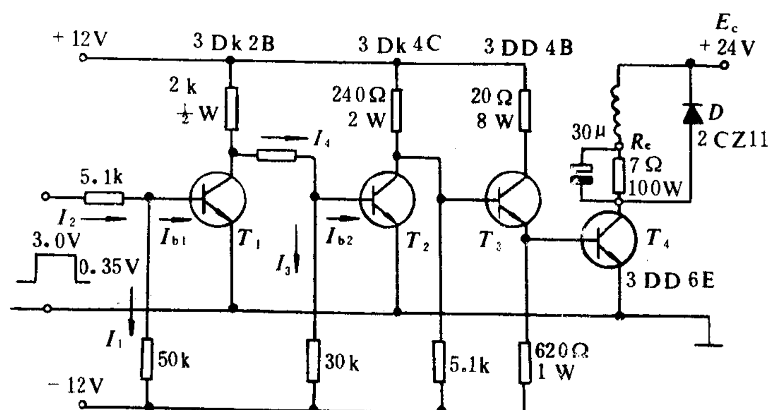


图 8.3.4—81 用于 SKJ—5401 的步进电机驱动电路

12.2 特点及其应用

①由于步进电机具有数字特性，其位移量与输入脉冲数严格成比例，可实现无积累误差的一一对应的转换，因此在开环系统中获得了广泛应用，进行精确的位置和速度控制；

②当采用开环数字控制时，它不需要可逆计数器，位置（速度）发生器以及反馈回路等部件，故装置比较简单，增加了系统可靠性，并简化了系统设计；

③响应速度快，可以构成时间最佳数字系统；

④输出转矩大。我国目前制造的 GB_{2-6}D—5 型步进电机输出转矩已达 50Nm，故可以直接作为控制系统的执行元件。

步进电机是二阶环节，当处于步进状态工作时会出现振荡现象（特别是间断通电方式时），而以一定速度旋转时若负载惯性很大或负载变化幅度很大，又可能失步，不能准确地和快速地复现输入量，因此应当采用反馈的方式来构成闭环的步进电机系统，从而可以使静态和动态性能大大改善。目前，国内外有关闭环步进电机数字系统的研究正趋完善，并逐渐得到推广应用。

衡量步进电机工作特性的优劣和性能，是根据以下性能指标来评价：

①步距角：步进电机每步转过的角度称步距角。如按 A—B—C—A—方式通电，步距角为 30°；按 A—AB—B—BC—C—CA—A……方式通电，则步距角为 15°。不同的应用场合，对步距角大小的要求不同，改变绕组相数或极数（转子齿数）可改变步距角的数值。增加相数和转子齿数，步距角减小，反之步距角增大。

②最大静转矩：电机不转，供给控制绕组直流电时产生的最大静转矩。

③起动频率：转子从静止状态不丢步地达到同步旋转的最大脉冲频率称为起动频率，起动频率越高越好。

④最高工作频率：步进电机工作时，在不丢步状态下所能接受的最高控制脉冲频率，工作频率越高。转速越快。

⑤跟踪误差：在静态条件下，不同的两步之间的转角位置的误差叫跟踪误差。

13 电气设备的保养及常见故障维修

船舶电力拖动控制系统一般由电动机、供电装置、控制屏(即电气柜)、操作机构、指示仪表和连接导线组成。对这些电气设备的维护分保养与大修两种。

13.1 保养项目

①对电气柜或控制屏,应经常打扫,保持所有电器无油污、无海水腐蚀、无粉屑灰尘;检查屏内接线是否完好,绝缘是否损坏,并进行相应处理。

②对继电器、接触器、开关、按钮除应保持清洁外,应紧固各螺栓,修整各种触点,使其压力、间隙合适,接触良好;对熔断器及其各种保护装置,应检查完好情况,使其发挥正常的保护作用;要保证接触器灭弧装置的完好。

③对起动及调速电阻器,应清扫电阻元件,使其无粉尘,保持接触部分的洁净;检查有无瓷管断裂和电阻丝短路、断开现象,并作相应处理。

④对电磁机构的衔铁,应检查其接触面,短路环是否完好,线圈绝缘电阻(一般不应小于1MΩ)是否正常,并作相应处理。

⑤对直流电动机应清扫机体,保持换向器表面光洁,不得有机械损伤或火花灼痕,若有则用00号砂纸在旋转着的换向器上细细研磨光洁;保证电刷与换向器有良好接触,正常的电刷压力为15～25kPa±10%,电刷磨损或破碎,应及时更换,并保持整台电机电刷牌号一致。

⑥对三相异步电动机应经常清扫机体,紧固接线镙栓,保持滑环的良好接触,检查各相绕组对地电阻是否正常,并作相应处理。

13.2 大修内容

①更换所有已损坏或已陈旧,难以保证正常工作的各电器、元件和连接导线;作各种保护电器的动作试验,调整整定值;更换已破损的灭弧装置和工作不可靠的电磁机构(如线圈、衔铁、短路环等);修理或更换损坏的触头。

②修整电气柜、接线盒等各种电气设备的防尘、防水、防爆设施,保持完好和密封性能,整理内外接线;更换已损坏的起动或调速电阻元件,测量各段阻值及测量各导电部分的对地电阻,使其保持在正常范围。

③对电机拆开清扫,除去油污,清洗轴承,并加入新的润滑油;检查电机绕组的绝缘是否老化,发现老化及时处理;用摇表检查电机绕组对铁芯的绝缘;电机装好以后,要检查电机绕组和轴承的温升、电流值和出力情况,并检查火花和振动是否在正常范围。

参考文献

[1] 刘竞成主编:《交流调速系统》,上海交通大学出版社,1984年8月
[2] 周希章编:《电动机的起动、制动和调速》,机械工业出版社,1984年12月
[3] 杨兴瑶编著:《电动机调速的原理及系统》,水利电力出版社,1979年8月
[4] 上海航道局编:《船舶电工手册》上、下册,上海人民出版社,1975年11月
[5] 周文森等编:《简明电工手册》,机械工业出版社,1981年7月

[6] 华中工学院船电教研室 华南工学院船电教研室合编:《船舶电气传动自动化》,国防工业出版社,1981 年 1 月

[7] 西安交通大学黄俊主编:《半导体变流技术》,机械工业出版社,1980 年 7 月

[8] 合肥工业大学顾绳谷主编:《电机及拖动基础》上、下册,机械工业出版社,1980 年 7 月

[9] [苏]C·H·魏雪涅夫斯基著,钟兆虎译:《电动机的特性与电阻的计算》,中国工业出版社,1965 年 2 月

[10] 赵明主编:《工厂电气控制设备》,机械工业出版社,1985 年 12 月

[11] 张冠生编·《电器学》,中国工业出版社,1961 年 10 月

[12] 无锡船用电器厂产品样本。

[13] 符曦:《感应电动机的矢量控制与应用》,机械工业出版社,1986 年

[14] 船舶设计实用手册电气装置编写组:《船舶设计实用手册》第五分册 电气装置,国防工业出版社,1973 年

[15] 机械工程手册、电机工程手册编辑委员会:《电机工程手册》第四卷 自动控制系统,机械工业出版社,1982 年 3 月

第5章　电力半导体变流技术及其应用

1　晶闸管元件

1.1 晶　闸　管

1.1.1　晶闸管外形及双晶闸管模型

普通晶闸管又称可控硅，是硅晶体闸流管。其外形有两种基本形式：螺栓式和平板式，见图8.3.5—1。晶闸管由阳极A、阴极K和门极（又称控制极）G构成三端引出端。为改善散热条件，大功率的晶闸管需固定在散热器上。

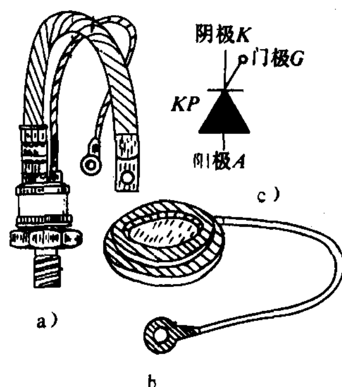


图 8.3.5—1　晶闸管的外形及符号
a）螺栓式；b）平板式；c）普通晶闸管的符号

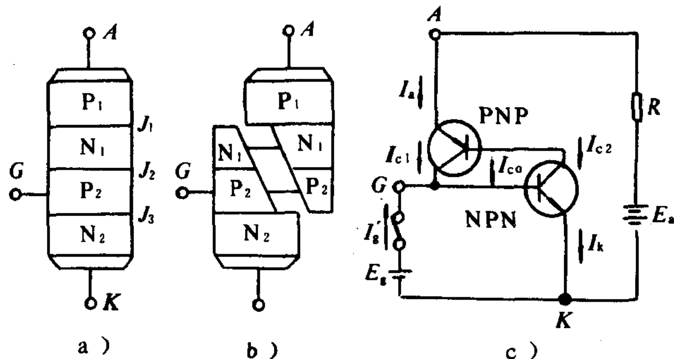


图 8.3.5—2　晶闸管的双晶体管模型
a）三个PN结示意图；b）分解为二个三极管；c）双晶体管模型

晶闸管的双晶体管模型见图8.3.5—2。当晶闸管承受正向阳极电压时，在门极加入足够的电流I_g，就会在两个复合管中形成强烈的正反馈，造成两只晶体管饱和导通，即晶闸管导通。晶闸管导通后，即使$I_g=0$，只要阳极电流大于维持电流I_H，晶闸管仍能保持导通状态。

1.1.2　晶闸管的导通及关断条件

1）晶闸管的导通条件

晶闸管必须同时具备下列条件，才能可靠导通：

（1）晶闸管承受正向电压，即阳极A的电位高于阴极K的电压；

（2）有适当的正向门极电压，使门极电流大于触发电流；

（3）晶闸管主电流（阳极电流）大于掣住电流。

2）晶闸管的关断条件

当阳极电流小于维持电流时，晶闸管关断。

1.1.3　晶闸管的测试方法

1）万用表测试法

晶闸管的阳极A和阴级K、阳极A和门极G之间的正向和反向电阻都应在数百千欧以

上。门极 G 和阴极 K 之间的正向电阻约数十欧至一百欧，反向电阻 不超过数百欧。利用万用表测量门极时，注意使用低阻档，以防表内高压电池击穿门极的 PN 结。

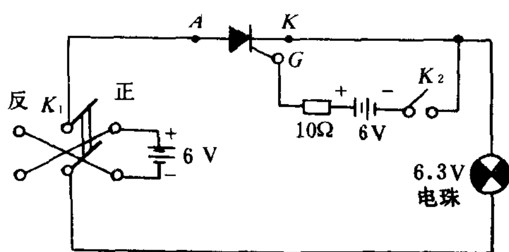


图 8.3.5—3　判别晶闸管好坏的测试电路

2)判别晶闸管好坏的简单方法

按图 8.3.5—3 接线，将开关 k_1 扳至正或反时，电珠都不亮；再把 k_1 扳至正，然后接通 k_2，若电珠亮，并在 k_2 断开后继续亮，说明元件正向控制特性正常，否则元件损坏。

3)正反向耐压和平均漏电流的测试

测试电路见图 8.3.5—4。利用自耦变压器 B_1 逐渐增加正向(反向)的承受电压值，当毫安表读数等于产品目录中规定的正向(反向)阻断平均电流值时，峰值电压表 V_P 读数为晶闸管的正向(反向)重复峰值电压，其中较小者为晶闸管的额定电压。

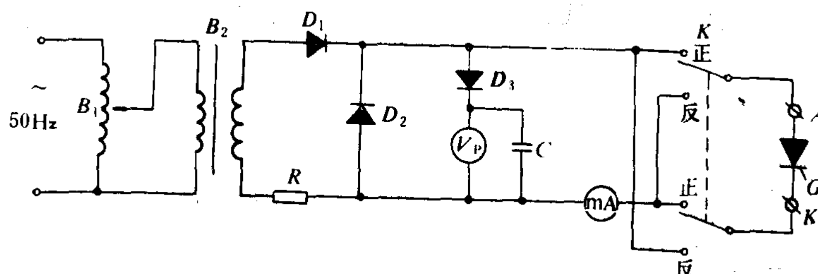


图 8.3.5—4　晶闸管正反向耐压测试电路

4)门极触发电流和触发电压的测试

测试电路见图 8.3.5—5。调节直流可调电源，使门极电压由零逐渐增加，当晶闸管阳极电压 V_1 突然降至零的瞬间，读取电压 V_2 和门极电流值，即为门极触发电压和电流。

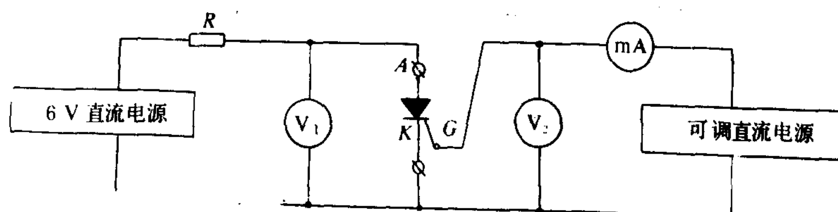


图 8.3.5—5　门极触发电流和触发电压的测试电路

1.2　晶闸管的特性

1.2.1　晶闸管的阳极伏安特性

见图 8.3.5—6，正向特性位于第 I 象限，反向特性位于第 III 象限。随着门极电流的增大，阳极电压转折点越低。在晶闸管阳极与阴极间加入的正、反向重复峰值电压不允许超过 V_{DRM} 和 V_{RRM}。

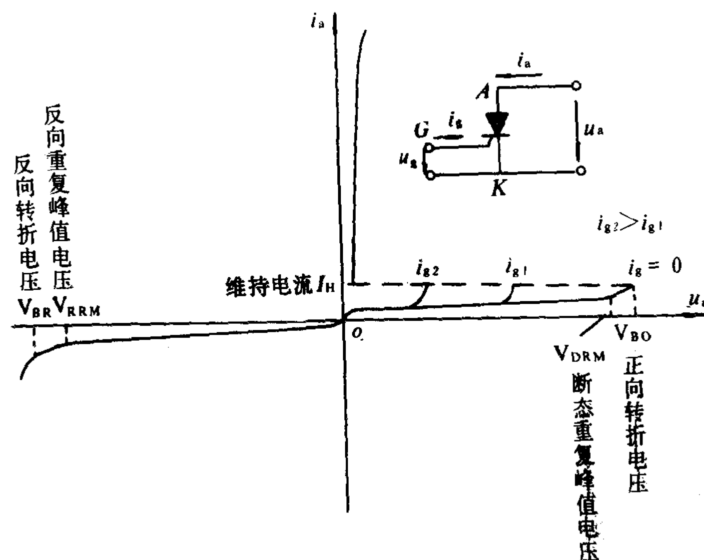


图 8.3.5—6 晶闸管阳极伏安特性

1.2.2 晶闸管的门极伏安特性

采用门极伏安特性区域来代表某一容量的所有元件的门极伏安特性。图 8.3.5—7 为 500A 晶闸管的门极伏安特性区域。图 b)中，OHIJO 是不触发区；ABCJIHA 是不可靠触发区；图 a)中 ADEFGCA 是可靠触发区。

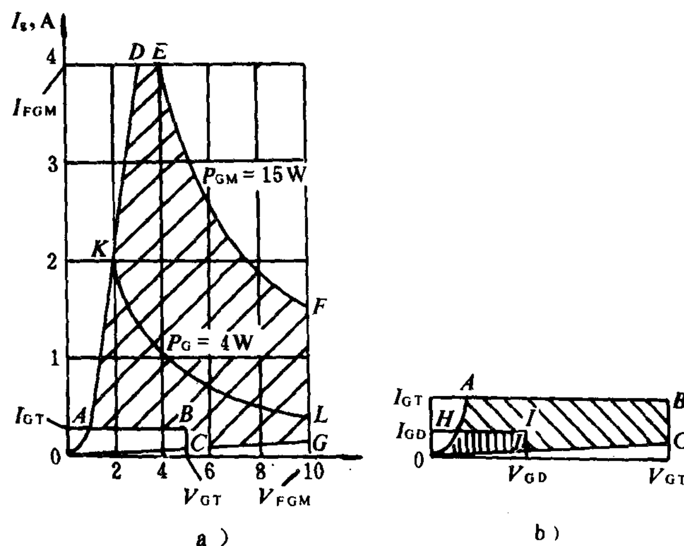


图 8.3.5—7 晶闸管的门极伏安特性

I_{GT}—门极触发电流；V_{GT}—门极触发电压；I_{GD}—门极不触发电流；V_{GD}—门极不触发电压；V_{GFM}—门极正向峰值电压；I_{GFM}—门极正向峰值电流；P_{GM}—门极峰值功率；P_G—门极平均功率

1.3 晶闸管的主要参数

1.3.1 电压参数(见表 8.3.5—1)

表 8.3.5—1　　**晶闸管的电压参数**

名　称	符　号	定　义	说　明
断态重复峰值电压	V_{DRM}	晶闸管两端出现的重复最大瞬时值断态电压，包括所有的重复瞬态电压，但不包括所有的不重复瞬态电压	
反向重复峰值电压	V_{RRM}	晶闸管两端出现的重复最大瞬时值反向电压，包括所有的重复瞬态电压，但不包括所有的不重复瞬态电压	
额定电压		通常用 V_{DRM}和 V_{RRB}中较小的那个数值(用 KV 表示)标作器件型号上的额定电压	应选用晶闸管的额定电压与其正常工作峰值电压的 2～3 倍，作为安全余量
通态峰值电压	V_{TM}	晶闸管通以 π 倍或规定倍数额定通态平均电流时的瞬态峰值电压	应选用 V_{TM}较小的晶闸管，以减少损耗和发热

1.3.2 电流参数见表 8.3.5—2

表 8.3.5—2　　**晶闸管的电流参数**

名　称	符　号	定　义	说　明
通态平均电流	$I_{T(AV)}$	I 频正弦半波的通态电流在一个整周期内的平均值	在正弦半波情况下，平均电流 I_T 和电流有效值的关系是 $I=1.57I_T$，例如 $I_T=100A$ 的晶闸管，允许的电流有效值为 157A
断态重复峰值电流	I_{DRM}	对应于断态重复峰值电压 V_{DRM}的峰值电流	
反向重复峰值电流	I_{RRM}	对应于反向重复峰值电压 V_{RRM}的峰值电流	
维持电流	I_H	使晶闸管维持通态所必须的最小主电流	
擎住电流	I_L	晶闸管刚从断态转入通态，并移去触发信号之后，能维持通态所需的最小主电流	
浪涌电流	I_{TSM}	一种由于电路异常情况(如故障)引起的，并使结温超过额定结温的不重复性最大通态过载电流	浪涌电流用峰值表示，在元件寿命期内应限制其出现的次数

1.3.3 门极触发参数见表 8.3.5—3

表 8.3.5—3　　**门极触发参数**

名称	符号	定义	说明
门极触发电流	I_{GT}	使晶闸管由断态转入通态所必须的最小门极电流	触发器送给门极的电流和电压应适当大于 I_{GT} 和 V_{GT} 的上限值，但不应超过其峰值 I_{FGM} 和 V_{FGM} 门极平均功率 P_G 和峰值功率 P_{GM} 也不应超过允许值
门极触发电压	V_{GT}	对应于门极触发电流 I_T 的门极触发电压	

1.3.4 动态参数见表 8.3.5—4

表 8.3.5—4　　**动态参数**

名称	符号	定义	说明
断态电压临界上升率	$\frac{dV}{dt}$	在规定条件下，不导致从断态到通态转换的最大主电压上升率	晶闸管保持断态所允许的最大主电压上升率应小于表 8.3.5—5 和表 8.3.5—6 所示的数值
通态电流临界上升率	$\frac{di}{dt}$	在规定条件下，晶闸管能承受而无有害影响的最大通态电流上升率	晶闸管正常工作所允许的最大电流上升率应小于表 8.3.5—5 和表 8.3.5—7 所示的数值
（门极控制）开通时间	t_{gt}	用门极触发脉冲使晶闸管从断态转入通态所需的时间间隔	
（电路换向）关断时间	t_q	外部使主电路转换动作后，从主电流下降至零值瞬间起，到晶闸管能承受规定的断态电压而不致于过零开通止的时间间隔	

1.3.5 晶闸管的型号及主要参数

1)晶闸管的型号

按原一机部 JB1144－75 规定，普通晶闸管元件型号为 kP，根据中华人民共和国国家标准(GB4940－85)，普通晶闸管的一些主要参数的数值示于表 8.3.3－5 至表 8.3.5—8 中。在晶闸管的出厂合格证上，列出每个元件的实测参数值。

表 8.3.5—5 **晶闸管的主要参数**

通态平均电流 I_{Ta}	断态重复峰值电压，反向重复峰值电压 U_{drm} U_{rrm}	断态重复峰值电流，反向重复峰值电流 $I_{drm}I_{rrm}$	维持电流 I_H	通态峰值电压 U_{Tm}	工作结温 T_j	断态电压临界上升率 du/dt	通态电流临界上升率 di/dt	浪涌电流 I_{Tsm} L 级	浪涌电流 I_{Tsm} H 级
单位 A	V	mA	mA	V	℃	V/μs	A/μs	kA	kA
1	50～1600	≤3	≤10	≤2.0				0.12	0.20
3	100～2000	≤8	≤30	≤2.2	−40～+100	A、B、C、D、E、F	A、B	0.036	0.056
5			≤60					0.064	0.09
10		≤10	≤100					0.12	0.19
20								0.24	0.38
30	100～2400	≤20	≤150	≤2.4		B、C、D、E、F、G		0.36	0.56
50			≤200					0.64	0.94
100	100～3000	≤40					A、B、C	1.3	1.9
200				≤2.6	−40～125	C、D、E、F、G	B、C、D、E	2.5	3.8
300		≤50	≤300					3.8、	8.6
400							B、C、D、E、F	5.0	7.5
500								6.3	9.4
600								7.6	11
800							B、C、D、E、F、G	10	15
1000								13	18

表 8.3.5—6 **断态电压临界上升率(du/dt)的级别**

du/dt	25	50	100	200	500	800	1000
级别	A	B	C	D	E	F	G

表 8.3.5—7 **额定通态电流临界上升率(di/dt)的级别**

di/dt	25	50	100	150	200	300	500
级别	A	B	C	D	E	F	G

表 8.3.5—8 **晶闸管的门极参数**

通态平均电流 $\frac{I_{Ta}}{A}$	门极触发电流 $\frac{I_{gT}}{mA}$	门极触发电压 $\frac{U_{gT}}{V}$	门极不触发电压 $\frac{U_{gD}}{V}$	门极正向峰值电流 $\frac{I_{fgm}}{A}$	门极反向峰值电压 $\frac{U_{rgm}}{V}$	门极正向峰值电压 $\frac{U_{fgm}}{V}$	门极平均功率 $\frac{P_{g(au)}}{W}$	门板峰值功率 $\frac{P_{gm}}{W}$
1	≤20	≤2.5				6		
3	≤60	≤3.0				10		
5								
10	≤100							
20								
30	≤150							
50	≤200			1			0.5	4
100	≤250	≤3.5	≥0.2	2	5		2	8
200				3			3	15
300	≤350					16		
400		≤4.0		4			4	20
500								
600								
800	≤450							
1000								

1.4 特殊晶闸管

特殊晶闸管的名称、特征、型号及符号见表 8.3.5—9。

表 8.3.5—9 **特 殊 晶 闸 管**

序号	名　　称	特　　征	型号	符　　号
1	可关断晶闸管(GTO)*	当阳极加上正向电压时，在门极施加正向脉冲可导通；导通后，在门极施加负向脉冲，可关断。开关速度较快，需加入缓冲电路限制关断时的 dv/dt	KG	
2	双向晶闸管	双方向均可由门极触发信号导通，相当于两只普通晶闸管反并联，但只有一个门极。门极有四种触发方式(见图 1.4.4)	KS	
3	光控晶闸管	当阳极加上正向电压，同时有光照晶闸管时，晶闸管导通。导通后，停止光照，当阳极电流小于维持电流时，晶闸管关断。	GK	
4	场控晶闸管	当阳极加上正向电压时，栅极(门极)零压或开路时，晶闸管导通；栅极施加一定的负向电压时，晶闸管关断。开关速度快、承受 di/dt 和 dv/dt 能力强，使用结温可达 170℃	—	(栅极)

续上表

序号	名　　称	特　　征	型号	符　　号
5	温控晶闸管	当阳极加上正向电压时，在门极和阴极(或阳极)之间串入不同电阻值的电阻，可在不同温度下，使晶闸管导通(详见 1.4.7)	—	
6	逆导晶闸管	当阳极加上反向电压(k 电位高于 A 电位)时，晶闸管导通。当阳极加上正向电压(A 电位高于 k 电位)时，利用门极触发信号使晶闸管导通，相当于普通晶闸管与整流管反并联	KN	

* GTO:GATE TURN—OFF THYRISTOR。

1.4.1 可关断晶闸管(GTO)

导通特性与普通晶闸管相似。在导通后，在门极施加负向脉电压，即可关断。在关断过程中，阳极电压和阳极电流都在变化，见图 8.3.5—8，在管内将产生功率损耗。为避免烧毁管子，关断时用缓冲电路限制 dv/dt，见图 8.3.5—9。D 是快速二极管。通常，由于是感性负载，可以认为 GTO 换向期间的负载电流 I_d 不变，则 dv/dt=Id/C。增大电容 C，可以降低 GTO 承受的 dv/dt。

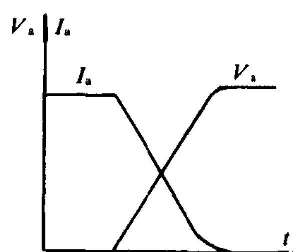


图 8.3.5—8　GTO 关断时阳极电压及电流波形

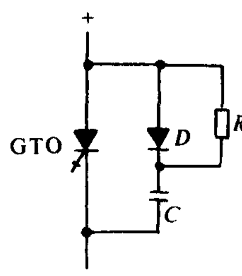


图 8.3.5—9　GTO 的缓冲电路

为提高关断的可靠性，应适当提高门极关断电流的幅值，−Ig 约占 1/5 阳极电流。

表 8.3.5—10　**GTO 主要参数**

型号	额定通态电流 IT(A)	断态重复峰值电压 V_{DRM}(V)	通态平均电压 V_T(V)	门极触发电流 I_{GT}(A)	控制极开通时间 t_{on}(μs)	换向关断时间 Toff(μs)	静态电压临界上升率 dv/dt(v/μs)
$3CG_1$	1	100～500	≤4	≤30m	≤3	≤4	≥100
$3CG_2$	3	100～1000	≤4	≤70m	≤3	≤4	≤100
$3CG_3$	5	100～1000	≤4	≤120m	≤3	≤4	≥100
KG20	20	200～1000	2	1	5	6	
KG30	30	200～1000	2	1	5	6	
KG40	40	200～1000	2	1	5	6	
KG50	50	200～1000	2	1	5	6	

1.4.2 大功率晶体管

1)大功率晶体管

功率晶体管是一种三层PNP或NPN半导体器件，如图8.3.5—10及图8.3.5—11所示。

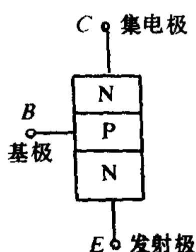


图8.3.5—10 NPN型功率三极管

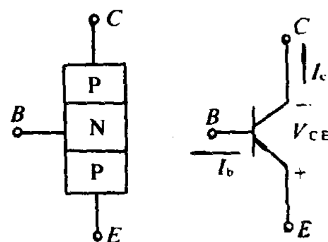


图8.3.5—11 PNP型功率三极管

基极正向偏置时，产生基极电流 I_b，使晶体管导通。基极反向偏置时，基极电流 $I_b=0$，晶体管截止。

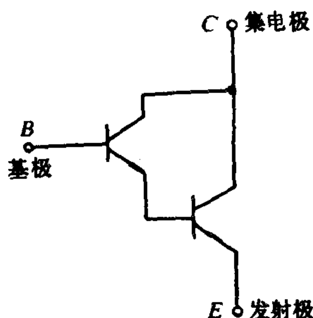


图8.3.5—12 达林顿晶体管

2)达林顿管(Darlington)

功率达林顿管是在一块芯片上制成的复合晶体管，见图8.3.5—12。

达林顿管主要优点是电流增益高，体积小。缺点是易受干扰。

1.4.3 晶闸管、可关断晶闸管和大功率晶体管的比较(见表8.3.5—11)

表8.3.5—11 **晶闸管、可关断晶闸管、大功率晶体管的比较**

内容 / 名称	最高容量	换向电路	控制功率	使用频率	装置效率	耐浪涌电压及电流的能力	同容量价格	使用场合
晶闸管	3500A/6000V 4000A/5000 V	复杂	小	<5kHz	低	中	低	电机调速、电子开关、中频电源、不停电电源、调压器、蓄电池快速充电电源、可调直流电源
可关断晶闸管	2400A/4500 V	较简单	较小	<100 kHz	高	大	较高	逆变器、斩波器、异步电机调速、功率步进电机驱动电源、静态开关及相位控制，电视机行扫描
大功率晶体管	800A/500V 400A/1000 V	简单	大	<100 MHz	中	小	高	高速拖动系统、脉宽调制系统、矢量控制系统

表 8.3.5—12　　**常用大功率晶体管的主要参数**

名称	型号	最大耗散功率 P_{CM} (W)	截止频率 f_B (Hz)	最大允许电流 I_{CM} (A)	集电极—基极击穿电压 $V_{(BR)CBO}$ (V) I_{CB} (A)	集电极—发射极击穿电压 $V_{(BR)CEO}$ (V) I_{CE} (A)	发射极—基极击穿电压 $V_{(BR)CEO}$ (V) I_{EB} (A)	集电极—基极反向截止电流 I_{CBO} (A) V_{CB} (V)	集电极—发射极反向截止电流 I_{CEO} (A) V_{CE} (V)	电流放大倍数 h_{EF}	饱和压降 V_{CES} (V)
锗PNP型低频大功率三极管	3AD50B	10	4k	5	60　5m	24　10m	20　5m	0.3m　20	2.5m　10	20～140	0.8
	3AD56B	50	3k	15	80　15m	45　0.1	20　15m	0.8m　10	15m　10	20～140	1
	3AD19D	50	3k	15	120　20m	60　0.2	60　20m	1m　10	1.5m　10	20～60	0.7
	3AD57C	100	3k	30	100　20m	60　0.15	20　20m	1.2m　10	20m　10	20～140	1.2
硅PNP型低频大功率三极管	3CD05B	50	2M	5		40　5m	4　5m	5m　20	2m　20	20～270	0.9
	3CD100B	100	500k	10		50　5m	5　5m		3m　20	15～270	2
	3CD9A	150	1M	15		30　10m	4　10m		3m　20	10～270	2
	3CD150F	150	500k	15		150　7m	5　7m		4m　100	15～270	2
	3CD150G	150	500k	15		200　5m	5　7m		4m　100	15～270	2
硅NPN型低频大功率三极管	3DD5D	25	1M	5		110　5m	3　10m		1.5m　20	10～270	1.2
	3DD302B	25	1M	1.5	500　5m	300　5m	6　5m	0.1m 300	0.5m 100	30～270	1
	3DD5L	25	1M	1.8		700　3m	5　1m		1m　100	7～180	1
	3DD200	30		5	300　5m	100　5m	6　1m	0.15m200		40～100	1
	3DD262E	75	1M	5	1300　3m	700　3m	5　2m		1m　100	7～180	1.5
	3DD7F	75	1M	10	250　5m	200　5m	4　5m		2m　20	10～50	1.5
	3DD164F	100	1M	10	400　5m	300　5m	5　5m		2m　100	15～120	1.5
	3DD264F	100	1M	10	1500　5m	800　5m	5　5m		2m　100	10～150	1.8
	3DD270C	200	1M	15	900　5m	500　5m	5　15m		3m　100	7～120	2
	3DD275C	300	1M	20	900　5m	400　5m	5　15m		3m　100	10～120	3
	3DD9E	150	1M	20	200　10m	150　10m	4　10m		2m　20	10～150	2
	3DD275F	300		20	1500　5m	800　5m	5　15m		3m　100	7～120	3
	3DD500A	500	1M	50	50　20m	30　20m	4　30m		4m　20	10～120	3
	3DD14F－T	1000	1M	100		300　20m	3　50m		3m　30	10～150	2
硅PNP低频大功率复合管	Yz31E	20		5	150　5m	150　5m	3　5m		1.5m　20	500	2.5
	Yz33F	50		10	200　10m	200　10m	3　10m		2m　20	500	2.5
硅NPN高频大功率三极管			特征频率 f_T (Hz)								
	3DA30E	50	100M	5	80　10m	70　10m	4　10m	1m　20	2m　20	15	
	3DA7C	150	50M	15		800　50m	2　50m	5m　40		15	
	3DA6B	100	50M	10		80　30m	3　30m	3m　40		15	

1.4.4 双向晶闸管

1)双向晶闸管的基本结构与正反向伏安特性

见图 8.3.5—13

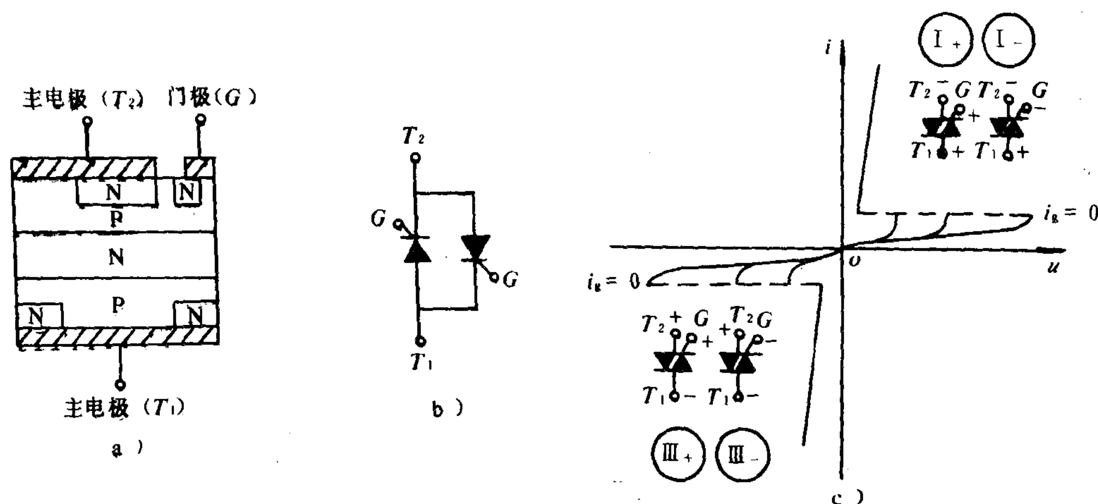


图 8.3.5—13 双向晶闸管

a)基本结构；b)等效电路；c)伏安特性

双向晶闸管是一种交流元件，它的伏安特性在 I、III 象限是对称的，即正向或反向都能触发导通。

双向晶闸管可用正向门极电压，亦可用反向门极电压触发导通。

双向晶闸管的额定电流用有效值表示：

$$I_{T(rms)}=I_{Tm}/\sqrt{2} \tag{8.3.5—1}$$

式中：I_T(rms)——额定电流有效值，A；

I_{Tm} ——额定电流峰值，A。

2)双向晶闸管的触发方式

双向晶闸管有四种触发方式，见表 8.3.5—13。

表 8.3.5—13 **双向晶闸管的四种触发方式**

触发方式		触发模式	T_2 端的极性（相对于 T_1）	门极极性（相对于 T_1）	相对于 I_+ 门极灵敏度
第Ⅰ象限	I_+		+	+	1
	I_-		+	−	～1/3

触发方式		触发模式	T_2 端的极性（相对于 T_1）	门极极性（相对于 T_1）	相对于 I_+ 门极灵敏度
第III象限	III_+	R_2, T_2, R_g, T_1, E, E_g, I_g	—	+	～1/4
	III_-	R_2, T_2, R_g, T_1, E, E_g, I_g	—	—	～1/2

3)双向晶闸管参数（见表 8.3.5—14）

表 8.3.5—14 **双向晶闸管参数**

型号 \ 参数	通态电流 I_T(有效值)(A)	断态重复峰值电压 U_{DRM} (V)	断态重复峰值电流 I_{DRM} (mA)	门极触发电流 I_{GT} (mA)	门极触发电压 U_{GT} (V)	门极峰值电流 I_{GM} (A)	门极峰值电压 U_{GM} (V)	门极平均功率 P_G (W)	门极峰值功率 P_{GM} (W)	断态电压临界上升率 dv/dt (v/μs)	通态电流临界上升率 (di/dt) (A/μs)	浪涌电流 I_{TSM} (A)	额定结温 φ_{JM} (℃)
KS1	1	100～2000	<1	3～100	≤2	0.3	10	0.3	3	≥20	—	8、4	115
KS10	10	100～2000	<10	5～100	≤3	2	10	0.5	5	≥20	—	84	115
KS20	20	100～2000	<10	5～200	≤3	2	10	0.5	5	≥20	—	170	115
KS50	50	100～2000	<15	8～200	≤4	3	10	3	15	≥20	10	420	115
KS100	100	100～2000	<20	10～300	≤4	4	12	3	16	≥50	10	840	115
KS200	200	100～2000	<20	10～400	≤4	4	12	3	16	≥50	15	1700	115
KS400	400	100～2000	<25	20～400	≤4	4	12	4	20	≥50	30	3400	115
KS500	500	100～2000	<25	200～400	≤4	4	12	4	20	≥50	30	4200	115

1.4.5 光控晶闸管

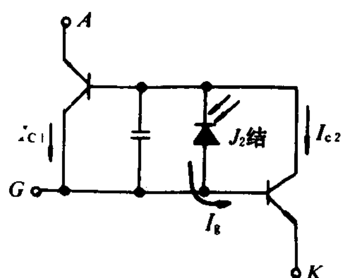


图 8.3.5—14 光控晶闸管等效电路

光控晶闸管的主要参数见表 8.3.5—15。等效电路见图 8.3.5—14。当光照到 J_2 结时，J_2 结漏电流增加，产生一个 I_G 信号，使晶闸管导通。停止光照，当阳极电流下降到小于维持电流时，晶闸管关断。利用发光二极管组成的光电耦合器作为触发信号是目前使用最多的触发方式，其实例看图 8.3.3—15。

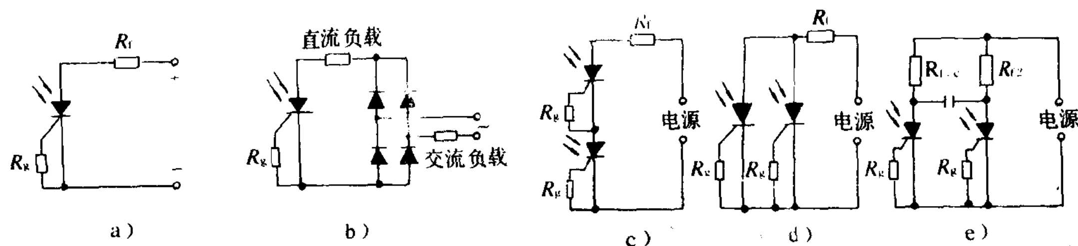


图 8.3.5—15 光控晶闸管应用举例

a)自锁直流继电器；b)交直流两用继电器；c)"与"门；d)"或"门；e)双稳态

表 8.3.5—15 **光控晶闸管主要参数**

型号	最大耗散功率 P_{DW}(W)	最高工作电压 V_{OP}(V)	额定通态电流 I_T(A)	通态平均电压 V_T(V)	断态漏电流 I_R(A)	导通光照度 E(Lux) MIN MAX
GK—20A	50m	20	20m	2.5	1m	50 1k
GK—20B	50m	30	20m	2.5	1m	50 1k
GK—20C	50m	50	20m	2.5	1m	50 1k
GK—50A	200m	20	50m	2.5	1m	50 1k
GK—50B	200m	30	50m	2.5	1m	50 1k
GK—50C	200m	50	50m	2.5	1m	50 1k
GK—100A	300m	20	100m	2.5	1m	50 1k
GK—100B	300m	30	100m	2.5	1m	50 1k
GK—100C	300m	50	100m	2.5	1m	50 1k

1.4.6 场空晶闸管

场控晶闸管的等效电路及正向阻断特性见图 8.3.5—16。其等效电路是一个 PNP 晶体管和一个 N 型沟道结型场效应晶体管复合连接。当栅极 G 的负偏压足够大，所产生的势垒足以把沟道夹断时，元件即处于阻断状态。

1.4.7 温控晶闸管

目前温控晶闸管有两种：一种从 P_2 基区引出门极，称 P 门极，当门极与阴极间接入 680kΩ～2.2kΩ 电阻时，温控范围在－30～＋75℃。另一种是由 N_1 基区引出门极，称 N 门极，当门极与阳极间接入 470kΩ～330kΩ 电阻时，温控范围在 70～120℃ 。两者转折电压都是 25V，见图 8.3.5－17。

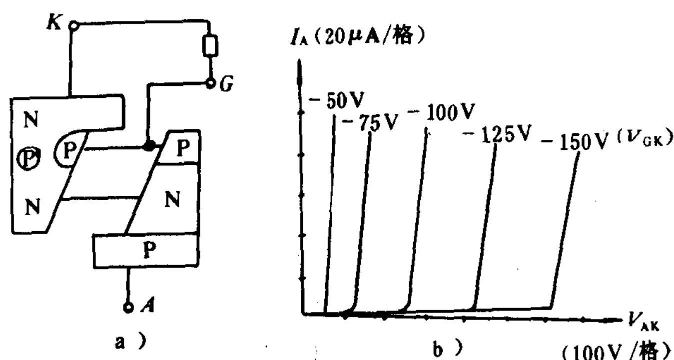


图 8.3.5—16 平面型场控晶

a)等效电路；b)正向阻断特性

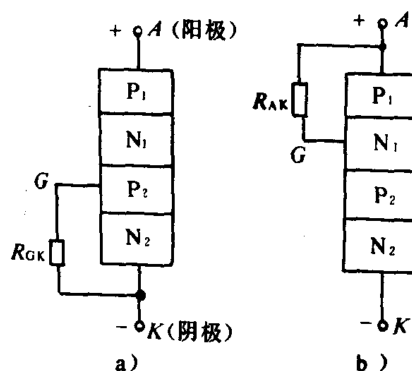


图 8.3.5—17 温控晶闸管示意图

温控晶闸管导通后，当温度退到开关温度以下，并且阳极电流也下降到维持电流以下时，晶闸管关断。

2 可控整流电路

2.1 各种可控整流电路

2.1.1 单相桥式全控整流电路(见图 8.3.5—18 至图 8.3.5—20)

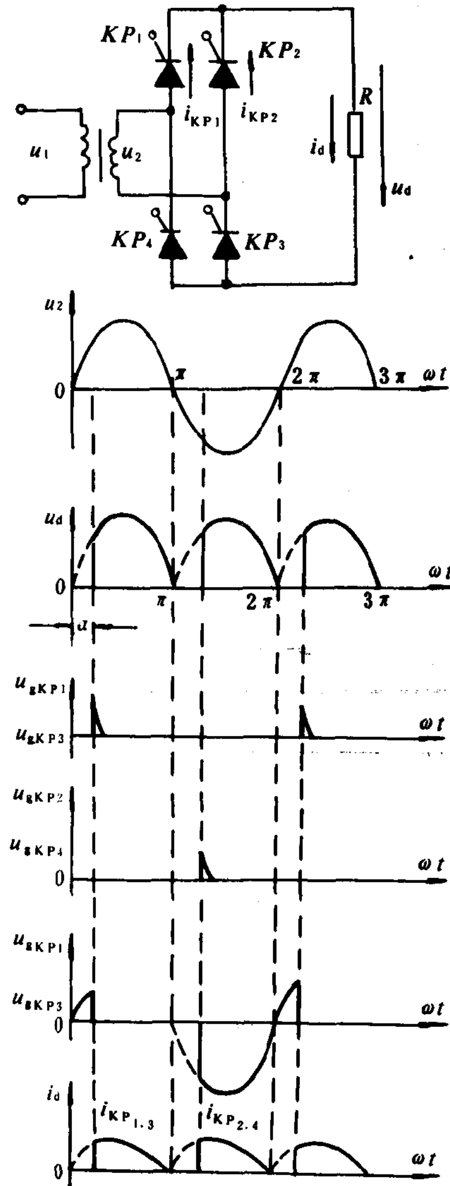


图 8.3.5—18 单相桥式全控电路电阻性负载及其波形

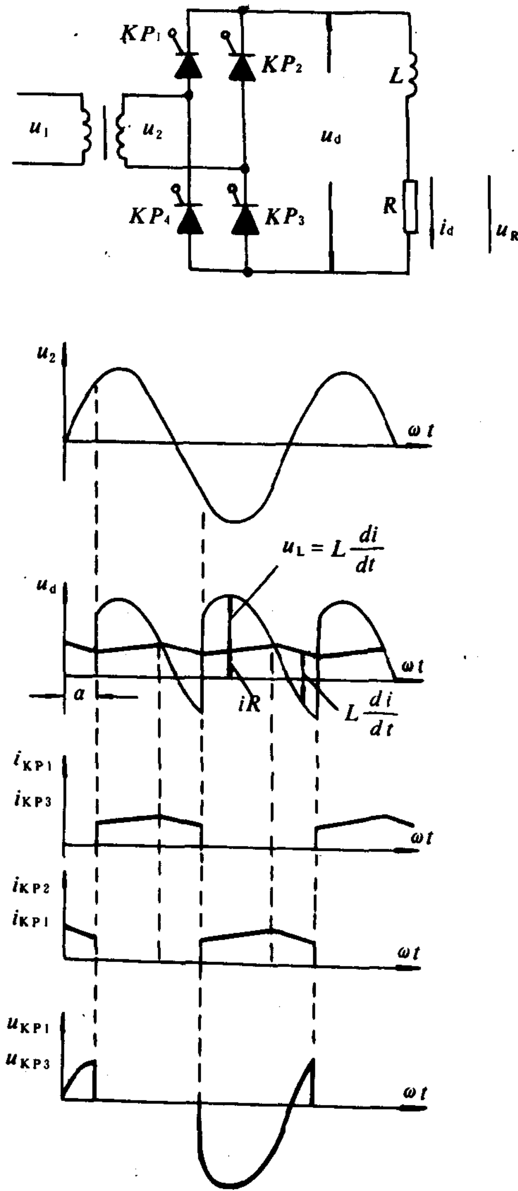


图 8.3.5—19 单相桥式全控电路电感性负载及其波形

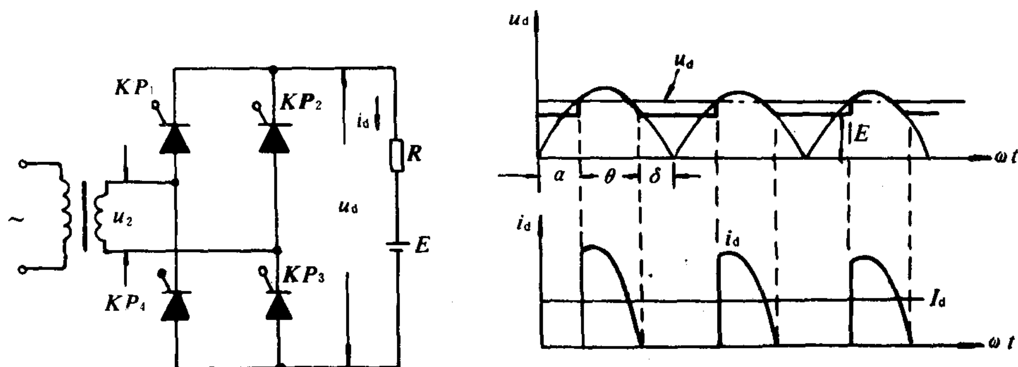


图 8.3.5—20 单相桥式全控电路反电势负载及其波形

单相桥式全控整流电路有关参数的计算见表 8.3.5—17。

2.1.2 三相桥式全控整流电路(见图 8.3.5—21 至图 8.3.5—24)

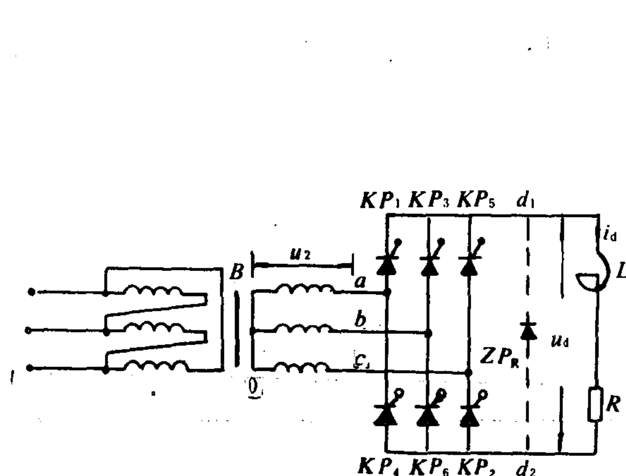


图 8.3.5—21 三相桥式全控整流电路

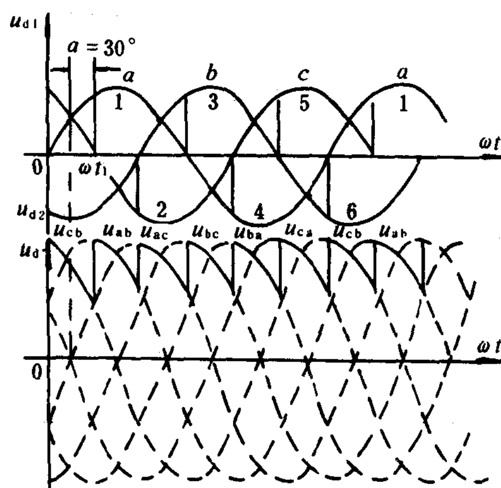
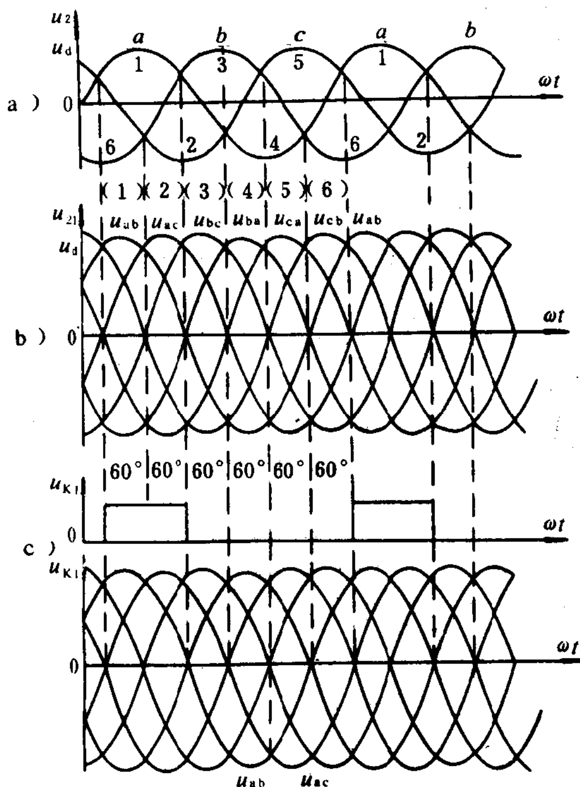


图 8.3.5—22 三相桥式全控整流电路电感性负载当 α=0 时的波形

1)换相过程(见表 8.3.5—16)

表 8.3.5—16 **换 相 过 程**

时间	电压最高	电压最低	应触发的晶闸管	变压器工作相	电流路径
(1)	a 相	b 相	KP_1 KP_6	a、b	a 相→KP_1→负载→KP_6→b 相
(2)	a 相	c 相	KP_1 KP_2	a、c	a 相→KP_1→负载→KP_2→c 相
(3)	b 相	c 相	KP_2 KP_3	b、c	b 相→KP_3→负载→KP_2→C 相
(4)	b 相	a 相	KP_4 KP_3	b、a	b 相→KP_3→负载→KP_4→a 相
(5)	c 相	a 相	KP_4 KP_5	c、a	C 相→KP_5→负载→KP_4→a 相
(6)	c 相	b 相	KP_6 KP_5	c、b	c 相→KP_5→负载→KP_6→b 相



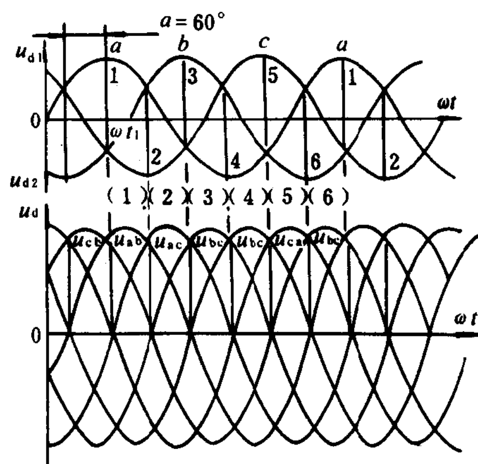


图 8.3.5—23 电感性负载，α=30°时三相桥式全控整流电路的电压波形

图 8.3.5—24 电感性负载，α=60°时三相桥式全控整流电路的电压波形

控制角α由三相交流电源电压波形的自然换相点算起。三相桥式全控整流电路中各整流元件导通的次序是：

→6.1→1.2→2.3→3.4→4.5→5.6→（循环）

2)触发脉冲的分配及触发方式

按时间顺序排列，触发脉冲的分配顺序是：

$KP_1 \to KP_2 \to KP_3 \to KP_4 \to KP_5 \to KP_6 \to KP_1$，相邻两脉冲的相位差为60°。见图 8.3.5—25。

对于三相全控桥式整流电路，需要共阴极组和共阳极组各一个晶闸管被同时触发导通后，才能形成导电回路。因此，有两种触发方式：

(1)宽脉冲触发：触发脉冲宽度大于60°，小于120°。

(2)双窄脉冲触发：触发某一个晶闸管时，同时给前一个晶闸管补发一个脉冲，使共阴极组和共阳极组的两个应导通的晶闸管上都有触发脉冲。

3)各电量的计算见表 8.3.5—17

表 8.3.5－17

各种可控整流电路的主要参数

数整流主电路		单相半波	单相全波	单相半控桥	单相全控桥	单相桥式(输出端有一个晶闸管)	三相半波	三相半控桥	三相全控桥	双丫带平衡电抗器
主电路接线方式										
控制角 α=0 时，空载直流输出电压平均值 U_{do}		$0.45U_2$	$0.90U_2$	$0.90U_2$	$0.90U_2$	$0.90U_2$	$1.17U_2$	$1.35U_2$	$1.35U_2$	$1.17U_2$
控制角 α≠0 时，空载直流输出电压 U_{da}	电阻性负载或电感性负载有续流二极管 ZP 的情况	$\frac{1+\cos\alpha}{2}\times U_{do}$	$\frac{1+\cos\alpha}{2}\times U_{do}$	$\frac{1+\cos\alpha}{2}\times U_{do}$	$\frac{1+\cos\alpha}{2}\times U_{do}$	$\frac{1+\cos\alpha}{2}\times U_{do}$	当 $0<\alpha\leqslant\frac{\pi}{6}$ 时：$\cos\alpha\times U_{do}$；当 $\frac{\pi}{6}<\alpha\leqslant\frac{5\pi}{6}$ 时：$0.577[1+\cos(\alpha+\frac{\pi}{6})]\times U_{do}$	$\frac{1+\cos\alpha}{2}\times U_{do}$	当 $0<\alpha\leqslant\frac{\pi}{3}$ 时：$\cos\alpha\times U_{do}$；当 $\frac{\pi}{3}<\alpha\leqslant\frac{2\pi}{3}$ 时：$[1+\cos(\alpha+\frac{2\pi}{3})]\times U_{do}$	当 $0<\alpha\leqslant\frac{\pi}{6}$ 时：$\cos\alpha\times U_{8}$；当 $\frac{\pi}{6}<\alpha\leqslant\frac{5\pi}{6}$ 时：$0.577[1+\cos(\alpha+\frac{\pi}{6})]\times U_{do}$
	电阻＋无限大电感的情况	$\frac{1+\cos\alpha}{2}\times U_{do}$ (有 zp)	$\cos\alpha\times U_{do}$	$\frac{1+\cos\alpha}{2}\times U_{do}$	$\cos\alpha\times U_{do}$	$\frac{1+\cos\alpha}{2}\times U_{do}$	$\cos\alpha\times U_{do}$	$\frac{1+\cos\alpha}{2}\times U_{do}$	$\cos\alpha\times U_{do}$	$\cos\alpha\times U_{do}$
α=o 时的脉动电压	最低脉动频率	f	2f	2f	2f	2f	3f	6f	6f	6f
	脉动率(%)	121	48.4	48.4	48.4	48.4	18.7	4.2	4.2	4.2
整流臂的正向电压峰值和反向电压峰值		$\sqrt{2}\,U_2$	$2\sqrt{2}\,U_2$	$\sqrt{2}\,U_2$	$\sqrt{2}\,U_2$	$\sqrt{2}\,U_2$ 反向无	$\sqrt{6}\,U_2$	$\sqrt{2}\,U_2$	$\sqrt{2}\,U_2$	$\sqrt{6}\,U_2$
移相范围	纯电阻负载或电感负载有续流二极管 ZP 的情况	$0\sim\pi$	$0\sim\pi$	$0\sim\pi$	$0\sim\pi$	$0\sim\pi$	$0\sim\frac{5\pi}{6}$	$0\sim\pi$	$0\sim\frac{2\pi}{3}$	$0\sim\frac{2\pi}{3}$
	电阻＋无限大电感的情况	$0\sim\frac{\pi}{2}$	$0\sim\frac{\pi}{2}$	$0\sim\frac{\pi}{2}$	$0\sim\frac{\pi}{2}$	$0\sim\frac{\pi}{2}$	$0\sim\frac{\pi}{2}$	$0\sim\frac{\pi}{2}$	$0\sim\frac{2\pi}{3}$	$0\sim\frac{\pi}{2}$
最大导通角		π	π	π	π	π	$\frac{2\pi}{3}$	$\frac{2\pi}{3}$	$\frac{2\pi}{3}$	$\frac{\pi}{3}$
整流臂的正向峰值电压和反向峰值电压		$\sqrt{2}\,U_2$	$2\sqrt{2}\,U_2$	$\sqrt{2}\,U_2$	$\sqrt{2}\,U_2$	$\sqrt{2}\,U_2$ 反向无	$\sqrt{6}\,U_2$	$\sqrt{2}\,U_2$	$\sqrt{2}\,U_2$	$\sqrt{6}\,U_2$
整流臂正向电流平均值(没有 ZP 的情况)		I_d(为负载电流平均值)	$\frac{1}{2}I_d$	$\frac{1}{2}I_d$	$\frac{1}{2}I_d$	I_d	$\frac{1}{3}I_d$	$\frac{1}{3}I_d$	$\frac{1}{3}I_d$	$\frac{1}{6}I_d$
变压器容量	初级绕组	$3.48P_d$	$1.11P_d$	$1.11P_d$	$1.11P_d$	$1.11P_d$	$1.21P_d$	$1.05P_d$	$1.05P_d$	$1.05P_d$
	次级绕组	$3.48P_d$	$1.57P_d$	$1.11P_d$	$1.11P_d$	$1.11P_d$	$1.48P_d$	$1.05P_d$	$1.05P_d$	$1.48P_d$

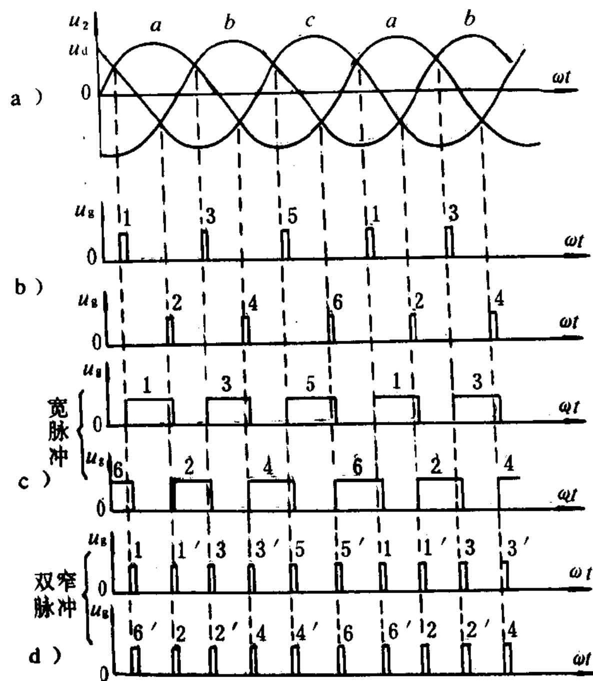


图 8.3.5—25　三相桥式全控整流电路的触发脉冲

2.2　整流变压器额定参数工程计算方法及整流元件的选择

1)整流变压器的工程计算(见表 8.3.5—18)

表 8.3.5—18　**整流变压器额定参数的计算**

次级相电压有效值 U_2(v)	次级相电流有效值 I_2(A)	初级相电流有效值 I_1(A)	初级容量 S_1(VA)	次级容量 S_2(VA)	视在容量 S(VA)
$(1.1\sim1.2)\frac{U_d}{A\varepsilon B}$	$K_{I2}I_d$	$1.05K_{I1}$	$m_1U_1I_1$	$M_2U_2I_2$	$\frac{1}{2}(S_1+S_2)$

注:U_d—整流电压平均值,取高限;I_d—负载电流平均值,取高限;ε—电网电压脉动系数,取低限值;例如电网电压波动为+5%~−10%,即 ε=1.05~0.90,取 ε=0.90;其余各系数由表 8.3.5—19 和表 8.3.5—20 选取。

表 8.3.5—19　**整流变压器的计算系数**(电感负载)

整流主电路	单相双半波	单相半控桥	单相全控桥	三相半波	三相半控桥	三相全控桥	带平衡电抗器的双反星形
序　号	1	2	3	4	5	6	7
$A=\frac{U_{do}}{U_2}$	0.90	0.90	0.90	1.17	2.34	2.34	1.17

续上表

整流主电路		单相双半波	单相半控桥	单相全控桥	三相半波	三相半控桥	三相全控桥	带平衡电抗器的双反星形
序号		1	2	3	4	5	6	7
$B=\frac{U_{d\alpha}}{U_{do}}$	带续流二极管	$\frac{1+\cos\alpha}{2}$	$\frac{1+\cos\alpha}{2}$	$\frac{1+\cos\alpha}{2}$	$\cos\alpha(\alpha=0°\sim30°)$ $0.577[1+\cos(\alpha+30°)]$ $(\alpha=30°\sim150°)$	$\frac{1+\cos\alpha}{2}$	$\cos\alpha(\alpha=0°\sim60°)$ $[1+\cos(\alpha+60°)]$ $(\alpha=60\sim120°)$	$\cos\alpha(\alpha=0°\sim60°)$ $[1+\cos(\alpha+60°)]$ $(\alpha=60°\sim120°)$
	不带续流二极管	$\cos\alpha$	$\frac{1+\cos\alpha}{2}$	$\cos\alpha$	$\cos\alpha$	$\frac{1+\cos\alpha}{2}$	$\cos\alpha$	$\cos\alpha$
C		$\frac{1}{\sqrt{2}}=0.707$	$\frac{1}{\sqrt{2}}=0.707$	$\frac{1}{\sqrt{2}}=0.707$	$\frac{\sqrt{3}}{2}=0.866$	$\frac{1}{2}=0.5$	$\frac{1}{2}=0.5$	$\frac{1}{2}=0.5$
$K_{i2}=\frac{I_2}{I_d}$		0.707	1	1	0.577	0.816	0.816	0.289
$KI_1=\frac{KI_1}{I_d}$		1	1	1	0.472	0.816	0.816	0.408
m_2		2	1	1	3	3	3	6
m_1		1	1	1	3	3	3	3
S_1/S_2		0.707	1	1	0.816	1	1	0.707
S_2/P_d		1.57	1.11	1.11	1.48	1.05	1.05	1.48
S_1/P_d		1.11	1.11	1.11	1.21	1.05	1.05	1.05
S/P_d		1.34	1.11	1.11	1.34	1.05	1.05	1.26

2)自耦式整流变压器的计算容量：

$$S_c=(1-\frac{1}{K})S \qquad (8.3.5—2)$$

$$K=U_1/U_2=N_1/N_2(\text{匝比})$$

式中：S——视在容量，VA，参照整流变压器的计算方法。

3)整流元件的选择

整流元件的额定电压

$$U_{ked}=(2\sim3)U_m \qquad (8.3.5—3)$$

式中：U_m——元件承受的最大峰值电压，V，由表 8.3.5—21 查得。

整流元件的额定电流(通态平均电流)

$$I_T=(1.5\sim2)K_{fb}KI_d \qquad (8.3.5—4)$$

式中：K_{fb}——$\alpha=0°$时的计算系数，由表 8.3.5—21 查得；

K ——负载允许的过载倍数；

I_d ——负载电流，A。

表 8.3.5－20

整流变压器的计算系数(电阻负载)

整流主电路	单相双半波	单相半控桥	单相全控桥	三相半波	三相半控桥	三相全控桥	带平衡电抗器的双反星形
序号	1	2	3	4	5	6	7
$A=\frac{U_{do}}{U_2}$	0.90	0.90	0.90	1.17	2.34	2.34	1.17
$B=\frac{U_{d\alpha}}{U_{do}}$	$\frac{1+\cos\alpha}{2}$	$\frac{1+\cos\alpha}{2}$	$\frac{1+\cos\alpha}{2}$	$\cos\alpha$ ($\alpha=0°\sim30°$) $0.577[1+\cos(\alpha+30°)]$ ($\alpha=30°\sim150°$)	$\frac{1+\cos\alpha}{2}$	$\cos\alpha$ ($\alpha=0°\sim60°$) $[1+\cos(\alpha+60°)]$ ($\alpha=60°\sim120°$)	$\cos\alpha$ ($\alpha=0°\sim60°$) $[1+\cos(\alpha+60°)]$ ($\alpha=60°\sim120°$)
$K_{I2}=\frac{I_2}{I_d}$	0.785	1.11	1.11	0.587	0.816	0.816	0.294
$K_{I1}=\frac{KI_1}{I_d}$	1.11	1.11	1.11	0.480	0.816	0.816	0.415
m	2	1	1	3	3	3	6
m_1	1	1	1	3	3	3	3
S_1/S_2	0.707	1	1	0.816	1	1	0.707
S_2/P_d	1.75	1.23	1.23	1.51	1.05	1.05	1.51
S_1/P_d	1.23	1.23	1.23	1.23	1.05	1.05	1.05
S/P_d	1.49	1.23	1.23	1.37	1.05	1.05	1.28

表 8.3.5—21　　**整流元件的最大峰值电压 U_M 和通态平均电流的计算系数 K_{fb}**

整流主电路		单相半波	单相双半波	单相桥式	三相半波	三相桥式	常平衡电抗器的双反星形
U_m		$\sqrt{2}U_2$	$2\sqrt{2}U_2$	$\sqrt{2}U_2$	$\sqrt{6}U_2$	$\sqrt{6}U_2$	$\sqrt{6}U_2$
$K_{fb}(\alpha=0°)$	电阻负载	1	0.5	0.5	0.374	0.368	0.185
	电感负载	0.45①	0.45	0.45	0.368	0.368	0.184

① 指带有续流二级管的电路

2.3 变压器漏抗对可控整流电路的影响

由于变压器存在一定的漏电感 L_B，而电感要阻止电流的变化，所以电流换相不能瞬时完成。变压器漏感使整流装置功率因数降低，电压脉动系数增加，输出电压调整率降低。

2.3.1 换相过程及换相压降

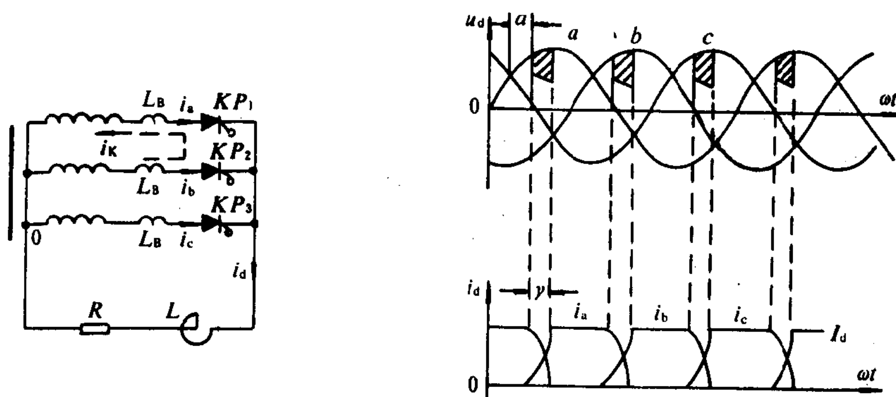


图 8.3.5　26　变压器漏抗对可控整流电路电压波形、电流波形的影响

例如从 a 相换到 b 相，见图 8.3.5—26。a 相电流从 I_d 逐渐减小到零，b 相电流从零逐渐增大到 I_d。换相过程对应的时间以角度计算，称换相重叠角，用 γ 表示。在重叠角 γ 对应的换相时间内，两相晶闸管都导通。两相之间的电位差瞬时值是 U_b-U_a，称短路电压。与不考虑变压器漏感相比，整流电压波形少了一块如图 8.3.5—26 上的阴影面积。这块面积的平均值称换相压降：

$$\Delta U_d=\frac{m}{2\pi}\int_{\alpha}^{\alpha+\gamma}(U_b-U_d)d(Wt)$$

$$=\frac{mX_3}{2\pi}\cdot Id \qquad (8.3.5—5)$$

式中：m ——相数，三相半波 m＝3，三相桥式全控 m＝6；

X_b ——漏感为 L_B 的变压器每相折算到次级绕组的漏抗，$X_B=\frac{U_2}{I_2}\frac{U_{K\%}}{100}$；

U_2 ——变压器次级绕组额定相电压，V；

I_2 ——变压器次级绕组额定相电流（星形联接），A；

$U_{K\%}$ ——变压器短路比。一般为 5，最大为 12。

重叠角 γ 可由下式计算：

$$\cos\alpha-\cos(\alpha+r)=\frac{I_dX_B}{\sqrt{2}U_2\sin\frac{\pi}{m}} \qquad (8.3.5—6)$$

式中：U_2 ——相电压有效值，V；

m ——相数,单相双半波及单相桥式电路:m=2;三相半波及三相桥式电路:m=3;六相半波电路:m=6;

I_d ——负载电流平均值,A;

X_B ——见式(8.3.5—5)。

2.4 整流装置的功能指标

2.4.1 整流装置的效率和损耗

1)效率

$$整流:效率=\frac{直流侧总功率}{直流侧总功率+损耗之和} \quad (8.3.5—7)$$

$$逆变:效率=\frac{交流侧输出基波功率}{交流侧输出基波功率+损耗之和} \quad (8.3.5—8)$$

式中,损耗包括:主变压器与电抗器损耗,开关操作过电压保护系统损耗,硅器件反向损耗,其它附属装置损耗等。

2)变流因数(变流效率)

当直流侧电压、电流的交流分量不能对负载提供有用功率时,使用变流因数。

$$整流:变流因数=\frac{直流电压\times直流电流}{交流侧输入基波功率}\times100\% \quad (8.3.5—9)$$

$$逆变:变流因数=\frac{交流侧输出基波功率}{直流电压\times直流电流}\times100\% \quad (8.3.5—10)$$

2.4.2 电压调整率

$$电压调整率=\frac{额定直流电流下的直流电压降}{理想空载输出电压}\times100\% \quad (8.3.5—11)$$

直流电压降包括:①变压器漏抗压降;②电网侧电抗器压 降;③整流元件侧电抗器压降;④整流元件的正向压降;⑤电网感抗引起的直流电压降。

2.4.3 功率因数

功率因数是变流装置电网侧有效功率与视在功率之比。它与滞后角、交流侧的感抗及电流波形有关。

$$功率因数:\lambda=\xi\cos\varphi \quad (8.3.5—12)$$

式中: ξ——畸变因数,表示电流波形含有高次谐波的程度。ξ=变压器一次侧电流基波有效值/一次侧电流有效值。

$\cos\varphi$——位移因数,为一次相电压与一次相电流基波之间的相位差角的余弦。在不考虑换相重叠角 γ 的条件下,基波相位移角 Φ 等于控制角 α,即 $\cos\Phi=\cos\alpha$。

若考虑换相重叠角 γ,三相桥式全控整流电路的位移因数为:

$$\cos\Phi=\frac{3}{\pi k}\left[\cos\frac{\gamma}{2}\cos\left(\alpha+\frac{\gamma}{2}\right)\right] \quad (8.3.5—13)$$

在我国,功率因数一般取额定输出条件下的数据。对脉波数 $m<6$ 的变流装置,如无其它规定,一般以位移因数 $\cos\Phi$ 作为功率因数标定在产品铭牌上。

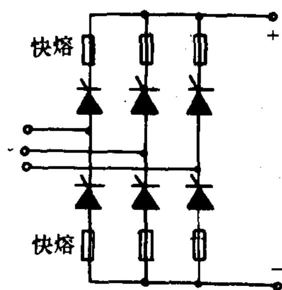


图 8.3.5—27 快速熔断器的常规接法

2.5 晶闸管主回路的保护

2.5.1 过电流保护

过电流保护由电流调节器、封锁触发脉冲或后移触发脉冲、快速开关、快速熔断器等组成。快速熔断器的常规接法见图 8.3.5—27。

国产快速熔断器的规格型号见表 8.3.5—22。

熔体的额定电流 I_{KR} 可按下式选取：$1.57I_T \geqslant I_{KR} \geqslant I_K$。$I_T$ 是晶闸管额定电流，I_K 是晶闸管的实际工作电流有效值。

表 8.3.5—22　**RLS 系列快速熔断器**

型　号	额定电压(V)	熔断器额定电流(A)	熔体额定电流(A)	极限分断电流(RA)	保护特性	
					电流	熔断时间
RLS—10	500	10	3、5、10	40	$8I_{ed}$	<0.3s
RLS—50		50	15、20、25、30、40、50		$3.5I_{ed}$	<0.12s
					$4I_{ed}$	<0.06s
RLS—500		100	60、80、100		$5I_{ed}$	<0.02s

注：R—熔断器；L—螺旋式；S—快熔。

2.5.2 过电压保护

1)交流侧过电压保护

(1)阻容保护(见图 8.3.5—28)

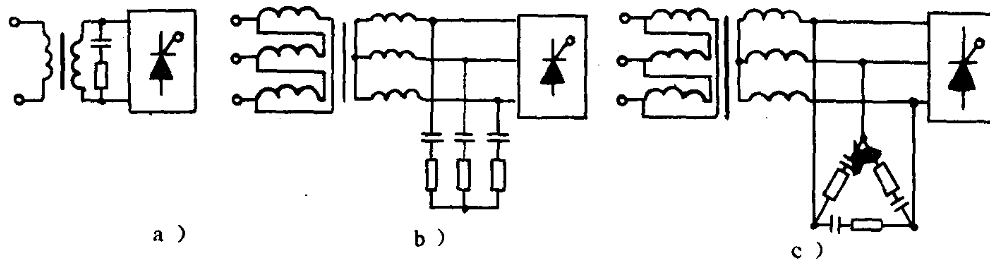


图 8.3.5—28　阻容保护的接法

a)单相；b)三相变压器次级丫接；阻容保护丫接；c)三相变压器次级丫接；阻容保护△接

单相变压器交流侧电容 C 和电阻 R 的计算：

$$C \geqslant 6i_0\%\frac{S}{U_2^2} \tag{8.3.5—14}$$

$$R \geqslant 2.3\frac{U_2^2}{S}\sqrt{\frac{u_k\%}{i_0\%}} \tag{8.3.5—15}$$

式中：C ——电容，μF；

R ——电阻，Ω；

S ——变压器每相的平均计算容量(视在容量)，VA；

U_2——变压器次级相电压有效值，V；

$i_0\%$ ——变压器激磁电流百分数，对于 10～560kVA 的三相变压器，$i_0\%=4～10$；

$\mu_k\%$——变压器的短路比，对于 10～560kVA 的变压器，$\mu_k\%=5\sim10$。

电容 C 的耐压≥$1.5U_c$，U_c 是阻容两端在正常工作时交流电压的有效值。

电阻功率按式(8.3.5—16)选取。

$$(2\sim3)(2\pi f)^2K_1(CR)CU_2^2<P_R<(1\sim2)[(2\pi f)^2K_1(CR)+K_2]CU_2^2 \quad (8.3.5—16)$$

式中：P_R ——电阻功率，W；

R ——电阻，Ω；

C ——电容，F；

f ——电源频率，Hz；

U_2——变压器二次相电压有效值，V；

K_1——系数，单相：$K_1=1$；三相：$K_1=3$；

K_2——系数，单相：$K_2=200$；三相半波：阻容△接 $K_2=450$，阻容 Y 接 $K_2=150$；三相桥式：阻容△接 $K_2=900$，阻容 Y 接 $K_2=300$。

当 $CR<0.2\mu s$ 时，P_R 值应接近上式右方。当 $CR>5\mu s$ 时，P_R 值应接近上式左方。

在各种接法时，R、C 值按表 8.3.5—23 作相应变化。

表 8.3.5—23　**变压器和阻容装置不同接法时电阻和电容的数值**

变压器接法	单相	三相次级 Y 接		三相次级 △接	
阻容装置接法	与变压器次级关联	Y 接	△接	Y 接	△接
电容	C	C	$\frac{1}{3}C$	3C	C
电阻	R	R	3R	$\frac{1}{3}R$	R

注：C 按式 8.3.5—14 计算；按 8.3.5—15 计算。

三相整流式阻容保护接法见图 8.3.5—29。

变压器次级 Y 接时：

$$C\geqslant 6i_0\%\frac{S}{U_2^2} \quad (8.3.5—17)$$

$$R\geqslant 3.3\frac{U_2^2}{S}\sqrt{\frac{U_k\%}{i_0\%}} \quad (8.3.5—18)$$

变压器次级△接时：

$$C\geqslant 6i_0\%\frac{S}{U_2^2} \quad (8.3.5—19)$$

$$R\geqslant 1.1\frac{U_2^2}{S}\sqrt{\frac{U_k\%}{i_0\%}} \quad (8.3.5—20)$$

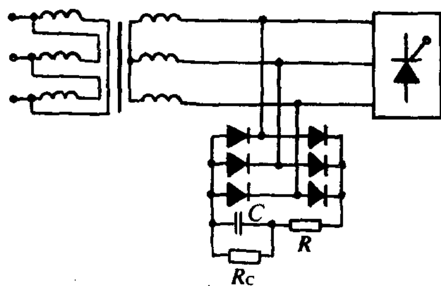


图 8.3.5—29　三相整流式阻容保护的接法

式中：C——电容，μF；

R——电阻，Ω，

其余参数见式 8.3.5—14 和式 8.3.5—15。

C 的直流耐压≥1.5×(交流线电压峰值)。

图 8.3.5—29 中 R_c 的计算：

$$\frac{1}{3c}\times10^4<R_c\leqslant\frac{1}{5c}\times10^6 \quad (8.3.5—21)$$

式中：C ——电容，μF；

R_c——电阻，Ω。

电阻 R_c 的功率：

$$P_{R_C} \geqslant (3\sim4)\ \frac{(\sqrt{2}U_{2L})^2}{R_c} \qquad (8.3.5—22)$$

式中：P_{R_c}——电阻 R_c 的功率，W；

U_{2l}——变压器二次线电压有效值，V；

R_c——电阻，Ω。

(2)压敏电阻保护(见图 8.3.5—30)

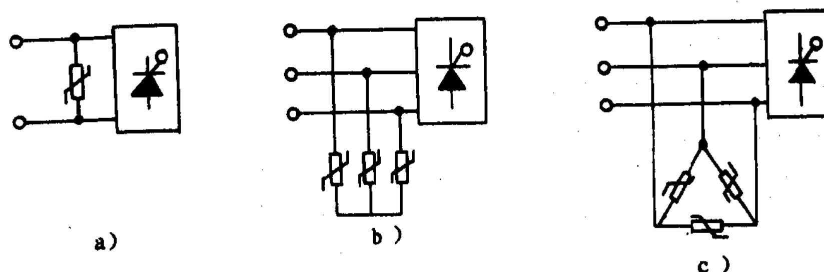


图 8.3.5—30　压敏电阻保护的接法

a)单相；b)三相 Y 接；c)三相△接

压敏电阻额定电压 U_{imA} 的选取：

$$U_{imA} \geqslant \frac{\varepsilon}{(0.8\sim0.9)} \times (\text{压敏电阻承受的额定电压峰值}) \qquad (8.3.5—23)$$

式中：ε——电网电压升高系数，一般取 1.05～1.10。

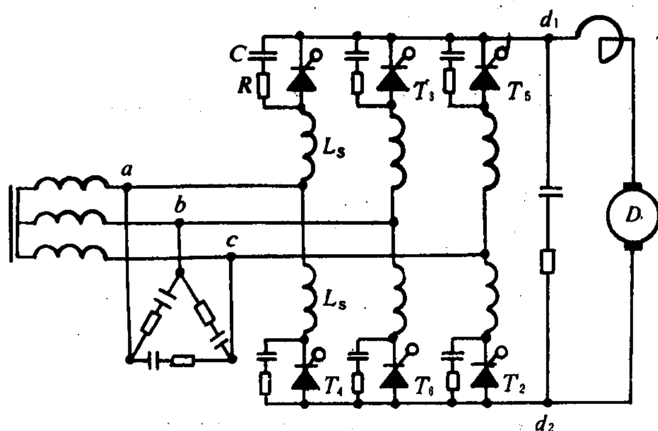


图 8.3.5—31　晶闸管串接桥臂电抗器

2)直流侧过电压保护

若快速开关和熔断器选配合适，不必安装直流侧过电压保护装置。如需要安装直流侧过电压阻容吸收装置，其参数参照交流侧阻容计算方法，最好采用整流法。

2.5.3　电流和电压上升率的限制

在每个桥臂上串联一个电感 L，抑制晶闸管导通时的正向电流上升率$\frac{di}{dt}$。见图 8.3.5—31。

L 由下列估算：

$$L = \frac{(0.03\sim0.05)R_{dx}}{2\pi f} \qquad (8.3.5—24)$$

式中：L——电感，H；

R_{dx}——整流装置输入端的等效电阻，Ω。

对三相整流系统而言，R_{dx}是每相等效负载电阻，即相电压与线电流之比。

在每只晶闸管侧并联 RC 吸收装置，以抑制晶闸管换相时的 dv/dt，防止误导通，见图 8.3.5—31。其计算公式如下：

$$
\left.\begin{aligned}
&C=(2.5\sim5)\times10^{-3}I_{dl}\\
&R=(15\sim30)\sqrt{\frac{U^2}{CI_d}}\\
&U_c\geqslant2.2U_m\\
&P_R=fU_m^2\times10^{-6}
\end{aligned}\right\}\qquad(8.3.5-25)
$$

式中：C ——电容，μF；

R ——电阻，Ω；

U_c——电容耐压，V；

P_R——电阻功率，W；

I_{dl}——晶闸管额定电流平均值，A；

U_2——变压器次级相电压有效值，V；

I_d——直流输出的最大工作电流，A；

f ——电源频率，Hz；

U_m——变压器次级线电压峰值，V。

3 晶闸管的触发电路

3.1 对触发电路的要求

1)在交流电 源系统中，触发脉冲应与晶闸管主电路的电源同步；

2)触发信号应能满足移相范围的要求；

3)触发信号应有足够的功率(电压、电流)。可参考元件出厂的检验数据或产品目录设计触发电路输出的电压、电流值；

4)触发脉冲信号要有一定宽度，保证晶闸管能被触 发可靠导通。一般晶闸管导通时间是6μs，故脉 冲宽度应有20～50μs。对于电感性负载，脉冲宽度应大于100μs；

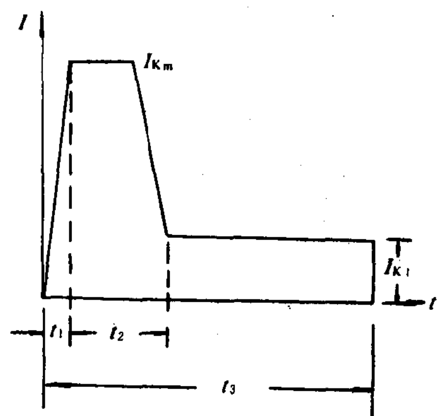


图 8.3.5—32 强触发脉冲波形

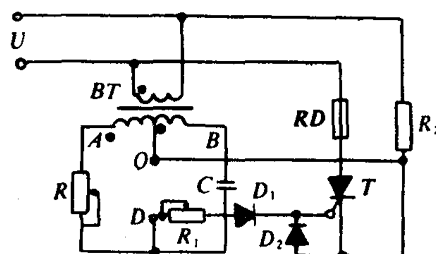


图 8.3.5—33 单相半波整流电路的阻容移相桥电路

5)对于大电流晶闸管并联及高电压晶闸管串联电路中，为使晶闸管导通时间趋于一致，宜采用强触 发措施。强触 发脉 冲波形见图 8.3.5—32。图中 t_1 是脉冲前沿时间，前沿上升速度0.5A/μs。t_2 是强触发脉冲宽度，取 t2>50μs。t_3 是脉冲持续时间，取 $t_3\geqslant550\mu$s。I_{km}为强触发脉冲幅值，应取触发电流的5倍左右。I_{k1}值应大于元件的触发电流值；

6)在变频器和斩波器中要求触发脉冲频率可以调节。

3.2 典型触发电路

3.2.1 阻容移相桥触发电路(见图 8.3.5—33)

适用范围:小功率晶闸管整流装置,控制精度要求不高的装置。

R、C 的计算:

$$\left.\begin{aligned} C &\geqslant \frac{3I_{DO}}{U_{DO}} \\ R &\geqslant K_R \frac{U_{DO}}{I_{DO}} \end{aligned}\right\} \qquad (8.3.5—26)$$

式中: C —— 电容,μF;

R —— 电阻,kΩ;

U_{DO} —— 移相桥输出电压有效值,V;

I_{DO} —— 移相桥输出电流有效值,A;

K_R —— 计算系数,由表 8.3.5—24 查得。

表 8.3.5 24 **K_R 经验数据**

晶闸管整流器输出电压调节倍数	2	2~10	10~50	50 以上
要求移相范围	90°	90°~144°	144°~164°	164°以上
K_R	1	2	3~7	7 以上

3.2.2 单结晶体管触发电路

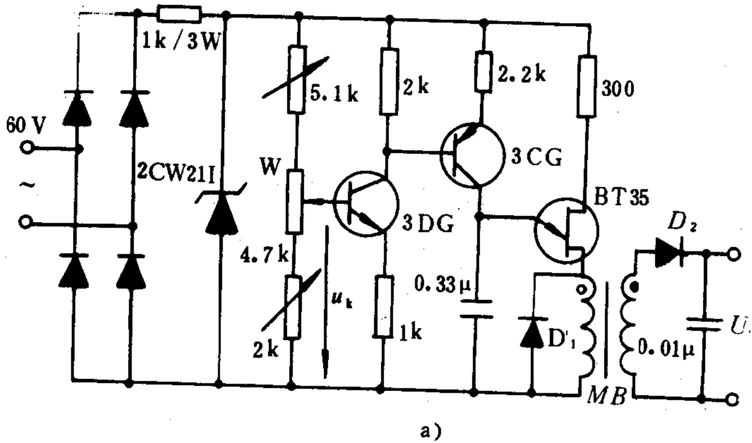
单结管实用触发电路见图 8.3.5—34。

通过改变电位器 IR 阻值,使触 发脉冲移相。

适用范围:电路较简单,温度补偿性能好,有一定的抗干扰能力。但输出功率较小、脉冲较窄,线性度稍差,移相范围小于 150°。不加放大环节,可适用于 50A 以下的晶闸管。

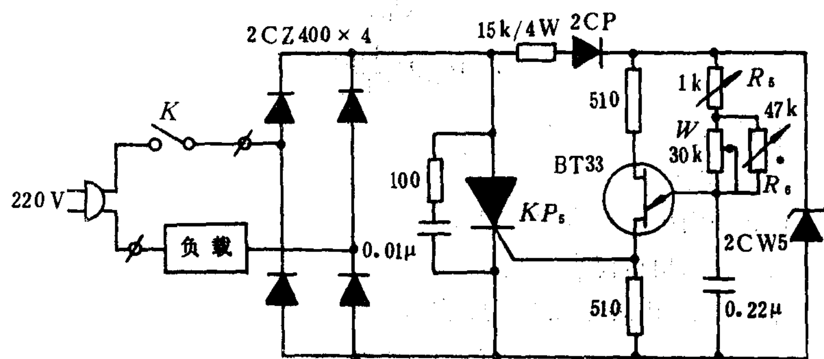
3.2.3 同步信号为正弦波的触发电路。

图 8.3.5—35 是同步信号为正弦波的触发电路

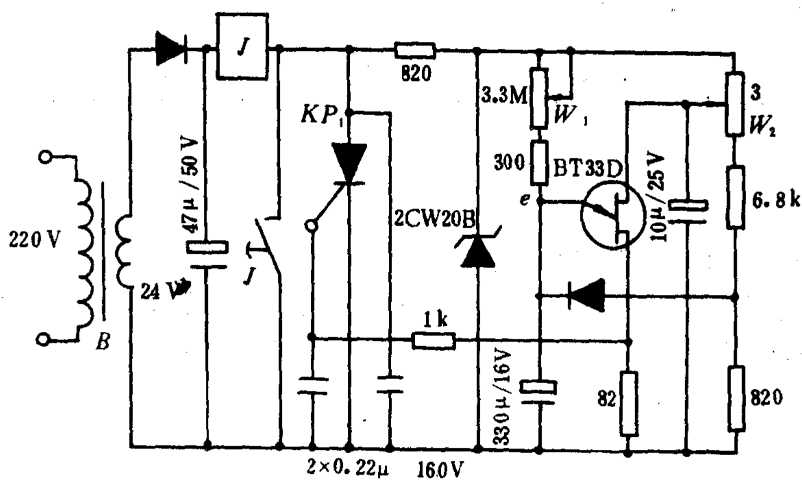


a)

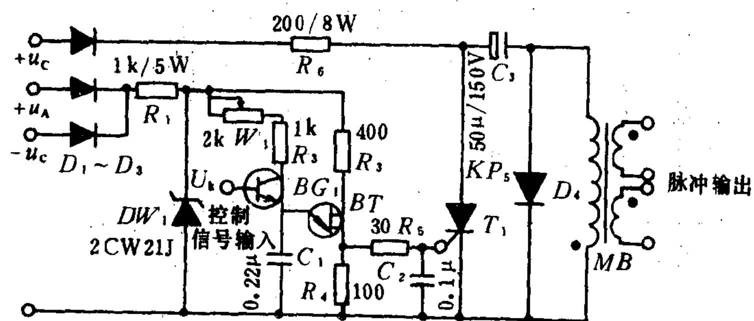
图 8.3.4 34



b)



c)



d)

图8.5.5-31 单结晶体管实用触发电路

a)触发电路;b)调压电路;c)延时电路;d)功率触发电路

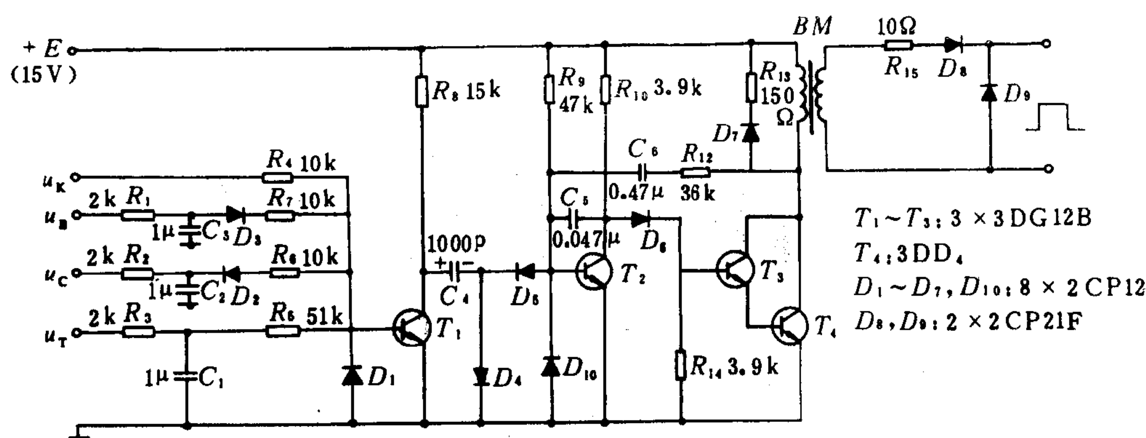


图 8.3.5—35 同步信号为正弦波的晶体管触发电路

适用范围：本电路脉宽 60～100°，移相范围 150°左右。适用于三相全控整流电路或带电感负载的可控整流电路，本电路不宜用于电网电压波动很大的场合。

3.2.4 同步信号为锯齿波的触发电路

图 8.3.5—36 是同步信号为锯齿波的触发电路。

可按图 8.3.5—37 所示接线产生双脉冲。

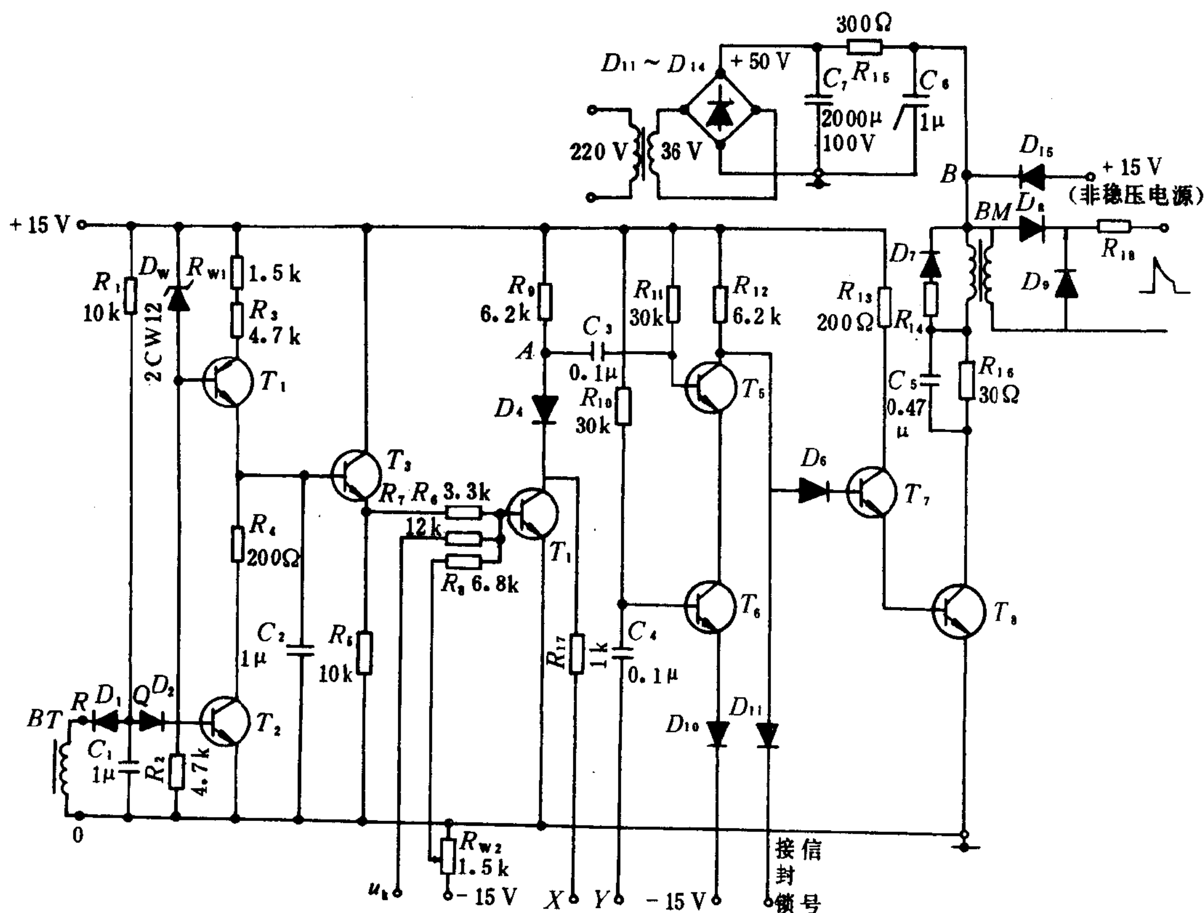


图 8.3.5—36 同步电压为锯齿波时晶体管触发电路

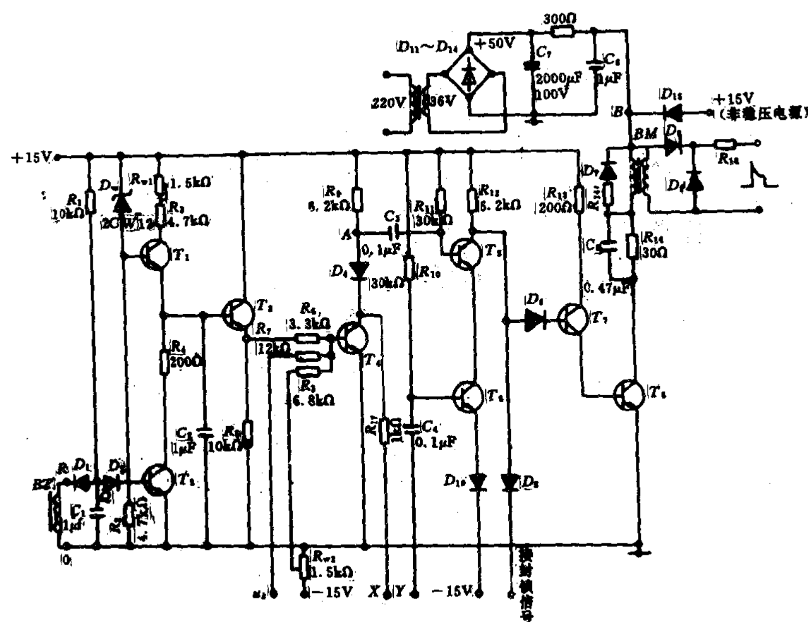


图 8.3.5—37 双脉冲电路联接图

适用范围：本电路移相范围可达 240°左右，可产生双脉冲和强触发脉冲，移相线性度好，适用于各种多相可控整流、逆变电路。

3.2.5 集成触发器

KC 系列是集成电路触发器，其可靠性高，技术性能好，抗干扰能力强。

1)KCO1 集成触发器电路图见图 8.3.5—38 至 8.3.5—43。调节电位器 W_1，可改变锯齿波斜率，在 3 号脚用示波器观察锯齿波。调节电位器 W_2，可进行偏移微调。改变电容 C_4 值，可调整脉冲宽度。本参考电路脉宽 12±2°，脉冲移相范围不小于 180°。

2)KCO4 保持了 KCO1 温漂小，移相线性度好的优点，由于内部电路的改进，能在同步电压正负半周连续产生锯齿波，提高了元件的功能。图 8.3.5—44 是采用 KCO4 元件的六脉冲触发器实用电路。图中由二极管 D_1～D_{12}组成六个“或”门形成六路双脉冲。三极管 T_1～T_6 是脉冲功率放大级，其集电极输出信号经脉冲分配器接至晶闸管的门极和阴极上(图中未画出)。虚线框内是脉冲列调制电路，其中多谐振荡器是由三级倒相器组成的电容正反馈、电阻负反馈电路。这样，输出的触发脉冲是脉冲列，可以缩小脉冲变压器的体积，降低成本，增强抑制干扰的能力。KCO4 技术数据见表 8.3.5—25。

图 8.3.5—38　KC01集成触发器人部电路及参考外部电路图

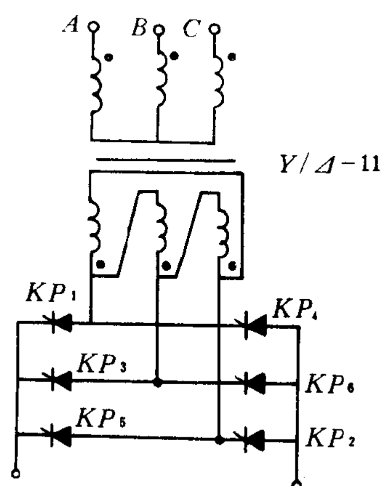


图 8.3.5—39 主回路变压器接法

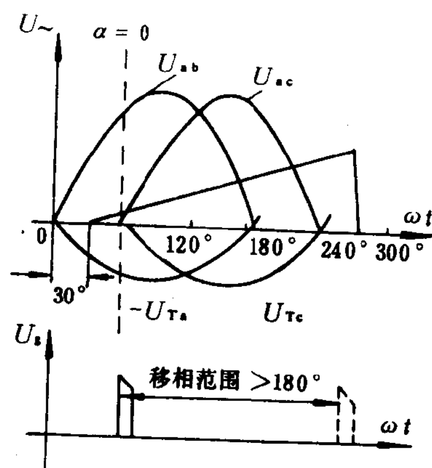


图 8.3.5—40 KP_1 晶闸管有关波形

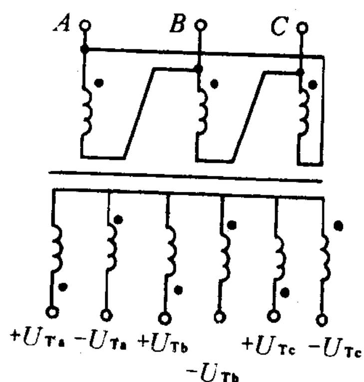


图 8.3.5—41 同步变压器接法

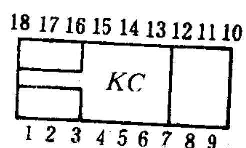


图 8.3.5—42 KC 系列管脚识别图

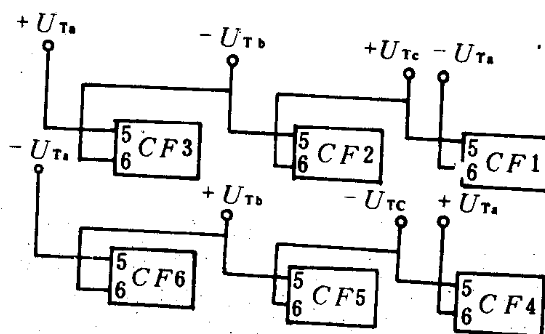


图 8.3.5—43 KC04 同步端子接线图

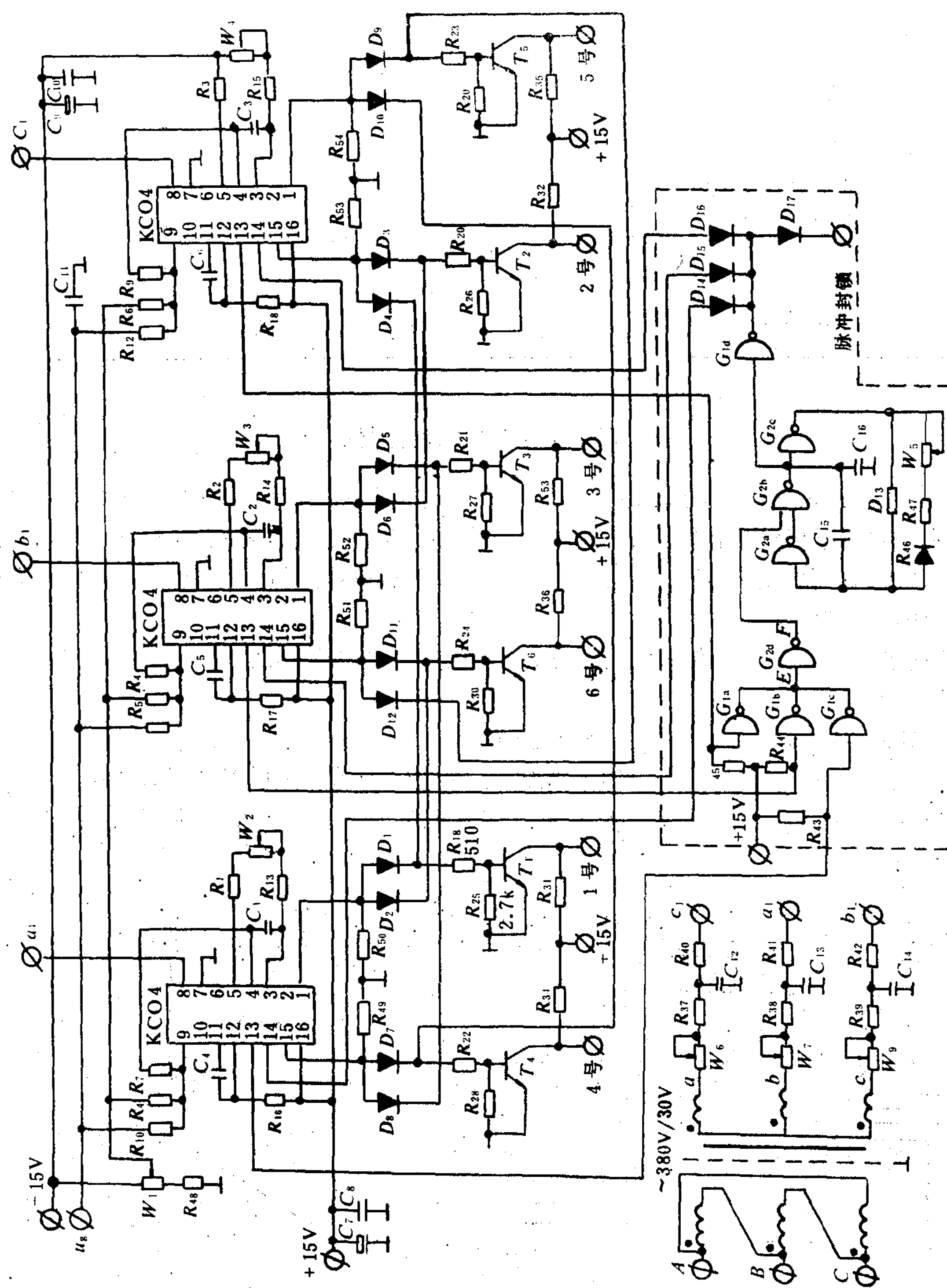


图 8.3.5 44 KCO4 六脉冲触发器电路原理图

表 8.3.5—25 **KC04技术数据**

序号	技术参数名称	原技术条件(上器所)	实验测试结果
1	交流同步输入电压	15～60V	20～60V
2	移相控制电压	－8～＋8V	－8～＋8V
3	移相范围	≥165°(U_T=3V)	160°(u_T=40V)
4	触发脉冲宽度	750μs	800μs
5	功放级输出最大电流	800mA	500mA
6	输出脉冲前沿上升时间	≤20μs	<10μs
7	各相脉冲的不均衡	±3°	≤3.5°
8	电源电压	±15V±5%	±15V±5%
9	电源消耗电流	＋50mA －20mA (不包括输出级)	＋64mA －22mA (不包括输出级)

3.3 触发电路与主电路的同步

为保证主电路正常工作，触发电路必须能产生六个互隔60°的脉冲，以轮流触发主电路的六只晶闸管(对于三相桥式全控电路)；脉冲重复频率应与电网频率同步；脉冲移相范围能保证整流电压从零到最大值之间变化。通过供给各触发单元电路不同相位的交流电压，来完成上述要求的方法，称之为同步。

研究同步问题，首先应了解触发电路的工作原理，然后根据波形或矢量决定同步变压器的接线方式。

例1：图8.3.5—36所示的触发电路的同步问题。

本触发电路在同步信号负半波产生触发脉冲。由于主整流器采用Y/Y－12接法，则在控制角α=0°时，同步信号电压应滞后相应主回路相电压150°。以a相为例，其相量图如图8.3.5—45所示。

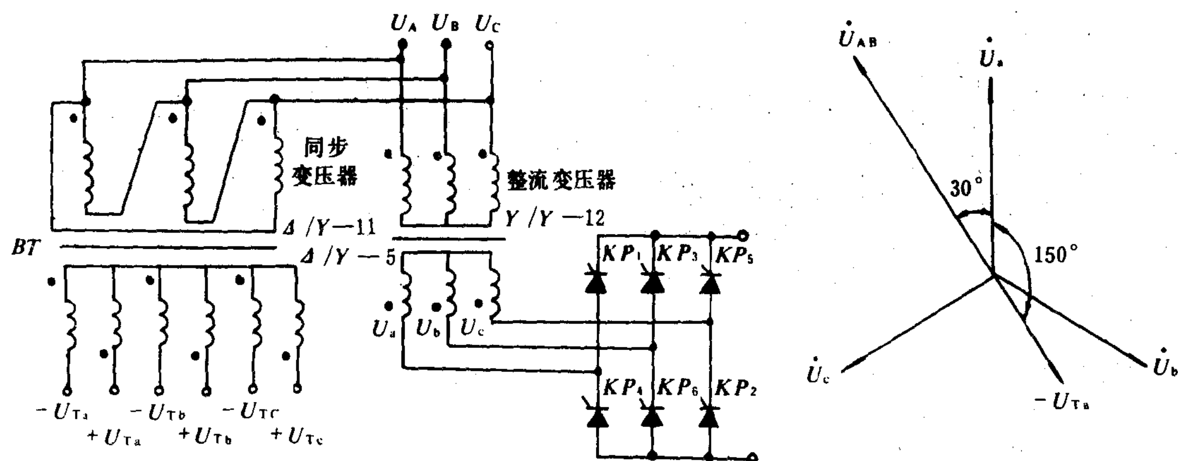


图8.3.5—45 例1同步变压器的连接及相量图

由相量图得出：同步变压器接法为△/Y－11，△/Y－5。KP_2～KP_6晶闸管触发电路的同步电压以$-\dot{U}_{ab}$为基准(即 $-\dot{U}_{Ta}$)，依次递推60°即可，如表8.3.5—26所示。

表 8.3.5 26 **例1中各晶闸管的同步信号电压**

被触发的晶闸管	KP_1	KP_2	KP_3	KP_4	KP_5	KP_6
主电路电压	$+U_a$	$-U_c$	$+U_b$	$-U_a$	$+U_c$	$-U_b$
同步信号电压	$-U_{Ta}$	$+U_{Tc}$	$-U_{Tb}$	$+U_{Ta}$	$-U_{Tc}$	$+U_{Tb}$

3.4 防止误触发的措施

1)门极回路使用带屏蔽层的导线,并将金属屏蔽层接地。门极回路应远离大电流的导线以及易产生干扰的引线。

2)门极单独敷线,走线径直,并远离电感元体。

3)触发器的电源采用有静电屏蔽的同步变压器供电,必要时再加滤波器。脉冲变压器必要时在初次级绕组间加设静电屏蔽层。

4)选用触发电流较大的元件。

5)在靠近晶闸管的阴极和门极间连接电容 C_1 和电阻 R_2,见图 8.3.5—46a),图中 $C_1=0.01\sim0.1\mu F$,$R_2=100\Omega$ 左右。

6)在门极与阴极间加反向偏置电压,一般为 3V 左右。可以用固定电压,也可以用图 8.3.5—46b)所示加接 D_3、D_4、D_5 二极管,利用二极管正向压降产生反压。

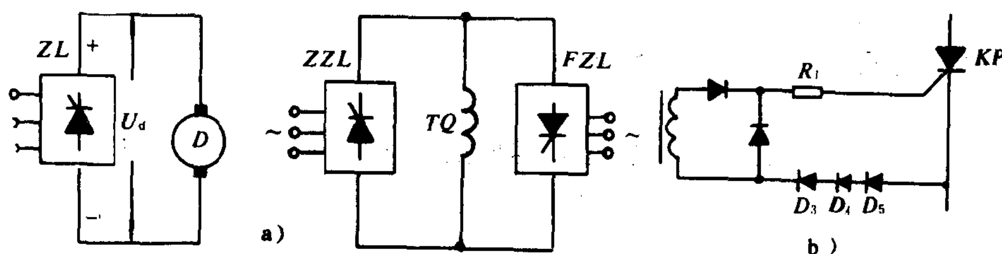


图 8.3.5—46 触发电路抗干扰措施

a) 加 R_2C_1;b)加接二极管

4 晶闸管不可逆调速系统

4.1 晶闸管—电动机系统

4.1.1 电流连续时的机械特性

图 8.3.5—47 为三相半波整流电路供给电动机的线路和波形。电动机的机械特性方程是:

$$n=\frac{U_{do}}{Ce\Phi}-\frac{R_n+R_s}{C_eC_M\Phi^2}M \qquad (8.3.5—27)$$

式中:U_{do}——理想空载时整流电压平均值,$U_{do}=q/\pi\times U_m\sin(\pi/q)\cos\alpha$,$U_m$ 值按表 8.3.5—27 选取;

R_n——整流装置内阻,$R_n=R_b+mx_b/2\pi$,R_b 为变压器绕组等效电阻,X_b 为变压器漏抗(计算法见 2.3.1),m 为每周波换流次数;

R_s——电动机电枢回路电阻。

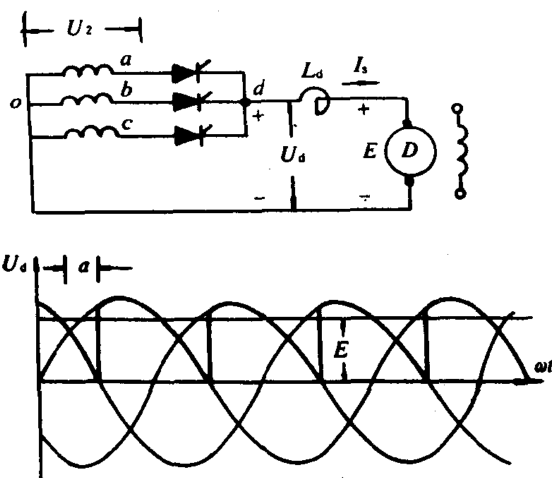


图 8.3.5—47 三相半波整流电路供给电动机的线路和波形

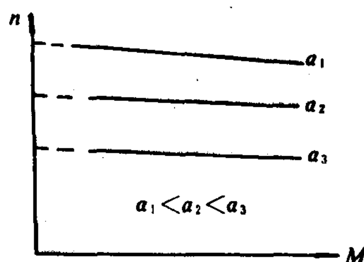


图 8.3.5—48 晶闸管电动机系统电流连续时的机械特性

表 8.3.5—27 **电路参数的选择**

整流电路	单相桥式	三相半波	三相桥式
α=0°时整流电压峰值 U_m	$\sqrt{2}\,U_2$	$\sqrt{2}\,U_2$	$\sqrt{6}\,U_2$
一周内整流电压波头数 m	2	3	6

注：U_2－变压器副边额定相电压有效值。

调节 α，可以进行调速，如图 8.3.5—48 所示。

4.1.2 电流断续时的机械特性

当负载很小时，由于整流电压是一个脉动电压，这时电流是不连续的，其机械特性出现非线性段，如图 8.3.5—49 所示。

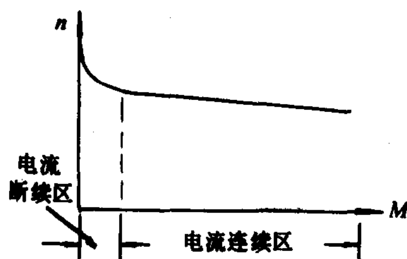


图 8.3.5—49 电流断续时的机械特性

为保证电动机在最小工作电流 I_{smin}时，电流仍能连续，需要选择的电感量为：

$$L_d = A\frac{U_2}{I_{dmin}} \tag{8.3.5—28}$$

式中：L_d ——电感，mH；

U_2 ——变压器次级相电压有效值，V；

I_{dmin} ——最小负载电流，A，通常取电动机额定工作电流的 5%左右；

A ——系数，三相半波 A=1.46，三相桥式全控 A=0.693。

4.2 调速系统的调速指标

4.2.1 静态指标

见表 8.3.5—28。

表 8.3.5—28 **调速系统的静态指标**

名　称	符　号	定　义	公　式
调速范围	D	生产机械要求电动机能提供的最高转速 n_{max} 和最低转速 n_{min} 之比	$D=\frac{n_{max}}{n_{min}}$
静差率	δ	负载由理想空载变到额定负载所产生的转速降落 Δn_e 与理想空载转速 n_0 之比	$S=\frac{\Delta n_e}{n_0}$
平滑系数	φ	相邻两级转速之比	$\varphi=\frac{n_i}{n_{i-1}}$

说明：①电动机调速的下限 n_{emin} 受 s 的限制，生产机械要求的静差率指最低转速下的静差率。

②调速范围与静差率的关系是：$D=\frac{n_e S}{\Delta n_e(1-S)}$。

③$\varphi=1$ 时，为无级调速。

4.2.2 动态指标

见表 8.3.5—29。

4.3 转速负反馈自动调速系统

见图 8.3.5—50

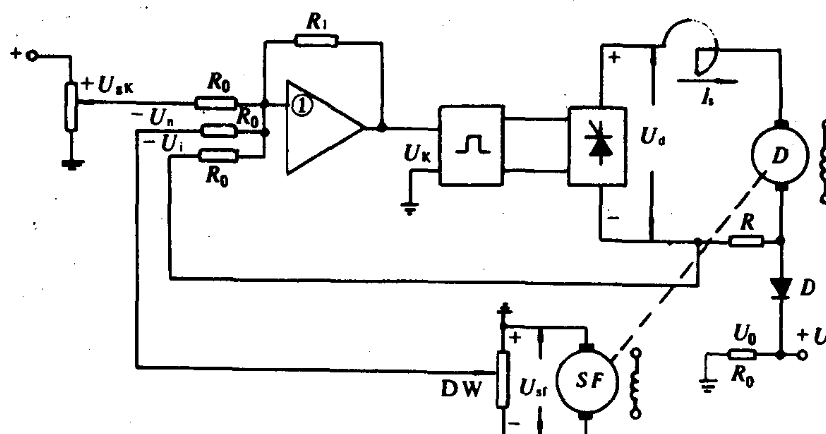


图 8.3.5—50　转速负反馈带电流截止负反馈的自动调速系统

本系统采用由运算放大器构成的比例调节器，是有静差调速系统。由二极管 D、电阻 R、R_0 及直流电源+U 组成电流截止负反馈环节，此环节可以限制起动电流或过载电流，使本系统获得堵转的静特性。

1)静特性

见图 8.3.5—51。

表 8.3.5－29　　**调速系统的动态指标**

	名称	符号	定　　义	图　　示
对给定输入跟随能力的指标	过渡过程时间	t_g	突加阶跃输入时，到电机能稳定运行在下式限定范围内所需的时间，$\frac{\lvert n(t)-n\infty\rvert}{n\infty}\leqslant\delta\%$ n_∞如代表稳定值；δ%取 2%或 5%	
	最大超调量	$\sigma_m\%$	$\sigma m\%=\frac{n_m-n\infty}{n\infty}\times100\%$ n_m 为首次转速最大值	
	衰减度	Ψ	$\Psi=\frac{n_m-n_1}{n_1-n_\infty}$ n_1 为出现 n_m 一个同期后 n(t)的数值 0<Ψ<1 0<Ψ<1	
抗扰动能力指标	动态转速降	Δn_m	突加阶跃扰动下的最大动态转速降	
	恢复时间	t_n	恢复到稳态值的 95%以内所需时间	

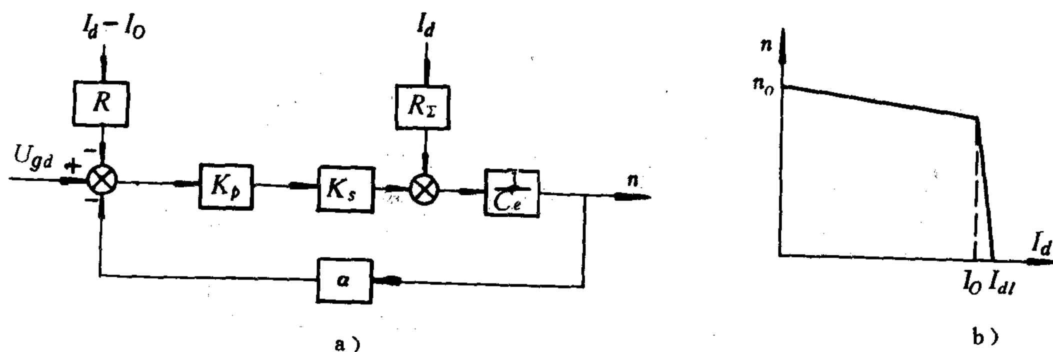


图 8.3.5－51　转速负反馈带电流截止负反馈的静态结构图和静特性曲线

静特性分为两段：

当 $I_s\leqslant I_0$ 时(仅有转速负反馈)：

$$n=\frac{K_TK_0U_{gk}}{K_E(1+K)}-\frac{R_\Sigma}{K_E(1+K)}I_S$$

当 $I_s>I_0$ 时(转速及电流负反馈)：

$$n=\frac{K_TK_0(U_{gk}+I_0R)}{K_E(1+K)}-\frac{R_\Sigma+K_TK_0R}{K_E(1+K)}I_s \qquad (8.3.5-29)$$

式中：K_T ——比例调节器的放大倍数，$K_T=R_1/R_0$，取 $R_0=20\sim40K\Omega$；

K_0 ——触发器及晶闸管整流器的放大倍 数，$K_0=U_{do}/U_k$；

U_{gk}——转速给定值信号，V；

K_E ——电动机电势常数与励磁磁通之积，$K_E=C_e\Phi$；

K—— 系统开环放大倍数，$K=K_TK_0\alpha/K_E$；

α—— 转速反馈系数，$\alpha=U_n/n$，V·min/r；

I_s —— 电动机电枢电流，A；

I_0 —— 加入电流反馈时刻的电动机电枢电流，一般取 $I_0=(U_0/R)\geqslant 1.2I_e$，A；

I_{dL} —— 堵转时电动机电枢电流，A；

$$I_{dL}=\frac{K_TK_0(U_{gk}+RI_0)}{R_\Sigma+K_TK_0R}\leqslant(1.5\sim2)I_e$$

R_Σ —— 主回路总电阻，$R_\Sigma=mx_b/2\pi+R_b+R_l+R_s$

其中：$mx_b/2\pi$ 的意义见 2.3.1，R_b 为整流变压器绕组的等效电阻，R_e 为平波电抗器和线路电阻，R_s 为电动机电枢回路电阻。

2)动特性

(1)稳定性：本系统稳定运行的条件是：

$$K=K_TK_0\alpha/K_E<\frac{T_{jd}(T_d+T_0)+T_0^2}{T_dT_0} \tag{8.3.5—30}$$

式中：T_{jd}—— 机电时间常数，$T_{jd}=\dfrac{GD^2R_\Sigma}{375C_eC_M\Phi^2}$，$C_M$ 为电动机的转矩常数，N·m/A·W_b；GD^2 为电动机轴上的飞轮惯量，N·M^2；

T_d—— 电枢电路的电磁时间常数，$T_d=\dfrac{L}{R_\Sigma}$，L 是电枢回路总电感量，H；

T_0—— 晶闸管失控时间 s；

各种整流电路的失控时间见表 8.3.5—30。

表 8.3.5—30　　**各种整流电路的失控时间**

整流电路型式	三相桥式、六相零式	三相零式	单相桥式、单相全波	单相半波
最大失控时间 T_{om}(ms)	3.33	6.67	10	20
平均失控时间 $T_0=\frac{T_{om}}{2}$(ms)	1.67	3.33	5	10

(2)起动及负载扰动过程

见图 8.3.5—52。

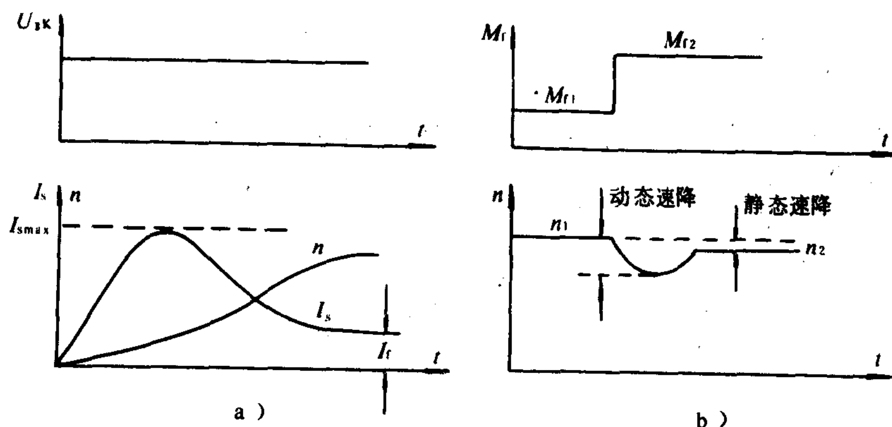


图 8.3.5—52　带比例调节器及电流截止环节的转速负反馈系统的动态过程

a）起动特性；b）负载扰动特性

3)本系统的特点

(1)线路简单,调整方便,允许突加给定电压起动;

(2)在同样负载扰动下,静态速降减为开环系统速降的 1/(1+K);

(3)在同样的最高转速和低速静差率的条件下,调速范围可以扩大到开环调速范围的(1+K)倍;

(4)有静差,动态特性不好。

4.4 电压负反馈自动调速系统

见图 8.3.5—53 该系统采用比例调节器,对电动机端电压 U_d 来说,是有静差调节。由于电压反馈环节不能补偿电枢电阻压降,因此,在相同负载扰动下,其静态速降大于同等放大倍数的转速负反馈系统的静态转速降。一般适用于调速范围 D≤10,静差率 S≥15%场合。

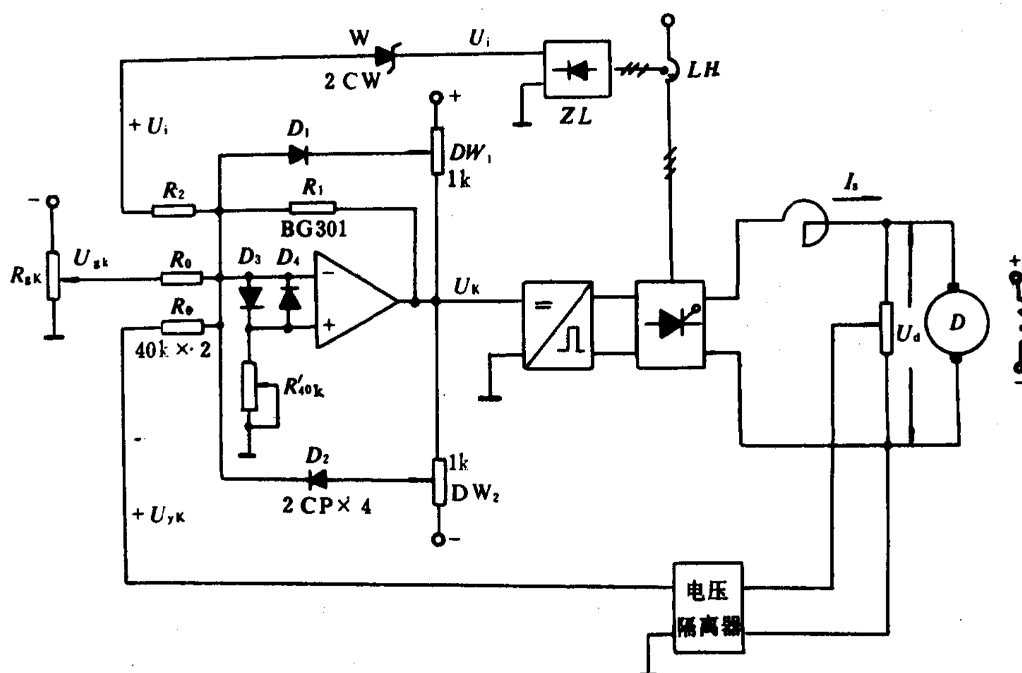


图 8.3.5—53 电压负反馈的自动调速系统

由于电流互感器 LH、整流器 ZL、稳压管 W 构成电流截止负反馈环节,可以防止电动机过载和限制起动电流。

由 DW_2、D_2和 DW_1、D_1 分别构成放大器输出端的正、负限幅环节。

4.4.1 静特性

见图 8.3.5—54。

静特性分为两段:

当 $I_s \leq I_0$ 时(仅有电压负反馈):

$$n=\frac{K_T K_0 U_{gk}}{K_E(1+K)}-\left[\frac{R'_\Sigma}{K_E(1+K)}+\frac{R_s}{K_E}\right]I_s$$

当 $I_s > I_0$ 时(电压及电流负反馈):

$$n=\frac{K_T K_0\left(U_{gk}+\frac{R_1}{R_2}U_W\right)}{K_E(1+K)}-\left[\frac{R'_\Sigma}{K_E(1+K)}+\frac{R_s}{K_E}+\frac{K_T K_0 \beta \frac{R_1}{R_2}}{K_E(1+K)}\right]I_s \quad (8.3.5—31)$$

式中：$R'_{\Sigma}=\frac{mX_b}{2\pi}+R_b+R_1$(见式 8.3.5—29)，Ω；

β —— 电流反馈系数，$\beta=U'_i/I_s$；

K—— 开环放大倍数，$K=K_TK_0\gamma$；

γ —— 电压反馈系数，$\gamma=U_{yk}/U_d$；

U_w—— 稳压管稳压值，V；

其余各参量的意义参见 4.3.1。

I_0 及 I_{dl}的选取：

$$I_0=\frac{U_w}{\beta}\geqslant 1.2I_e \tag{8.3.5—32}$$

$$I_{dl}=\frac{K_TK_0(U_{gk}+\frac{R_1}{R_2}U_w)}{R_{\Sigma}+KR_s+K_TK_0\beta\frac{R_1}{R_2}}\leqslant(1.5\sim2)I_e \tag{8.3.5—33}$$

4.4.2 动特性

见图 8.3.5—55。

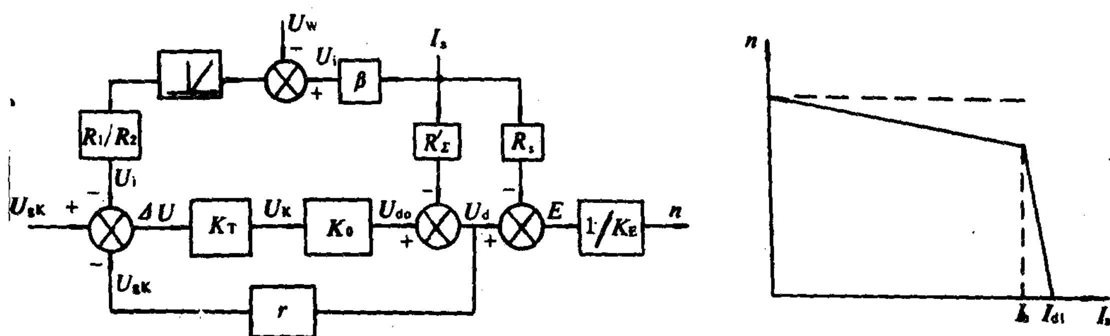


图 8.3.5—54 电压负反馈(带电流截止负反馈)系统静态结结图及静特性曲线

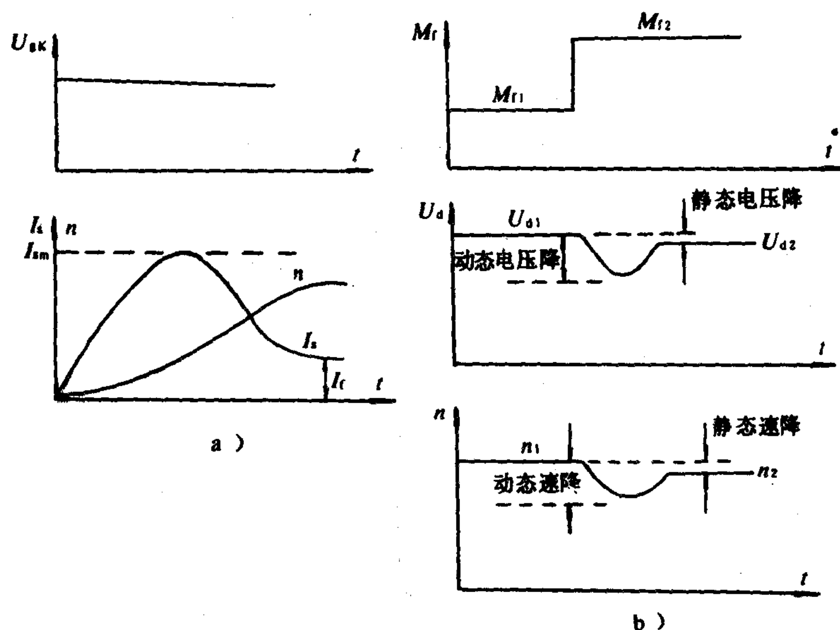


图 8.3.5—55 带比例调节器及电流截止环节的转速负反馈系统动态过程

a)起动特性；b)负载扰动特性

在起动过程中，电流截止负反馈环节不能始终维持最大起动电流 I_{sm} 不变。因此，电动机不能在起动过程中始终获得最大的加速力矩 M_m，所以起动过程较慢。

4.5 转速、电流负反馈的双闭环调速系统

图 8.3.5—56 是本系统的典型线路。

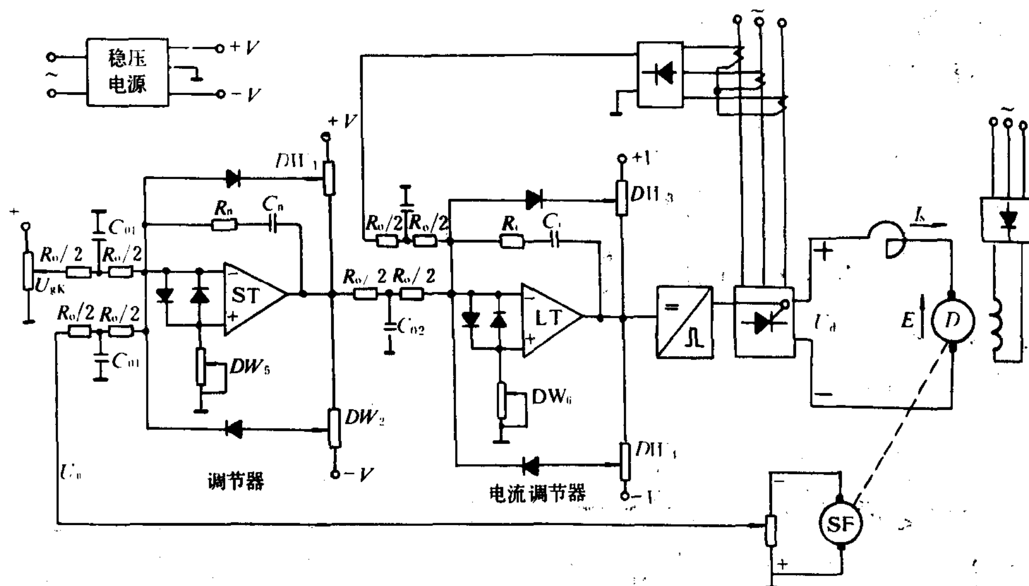


图 8.3.5—56 转速、电流负反馈双闭环调速系统

本系统采用转速调节器 ST 和电流调节器 LT，为使被调量成为无静差以及进行动态校正，均采用比例积分调节器。本系统有最佳起动过程和较强的抗干扰能力，调速范围广，稳速精度高。系统无电气制动，只能采用机械制动。若要产生快速电气制动，参见 5。

4.5.1 电流负反馈的作用。

转速、电流负反馈双闭环调速系统的结构原理见图 8.3.5—57。

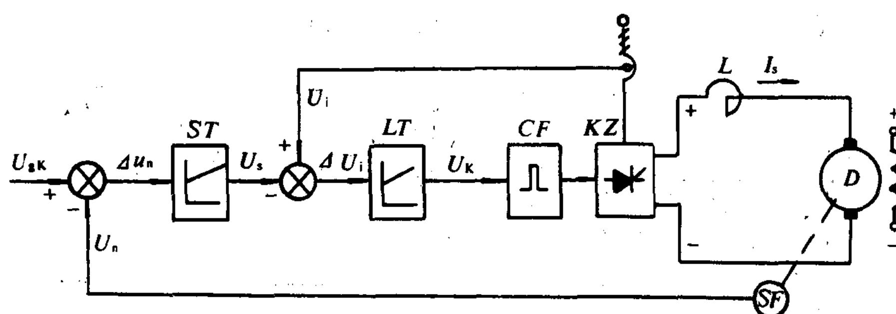


图 8.3.5—57 转速、电流双闭环系统结构原理图

电流负反馈的作用是：

1）在起动（及可逆系统中的制动）的过程中，维持最大起动电流 $I_{sm}=(2\sim2.5)I_e$ 恒定，充分利用电机的过载能力，获 得最快的起动过程。

2）增强抗干扰能力。在电流环内任何原因（如电网电压波动）引起的电枢电路电流变化，都可以通过电流调节器调节而克服，减少对转速的影响。

3)获得挖土机特性。当电机堵转时，$\Delta U_n=\Delta U_{gk}$，ST 输出迅速达到其限幅值 U_{sm}，使电动机电流 $I_s=I_{sm}=(2\sim2.5)I_e$。

4.5.2 静特性

本系统是转速无静差调速系统，其静特性见图 8.3.5—58。

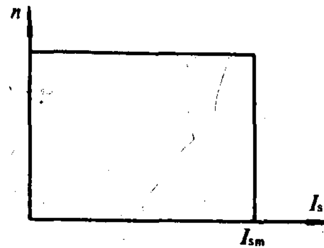


图 8.3.5—58 转速电流双闭环系统静特性

4.5.3 动特性及动态校正的工程方法

1)动特性

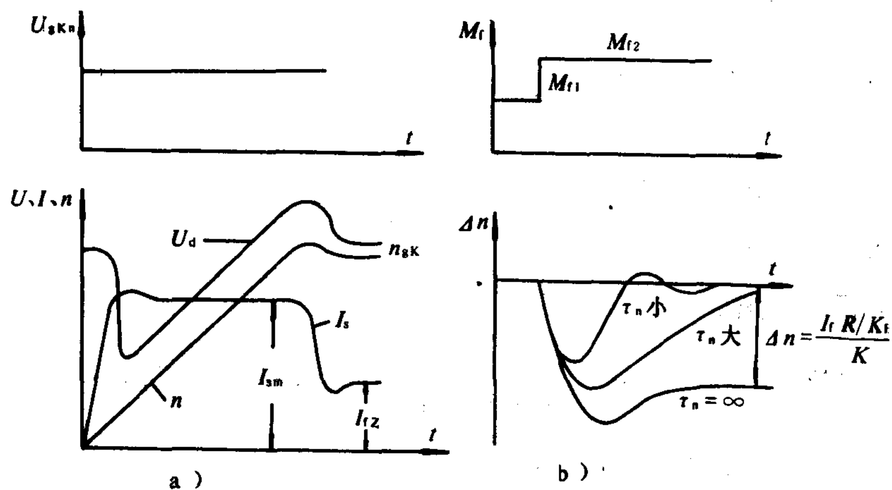


图 8.3.5—59 转速、电流双闭环系统的动态过程

a) 起动特性；b) 负载扰动特性

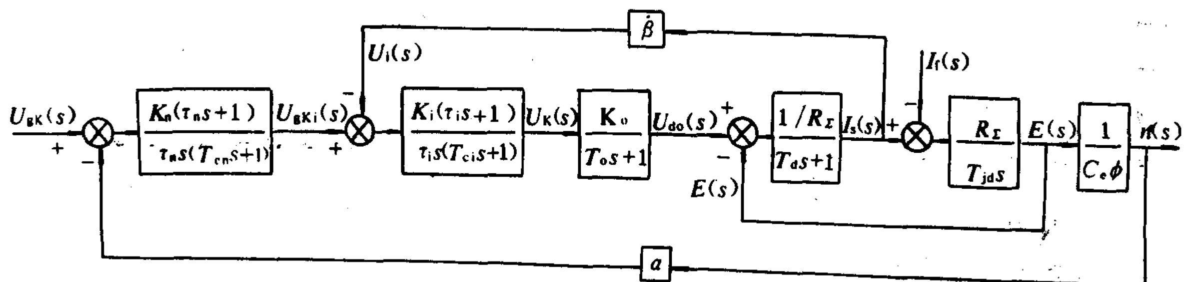


图 8.3.5—60 转速电流双闭环系统动态结构图

$K_n=R_n/R_0$—转速调节器放大倍数；$\tau_n=R_nC_n$—转速调节器积分时间常数；$T_{cn}=R_DC_{o1}/4$—滤波时间常数；$K_i=R_i/R_0$—电流调节器放大倍数；$T_i=R_iC_i$—电流调节器积分时间常数；$T_{ci}=R_oC_{o2}/4$—滤波时间常数；其余参见 4.3.2。

起动及负载扰动时的动态响应曲线见图 8.3.5—59。

2)动态校正的工程方法

采用图 8.3.5—60 所示系统结构图，先内环(电流环)后外环(转速环)的顺序进行动态校正计算，使系统动态性能指标满足要求。

(1)电流调节器参数的计算

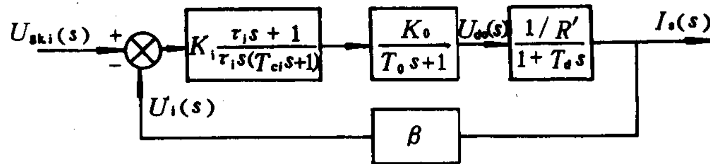


图 8.3.5 61 电流环动态结构图

根据图 8.3.5—61 所示的电流环动态结构图列写电流环的开环传递函数：

$$W_k(S)=\frac{K(\tau_i S+1)}{\tau_i S(\tau_{\Sigma i}S+1)(T_d S+1)} \qquad (8.3.5—34)$$

式中： K ——电流环开环放大倍数，$K=K_iK_0\frac{\beta}{R_\Sigma}$；

T_d——电磁时间；常数，$T_d=\frac{L}{R_\Sigma}$，s；

$T_{\Sigma i}$ ——小时间常数总和，$T_{\Sigma i}-T_{ci}+T_0$，s；

τ_i ——电流调节器积分时间常数，$\tau_i=R_iC_i$，s；

K_i——电流调节器比例系数，$K_i=\frac{R_i}{R_0}$。

令 $\tau_i=T_d$，则闭环传递函数是：

$$W_B(s)=\frac{U_i(s)}{U_{gki}(s)}=\frac{1}{\frac{\tau_i}{K}T_{\Sigma i}S^2+\frac{\tau_i}{K}S+1}=\frac{1}{T^2S^2+2\xi TS+1} \qquad (8.3.5—35)$$

电流调节器参数的计算及电流动态性能见表 8.3.5—31。

表 8.3.5—31 **电流调节器参数的计算**

阻尼比 ξ 取值	开环放大倍数 K=	积分时间常数 τ_i=	比例系数 K_i=	R_i=	C_i=	电流超调量 $\sigma_i\%$=	电流过渡过程时间 t_{gi}=
0.5	$\frac{\tau_i}{T_{\Sigma i}}$	T_d	$\frac{T_d}{T_{\Sigma i}}\cdot\frac{R_\Sigma}{K_0\beta}$	K_iR_0	$\frac{T_d}{R_i}$	16%	$6T_d$
0.7	$\frac{1}{2}\cdot\frac{\tau_i}{T_{\Sigma i}}$	T_d	$\frac{1}{2}\frac{T_d}{T_{\Sigma i}}\cdot\frac{R_\Sigma}{K_0\beta}$	K_iR_0	$\frac{T_d}{R_i}$	5%	$6T_d$

(2)转速调节器参数的计算

电流环动态校正后的传递函数是：

$$\frac{I_s(S)}{U_{gki}(S)}=\frac{1/\beta}{aT_{\Sigma i}^2S^2+aT_{\Sigma i}S+1} \qquad (8.3.5—36)$$

上式中，a 取决于电流调节器参数的选择，当取 ξ=0.5 时，a=1；取 ξ=0.7 时，a=2。

转速环的动态结构图如图 8.3.5—62 所示。调节对象是一个积分环节和一组小惯性环节。

转速调节器的参数计算及转速动态性能 见表 8.3.5—32。图中：$T_{\Sigma n}=T_{cn}+T_{\Sigma i}$。

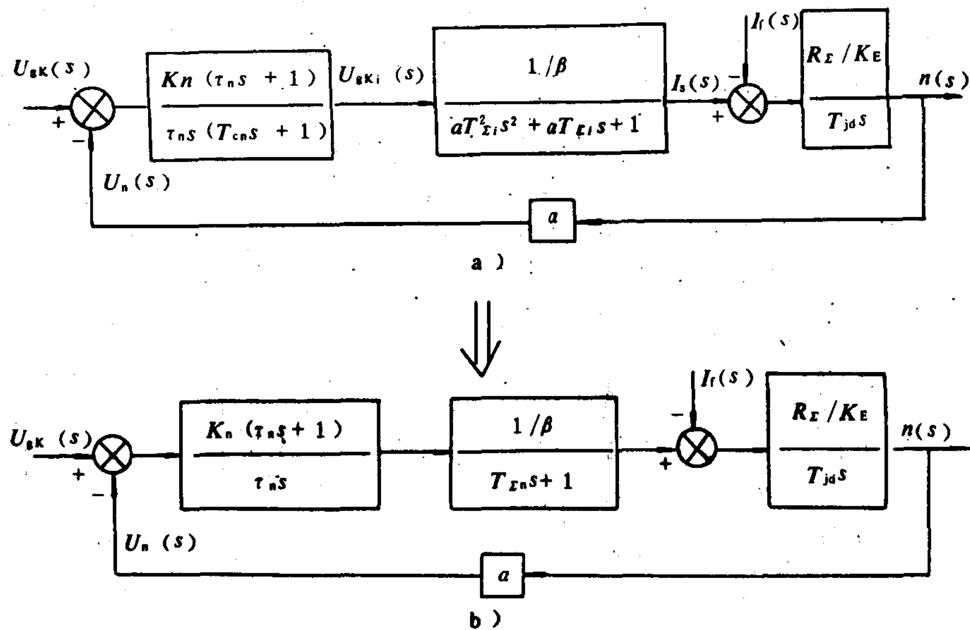


图 8.3.5—62 转速环的动态结构图

表 8.3.5—32 **转速调节器参数的计算**

积分时间常数 Tn=	比例系数 K_n=	R_n=	C_n=	突加负载时动态速降 $\frac{\Delta n_m}{n_\infty}\%$	突加 U_{gk}时转速超调量 $\sigma_n\%$	ST 不饱和时转速过渡过程时间	ST 饱和时转速过渡过程时间
$(4\sim5)T_{\Sigma n}$	$(\frac{1}{2}-1)\frac{T_{jd}\beta K_E}{T_{\Sigma n}\alpha R_\Sigma}$	R_0C_n	$\frac{\tau_n}{R_n}$	≤30%	≤30%	$6T_{\Sigma n}$	$\frac{K_E T_{jd} N_\infty}{R_\Sigma(I_{sm}-I_{fz})}$

注：n_∞—稳态时的转速，r/min；I_{sm}—最大起动电流，$I_{sm}=(2\sim2.5)I_e$，A；

I_{fz}—对应于负载的电流值，A。

5 晶闸管直流可逆调速系统

5.1 有源逆变

概念：晶闸管变流器工作在逆变状态(控制角 α>90°)时，若把变流器的交流侧接至交流电源上，把直流侧的直流电源提供的电力逆变为与交流电源同频率的交流电，送至交流电网，称有源逆变。

有源逆变的条件：

外部条件：变流器直流侧有一个直流电源，且电源极性与晶闸管的导通方向一致，其电热应稍大于变流器直流侧平均电压值。

内部条件：晶闸管电路直流侧应出现负的平均电压，即控制角 α 应大于 90°。

5.1.1 反电枢可逆和反磁场可逆

1)反电枢可逆线路(见图 8.3.5—63)

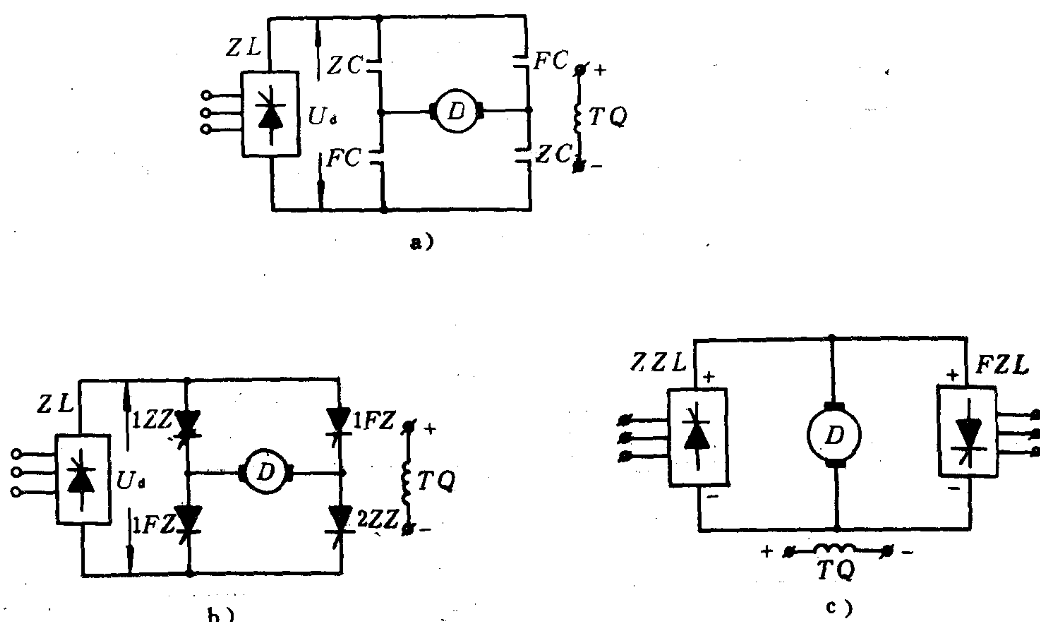


图 8.3.5—63 反电枢可逆电路

a)有触点反电枢可逆;b)晶闸管开关反电枢可逆;c)两组晶闸管装置反电枢可逆

图 a)是利用正、反向接触器 zc 和 Fc,改变电动机电枢电压的极性实现正反转。本电路较简单、经济。接触器动作时间约 0.1～0.2S,因此有换向死区。适用于正反转不甚频繁,转换次数不多的生产机械,如锚机、绞缆机、起货机等。可与本章 4 节中各种调速系统配合使用。

图 b)是利用晶闸管开关代替图 a)中的接触器。本电路结构简单,没有环流,可靠性较高,但对晶闸管元件耐压和电流容量要求较高。

图 c)是利用正、反组整流装置 ZZL 和 FZL 交替工作,使电动机正反转。本电路换向迅速,但控制电路较复杂。适于大容量的锚机、绞缆机、起货机等生产机械。

2)反磁场可逆线路(见图 8.3.5—64)。

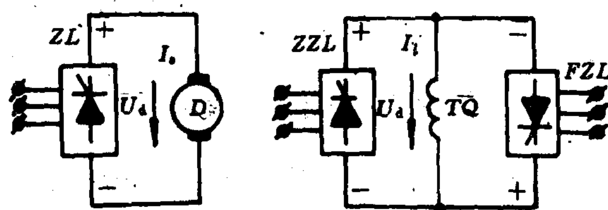


图 8.3.5—64 两组整流装置反磁场可逆电路

由于电 动机励磁回路电感较大,所以反向过程较反电枢可逆系统慢些。但由于励磁功率小(一般励磁功率为(1～5)%额定功率),总的投资较少。适用于正反转不太频繁的大容量可逆传动装置,如电力推进等。在使用中,要解决克服电磁惯性,缩小切换死区;反磁场时,主电路电流应为零,以防止出现弱磁升速的转速冲击等问题。

5.1.2 三相半波逆变电路(见图 8.3.5—65)

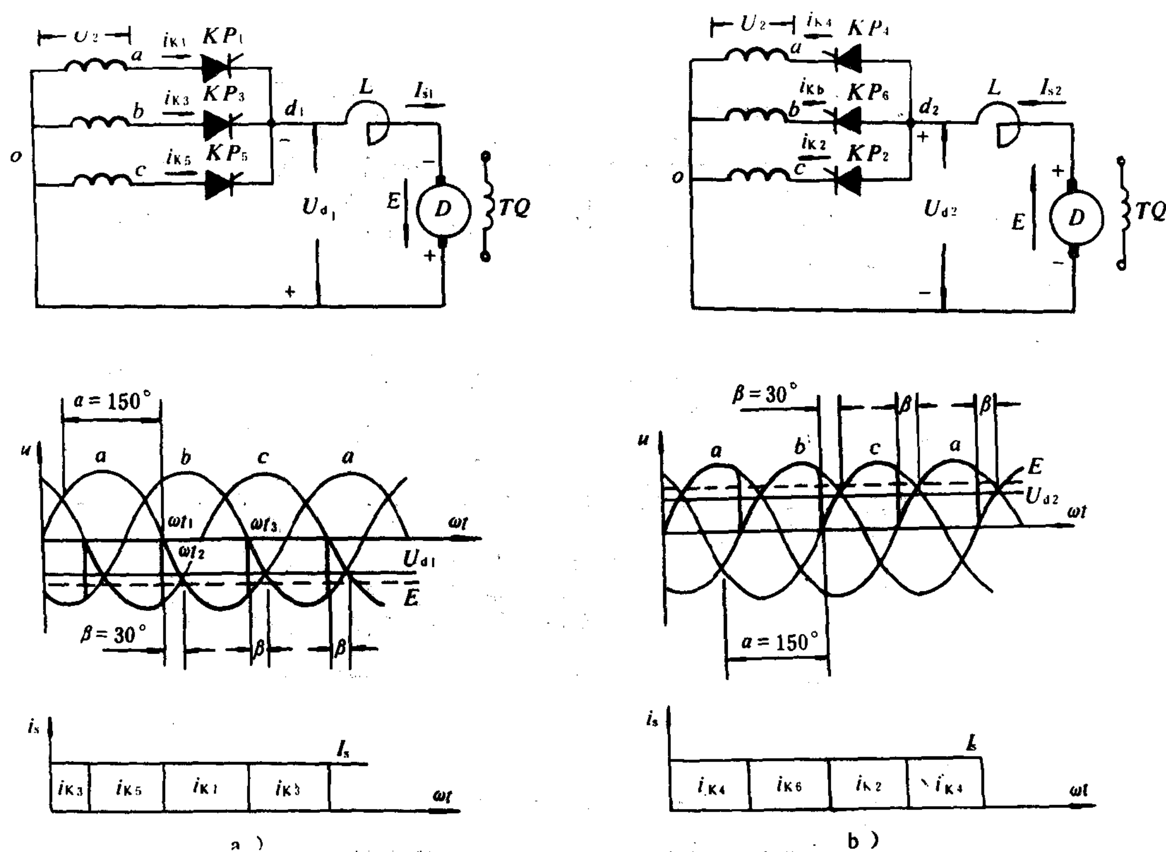


图 8.3.5—65 三相半波逆变电路及波形

a)共阴极组;b)共阳极组

1)控制角α与逆变角β

对于共阴极组晶闸管的控制角从电源电压正半波的自然换相点算起,共阳极组晶闸管的控制角从电源电压的负半波自然换相点算起。规定逆变角β以控制角α=π时作为计量起点,向左方计量。二者的关系是β=π−α。

逆变工作时,$\frac{\pi}{2}<\alpha<\pi$,即$\frac{\pi}{2}>\beta>0$。输出电压平均值为:共阴极组:$U_d=1.17U_2\cos\beta$。

2)对触发电路的要求

必须严格按照规定的换相次序,依次发出触发脉冲,才能保证电路正常工作。

3)能量的传递方向

整流电路处于逆变工作状态时,整流电压 U_d 和电流 I_s 方向相反,与电动机反电势 E 方向相同,说明电动机输出能量,经逆变器向电网回馈能量。

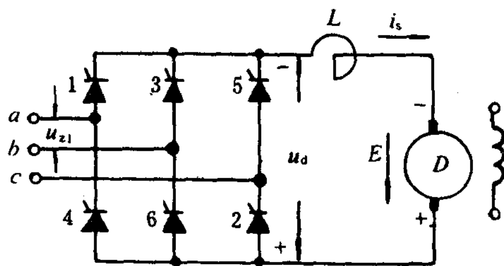


图 8.3.5—66 三相桥式逆变电路

5.1.3 三相桥式逆变电路(见图 8.3.5—66)。

电压、电流波形见图 8.3.5—67。

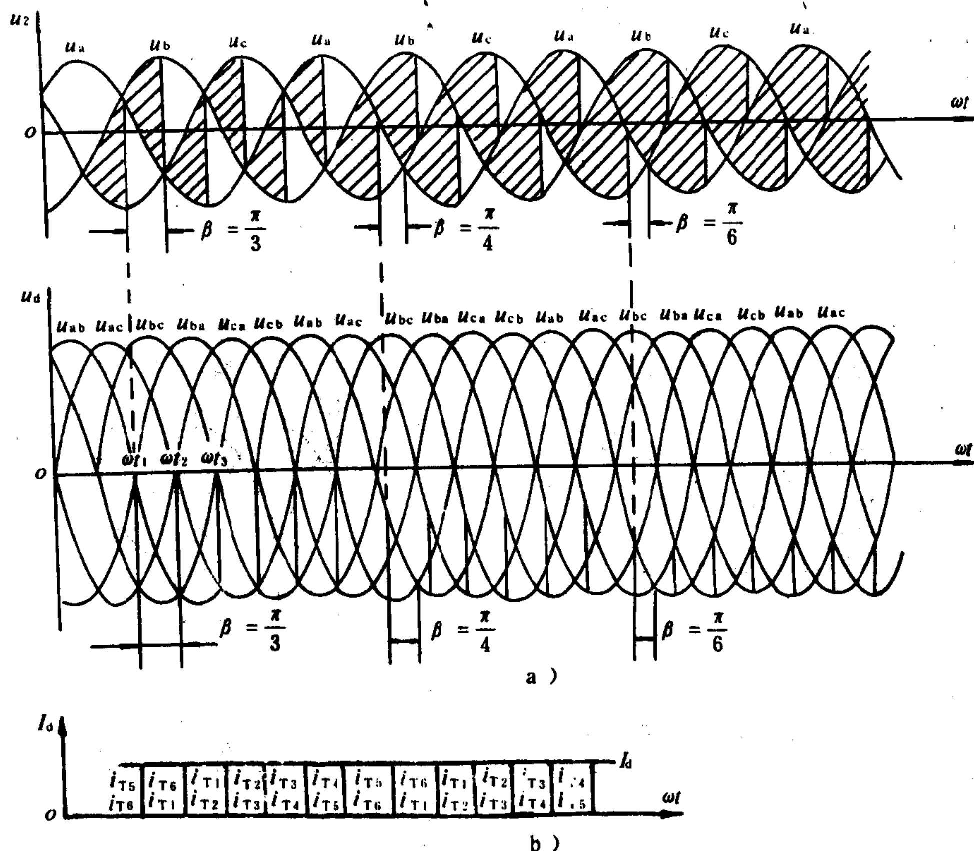


图 8.3.5—67 三相桥式逆变电路电压及电流波形

a)输出电压波形;b)输出电流波形

1)对触发电路的要求

要求触发电路严格按晶闸管 1→2→3→4→5→6→1 的顺序,依次间隔 $\pi/3$,触发各个晶闸管,同时,需要用宽脉冲或双脉冲触发。

2)各电量的计算

直流电压平均值:$U_d=-1.35U_{2l}\cos\beta$

U_{2l}是变压器次级线电压有效值;

直流电流平均值:$I_d=\frac{U_d-E}{R_\Sigma}$,$R_\Sigma=R_b+R_D$,$R_b$ 是变压器绕组等效电阻,R_D 是变流器直流侧总电阻,在逆变状态下,U_d 和 E 都为负值。

直流电源输出功率 $P_d=|EI_d|$,(忽略高次谐波电流);

三相电源视在功率 $S=\sqrt{2}U_{2l}I_d$,(忽略高次谐波电 流);

逆变器的功率因数 $\cos\varphi=\frac{P_d}{S}$。

5.1.4 逆变失败和逆变角限制

1)逆变失败的原因

(1)触发电路工作不可靠

①丢失脉冲:见图 8.3.5—68b),若在 ωt_1 时刻,丢失触发脉冲 U_{g2},则 a 相晶闸管将不能关断,至 U_d 变正后,与直流电势 E 顺向串接,形成短路。

②脉冲延迟：见图 8.3.5—68c)，某种原因造成 U_{g2} 延迟，在逆变角 β<0°的 ωt_2 处才出现 U_{g2}，此时 U_a 高于 U_b，晶闸管 KP_2 已承受反向电压而不能被触发导通，KP_1 也不能关断，形成短路。

(2)晶闸管故障

见图 8.3.5—68d)，在 ωt_1 时刻之前，KP_3 承受的正向电压等于 $|E|+|U_c|$，若 KP_3 的电压裕量不足而误导通，使 KP_2 承受反向电压，在 ωt_1 时刻加入 U_{g2} 也不能使其导通，造成逆变失败。

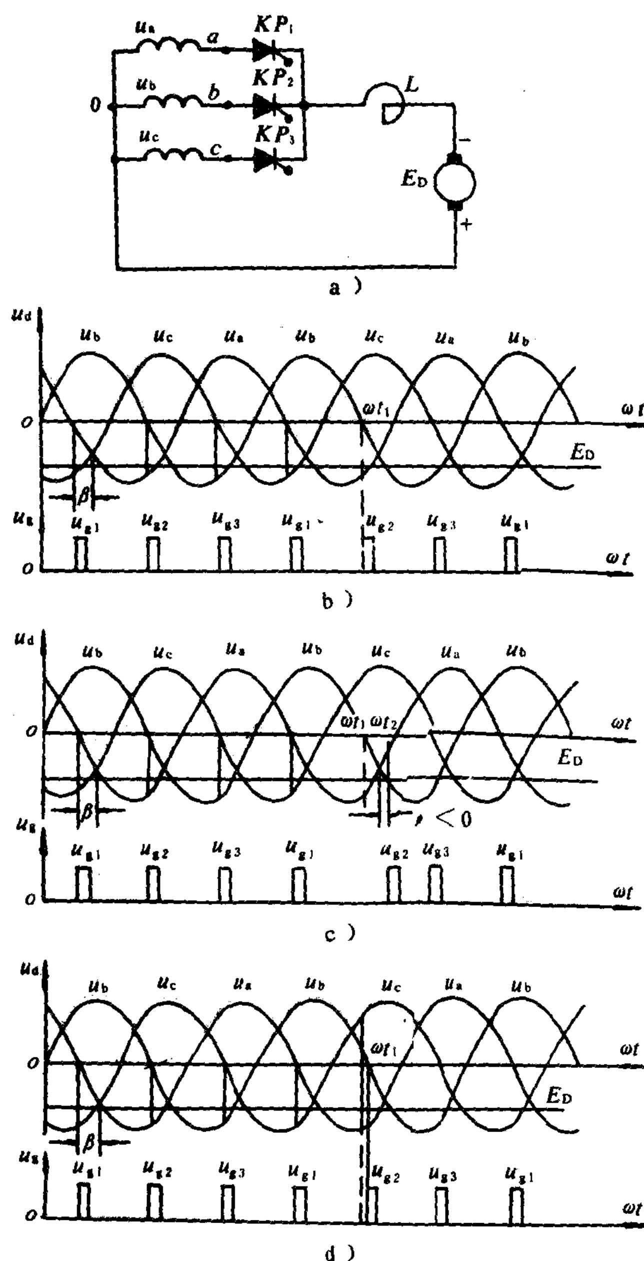


图 8.3.5—68 三相半波电路逆变失败的波形分析

a)接线图；b)因触发脉冲丢失造成逆变失败；c)因触发脉冲延迟造成逆变失败；d)因晶闸管工作失常造成逆变失败

(3)交流电源发生异常

例如突然断电、缺相或电压过低，都可使变流器交流侧失去与直流电势极性相反的交流电压，使直流电势经过晶闸管被短路。

(4)换相裕量角不足

见图 8.3.5—69。以 b 相为例，当 $\beta<\gamma$ 时(换相重叠角参见 2·3)，b 相晶闸管被触发导通，但在 γ 所对应的时间内，a 相晶闸管尚未关断，过 P 点后，u_a 将高于 u_b，使 b 相晶闸管重新关断，a 相晶闸管继续导通，当 u_a 变正后，产生短路电流，逆变失败。

2)逆变角的限制

逆变时允许的最小逆变角 β_{min} 如下式，它一般取 30°左右：

$$\beta_{min}=\gamma+\delta+\theta' \tag{8.3.5—37}$$

式中：γ ——换相重叠角(计算参见 2·3)；

δ ——晶闸管关断时间折合的电角度，约 4°～5°；

θ' ——安全裕量角，据经验约取 10°左右。

5.2 有环流可逆系统

见图 8.3.5—70。

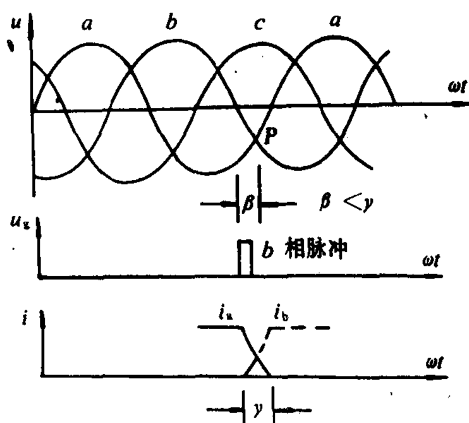


图 8.3.5—69 逆变换相失败及重叠角的关系

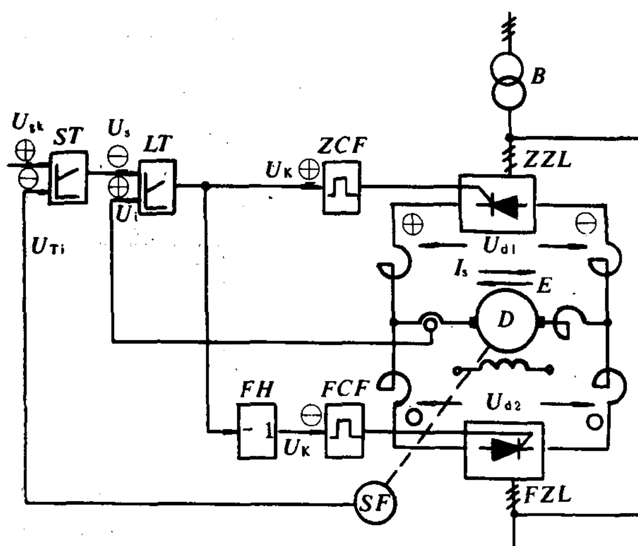


图 8.3.5—70 配合控制有环流可逆自动调速系统

5.2.1 配合控制的基本原理

1)配合控制

主电路如图 8.3.5—71 所示的三相桥式反并联可逆线路。为消除正组桥和反组桥之间的直流环流，必须在控制过程中时刻满足两组整流电压平均值相等：

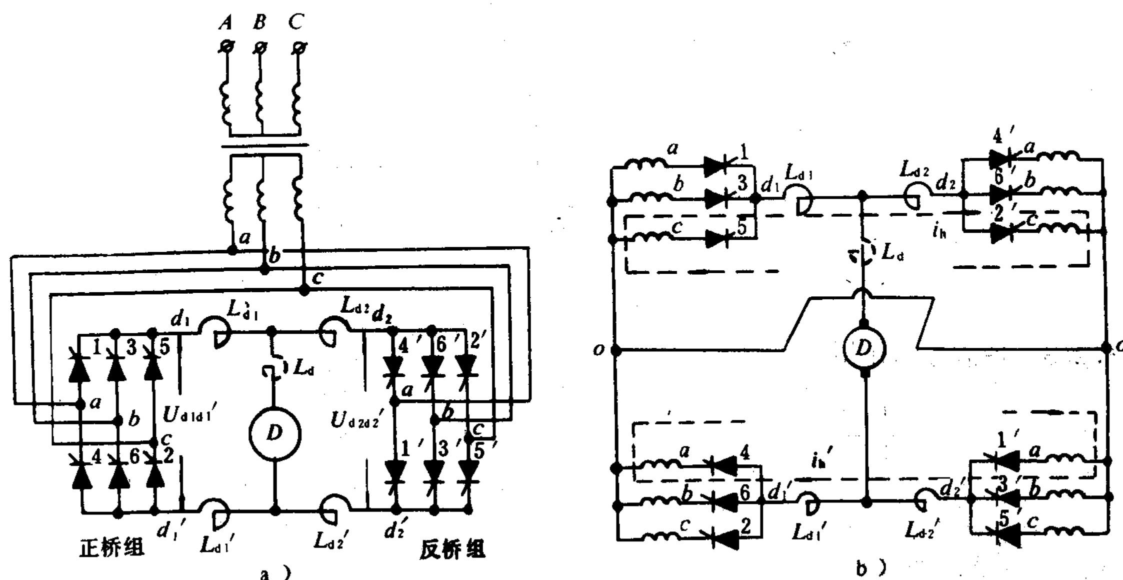


图 8.3.5—71 三相桥式反并联可逆线路

a)三相桥式全控反并联可逆线路；b)展开图

$$\left.\begin{aligned} U_{d_1}d_1' &= 1.35U_{2l}\cos\alpha_1 \\ &= U_{d_2}d_2' = -1.35U_{2l}\cos\alpha_2 \\ \text{即 } \alpha_1 + \alpha_2 &= 180° \text{ 或 } \alpha_1 = \beta_2 \end{aligned}\right\} \qquad (8.3.5—38)$$

称配合控制或 $\alpha=\beta$ 工作制。由于触发器具有图 8.3.5—72 所示的移相特性，在控制系统中加入倒相器 FH，使正、反组桥触发器的控制电压 U_k 时刻保持大小相等，极性相反，可以实现 $\alpha=\beta$ 配合控制。

2)系统工作过程

见图 8.3.5—73。

3)配合控制中的脉动环流及其限制

虽然 $\alpha=\beta$ 工作制中正、反组桥电压平均值相等，但瞬时值并不相等，因此将产生脉动环流 i_n。为限制 i_n，须加入均衡电抗器 L_{d1}、L_{d1}'、L_{d2}、L_{d2}'。

均衡电抗器计算方法：$L_{d1}=L_{d1}'=L_{d2}=L_{d2}'=1.46\dfrac{U_2}{I_n}$ mH。式中：U_2 是相电压有效值，V；I_n 是单方向脉动环流平均值，一般取 $I_n=(3\sim10)\%I_e$。

5.2.2 配合控制触发脉冲的相位关系

见图 8.3.5—74。

正转时，正组桥的触发脉冲从初始位置向左移动，反组桥的触发脉冲向右移动，并保持 $\alpha_1+\alpha_2=180°$。反转时，情况相反。

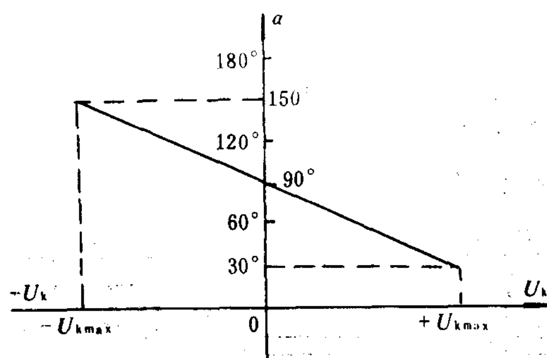


图 8.3.5—72　触发器控制移相特性

5.2.3　各信号的作用及整定原则

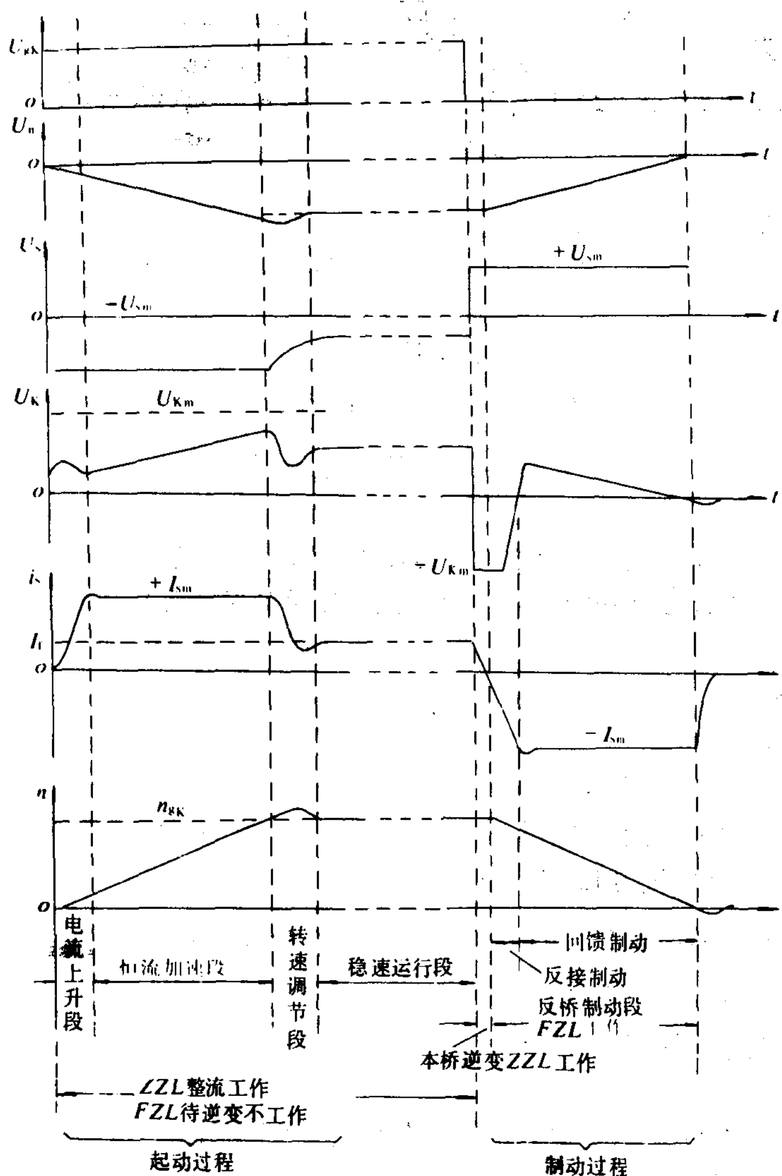


图 8.3.5—73　配合控制转速电流双闭环可逆系统正向起制动波形

1)电流调节器 LT 的输出限幅值$\pm U_{kmax}$

它的作用是限制最小逆变角,防止逆变失败。其整定原则是:对于如图 8.3.5—73 所示的触发器移相特性,在调节器处于深度饱和下,通过调节输出正负限幅值电位器,使触发脉冲分别在 30°和 150°。

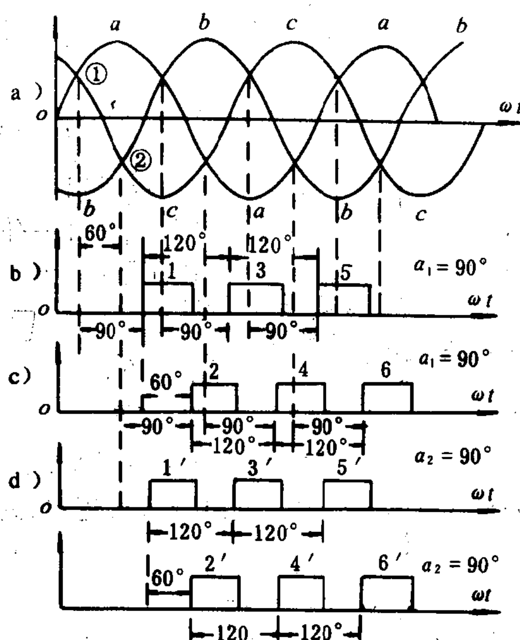


图 8.3.5—74 三相桥式全控反并联可逆线路控制脉冲初始位置

a)波形图;b)正组桥共阴极组脉冲;c)正组桥共阳极组脉冲;

d)反组桥共阴极组脉冲;e)反组桥共阳极组脉冲

2)速度调节器 ST 的输出限幅值$\pm U_{smax}$

它的作用是决定电动机电枢电路的最大起动电流 I_{smax},其整定原则是:在调节器处于深度饱和下,调节输出正负限 幅值电位器,使$\pm U_{smax}$数值小于调节器的直流电源电压值,给限幅值的调整留有余地。

3)电动机电枢电流反馈信号 U_i

它的作用是与电流环给定值 U_s 进行比较,形成电流负反馈的闭环控制。其整定原则是:调节电流反馈电 位器,使电枢电流达 $I_{smax}=(2\sim2.5)I_e$ 时(I_e 是电动机额定电流),$U_i=U_{smax}$。

4)转速反馈信号 U_n

它的作用是与转速给定值 U_{gk}进行比较,形成转速负反馈的闭环控制。其整定原则是:调节转速反馈电位器,使电动机转速在额定转速时,$U_n=U_{gkmax}$。

5.3 无环流可逆系统

5.3.1 逻辑无环流系统

在有环流可逆线路上,设置一套无环流逻辑切 换装置。在一组晶闸管工作时,用逻辑电路封锁另一组的触发脉冲,使该组晶闸管完全处于阻断状态,切断了脉动环 流 的通路,使系统成为无环流调速系统。见图 8.3.5—75。

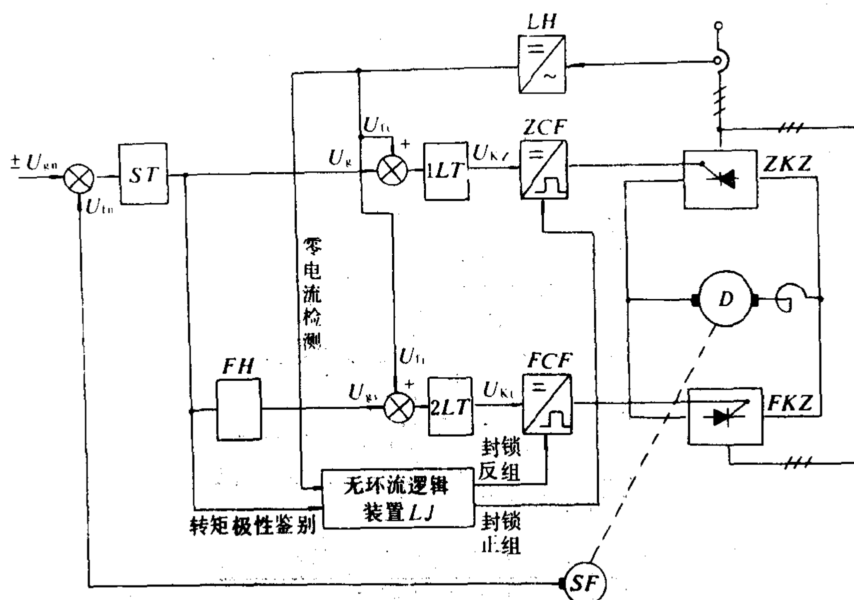


图 8.3.5—75 逻辑控制无环流可逆调速系统

在逻辑切换装置中，完成电平检测、逻辑判断、延时、逻辑保护四种功能，具体电路见图 8.3.5—76。

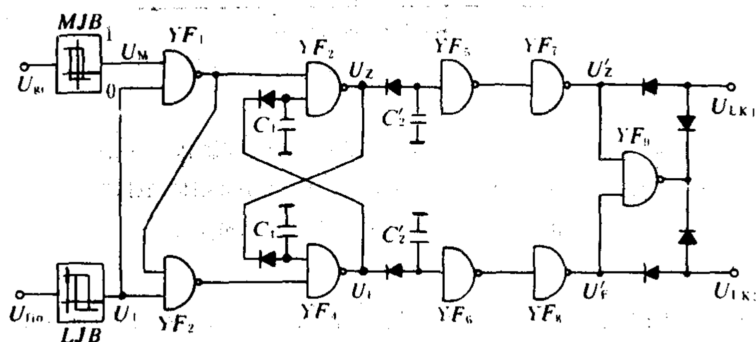


图 8.3.5—76 无环流逻辑装置 LJ 的内部电路

电平检测器是模数转换器，可由带正反馈的运算放大器组成，如图 8.3.5—77 所示。

逻辑判断电路常用 HTL 与非门组成，其逻辑关系见表 8.3.5—33。U_z＝“0”时，封锁正组 ZZL 的触发脉冲；UF＝“0”时，封锁反组 FZL 的触发脉冲。

表 8.3.5—33 **逻辑判断电路真值表**

U_M	1	1	0	0	0	1
U_I	1	0	0	1	0	0
U_Z	1	1	1	0	0	0
U_F	0	0	0	1	1	1

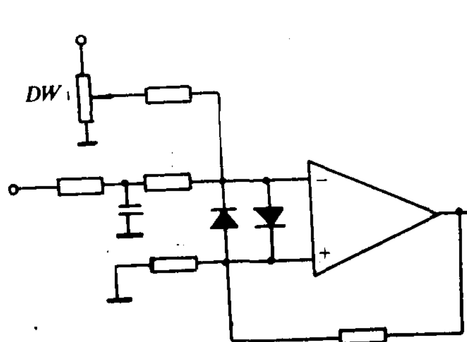
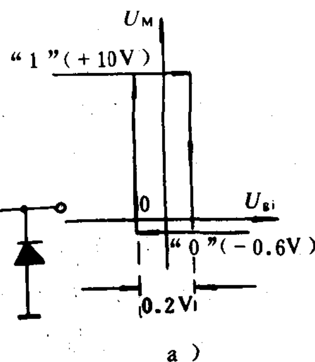


图 8.3.5—77 电平检测器



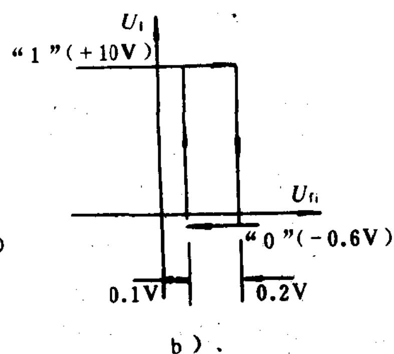


图 8.3.5—78 输入输出特性

a)转矩极性鉴别器 MJB;b)零电流检测器 LJB

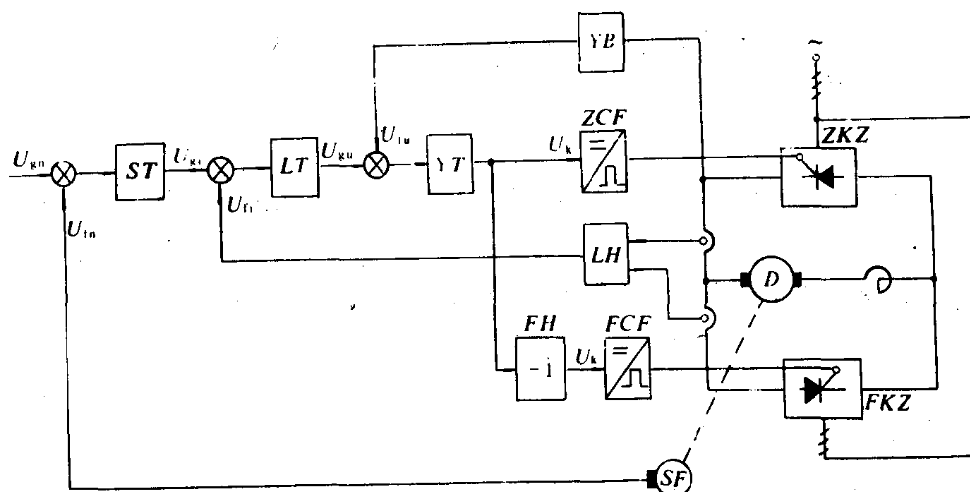


图 8.3.5—79 错位无环流可逆调速系统框图

当 U_z 和 U_F 翻转时，必须经过关断等待时间 t_1 和触发等待时间 t_2，才能执行切换指令。由电容 C_1、C_1' 实现延时。对于关断等待时间 $t_1=2\sim3ms$，而触发等待时间 $t_2=7ms$。

电容的计算如下式：

$$\left.\begin{aligned}C_1&=\frac{t_1\times10^{-3}}{Rl_n\dfrac{U}{U-U_c}}\quad\mu F\\C_2&=\frac{t_2\times10^{-3}}{Rl_n\dfrac{U}{U-U_c}}\quad\mu F\\C'_2&=C_1+C_2\end{aligned}\right\}\qquad(8.3.5—39)$$

式中：R ——充电回路电阻，在 HTL 与非门内 R＝8.2kΩ；

U ——电源电压，HTL 与非门用 U＝15V；

U_c——电容端电压，等于 HTL 的开门电平 Uc＝8.5V。

由与非门 YF_q、二极管 $D_5\sim D_8$ 组成多"1"保护环节。万一出现 U_z 和 U_F 同时为"1"的情况，立即同时封锁两组脉冲。

5.3.2 错位无环流系统

见图 8.3.5—79。

错位无环流可逆调速系统采用配合控制的原则是：$\alpha_1+\alpha_2=360°$，使正、反两组触发脉冲的相位错开较远，因而待逆变组的触发脉冲来到时，它的晶闸管元件一直处于反向阻断状态，不可能导通，彻底消除了两组晶闸管之间的环流。该系统从正组切换到反组过程中的动态波形如图 8.3.5—80 所示。

错位无环流系统在转速、电流双环基础上，又增设了电压负反馈，形成转速、电流、电压三环结构。电压环在该系统中的主要作用是：(转速、电流环的作用见正文 5.2)

(1)缩小电压调节死区，提高切换的快速性；

(2)防止切换过程中产生动态环流，保证电流安全换向；

(3)可以改造调节对象，抑制电流断续等非线性因素对系统性能的影响。

(4)电流调节器 LT 的限幅值 $\pm U_{gum}$ 通过电压环起着限制最小逆变角 β_{min} 的作用。

$$|U_{gum}|=\gamma A U_2 \cos\beta_{min} \qquad (8.3.5—40)$$

式中：U_2 ——变压器次级相电压有效值，V；

A ——系数，三相桥式电路 A=2.34；

γ ——电压反馈系数，$\gamma=\frac{U_d}{U_{fu}}$。

由于 U_{gum} 是 $\beta=\beta_{min}$ 时的电压环给定值，则逆变电势不能超过 $\gamma A U_2\cos\beta_{min}$，即逆变角 β 不会小于 β_{min}。

错位控制的零位定在 180°，触发器的移相控制特性见图 8.3.5—81。

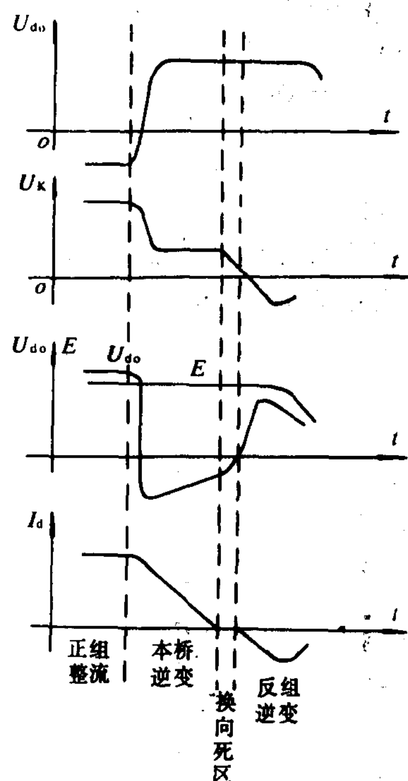


图 8.3.5—80 错位无环流系统从正组桥切换到反组桥过程中的动态波形

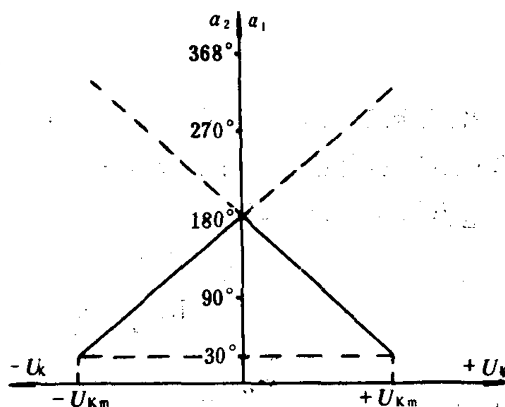


图 8.3.5—81 错位无环流系统的移相控制特性

5.4 船用晶闸管线路举例

——晶闸管单杆起货机控制系统

单杆起货机装置由起升和变幅及旋转两部分构成，各由一套 F—D 系统驱动，其结构见图 8.3.5—82。

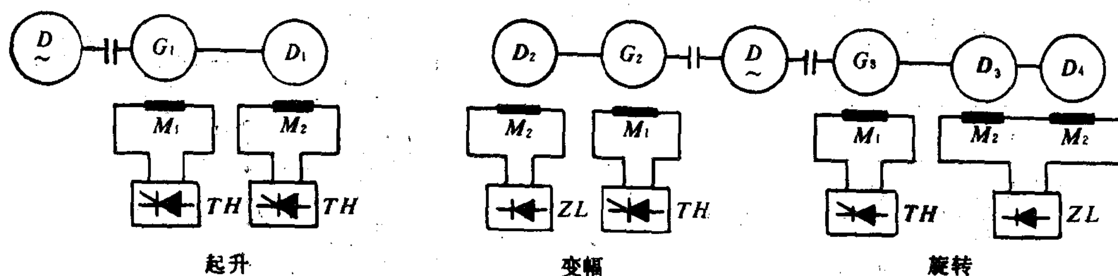


图 8.3.5—82 单杆起货机驱动系统结构

D_2—三相异步电动机；TH—晶闸管变流器；G_1、G_2、G_3—他励直流发电机；D_1、D_2、D_3、D_4—他励直流电动机；ZL—整流器；M_1—发电机励磁绕组；M_2—电动机励磁绕组

变幅及旋转部分控制线路相同，见图 8.3.5—83。

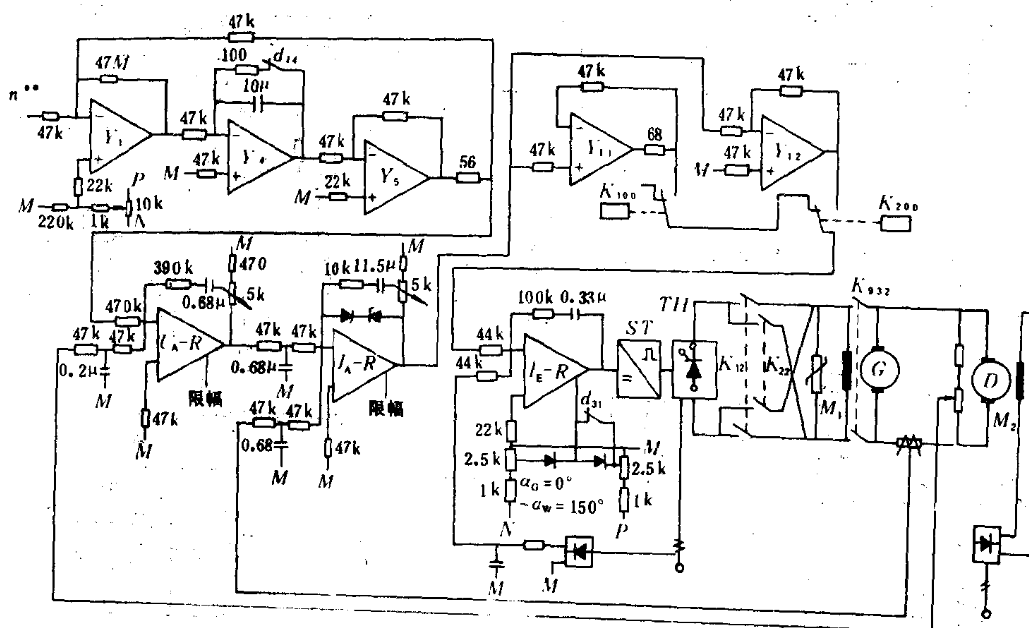


图 8.3.5—83 晶闸管单杆起货机变幅及旋转控制线路

起升控制线路见图 8.3.5—84。

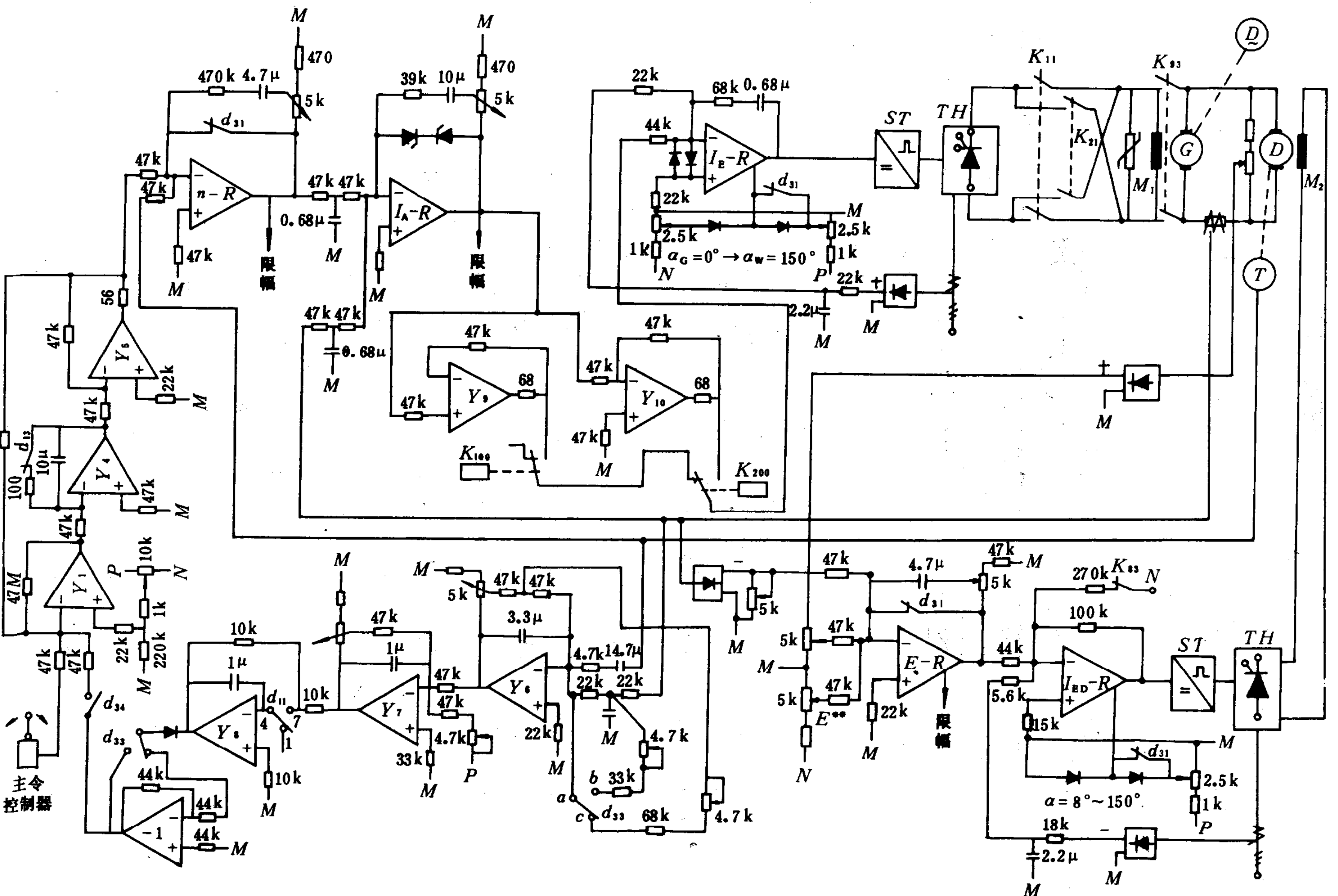


图 8.3.5—84　晶闸管单杆起货机起升控制线路图

1)控制电路的结构特点

发电机励磁主电路均采用三相桥式全控整流器，通过控制发电机的励磁，实现调速。利用接触器 K_{11}、K_{12}(K_{21}、K_{22})实现正反向励磁，使电动机正反转。

在变幅及旋转控制中，采用电动机电枢端电压及电流负反馈，组成电压、电流双闭环调速系统，电动机为额定励磁。

在起升控制中，对发电机的励磁采用电动机转速及电枢电流负反馈，组成转速、电流双闭环调节系统。电动机的励磁回路设有反电势调节器，组成非独立励磁控制系统。设置了负载转矩检测器，可根据负载大小，在电动机弱磁范围内，自动调节转速大小，并能防止重载上高速。

2)工作原理

变幅及旋转控制原理见图 8.3.5—85。通过调节给定值 n^{**}，改变发电机的励磁，使发电机的端电压发生变化，改变电动机的转速。

图 8.3.5—85 晶闸管单杆起货机变幅及旋转控制原理图

U_A－R－电压调节器；Y_{11}、Y_{12}－极性变换器；其余见图 8.3.5—86

起升控制原理见图 8.3.5—86。

图 8.3.5—86 晶闸管单杆起货机起升控制原理图

HG－给定积分器，由图 8.3.5—84 中 $Y_1Y_4Y_5$ 组成；(n－R)－速度调节器；(I_A－R)－电枢电流调节器；(I_E－R)－发电机励磁电流调节器；(E－R)－电势调节器；ST－触发器；TH－晶闸管整流器；M_1－发电机励磁绕组；D~－三相异步电动机；G－直流发电机；D－直流电动机；T－测速发电机；TD－转矩检测器，由图 8.3.5—84 中 Y_6 组成；SP－存储器，由 Y_8 组成；(I_{ED}－R)－电动机励磁电流调节器；Y_9、Y_{10}－极性变换器

在基速(80%电动机额定转速)以下起动、停车过程参见5.2中图8.3.5—73。这时，电动机反电势$E=U_A-I_AR$小于给定值E^{**}，电势调节器E—R不能退出限幅值，电动机处于额定励磁状态。

若给定值n^{**}大于基速，在基速以下为"额定励磁升压加速"。当电动机转速达到基速时，$E=E^{**}$。这时，电动机仍以最大起动力矩加速，使$E>E^{**}$，E—R输入出现正的偏差，其输出值减小，使电动机励磁电流减小，进行弱磁升速。若负载力矩检测器TD计算出的实际负载力矩M_f大于给定值M_f^{**}，则经由记忆存储器反馈至转速给定端，减小了给定积分器HG的输出值，使电动机不能进行弱磁升速。

减速时，控制系统执行"先增磁、后降压"进行制动减速。当$n\leqslant5\%n_e$时，K100(或K200)及K_{11}(或K_{21})断开，K_{93}闭合，发电机开始消磁。经0.01～1.5s延时，K_{83}闭合，使电动机励磁系统进入逆变状态，其励磁回路储存的磁能回馈至电源，同时电磁制动器进行制动。

在起动时，给定积分器HG中dB延时30ms断开，在30ms内，HG为比例调节器，输出一个阶跃信号，以加快起动过程。

在存储器SP中，当n=80%ne时，d11的4—1接通，提升状态时a—c接通，使电动机在下落与提升时的加速比相匹配。

6 晶闸管交流变频调速系统

6.1 晶闸管变频器

在交流调速系统中，如果均匀改变交流电动机定子频率，则可以均匀地改变其同步转速。但是为了维持电动机最大转矩不变，需要维持磁通恒定，此时也需要调节定子电压。因此对电动机供电的变频器一般都兼有调压和调频的功能，常称为VVVF型变频器。VVVF变频器分为两类：

1)交—直—交变频器或间接变频器；它由下述三种或两种晶闸管功率变换器组成：

(1)AC/DC由定压、定频的交流变换为直流电的功率变换器；即整流器。

(2)DC/DC由定压直流变换为可调直流电压的功率变换器；即斩波器。

(3)DC/AC由可调直流变换为频率可调的交流；即变频器。

2)交—交变频器或直接变频器。

AC/AC由定压、定频交流变换为电压、频率可调的交流；即循环变流器。

自从电力半导体器件和电子技术相结合，促使变频装置向大容量、高性能的方向发展。因而使变频调速也取得了迅速发展，成为最有前途的一种交流调速方式。特别是从普通的晶闸管发展到可关断晶闸管与动力晶体管的应用，进一步提高了变频调速装置的可靠性和经济性。

6.1.1 交—直—交电压型变频器

这种变频器由整流器和逆变器组成。逆变器的直流侧并有大电容，用以缓冲无功功率。逆变器包括逆变电路和换流电路两部分。逆变电路通常采用三相桥式逆变电路，一般分为180°导电型和120°导电型。换流电路有串联电感式、串联二极管式等。

电压型变频调速系统，常采用串联电感式逆变电路。

1)主电路

主电路如图8.3.5--87。晶闸管导通顺序$KZ_{1、2、3、4、5、6}$，其导通角为180°，任意瞬间同时有三

只管子导通，每一桥臂上有一只晶闸管导通。

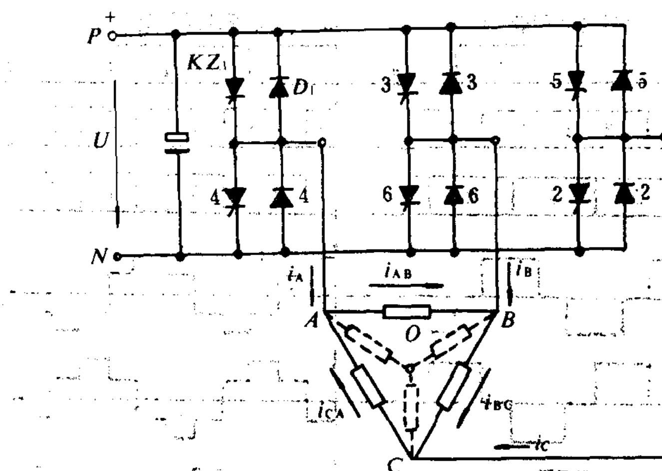


图 8.3.5—87 三相桥式逆变电路

逆变电路采用强制换流形式，触发信号采用宽脉冲。180°导电型逆变电路采用宽度为 180°的脉冲，晶闸管导通情况如表 8.3.5—34。

表 8.3.5—34 **三相串联电感式逆变器晶闸管在一周内导通情况**

导通区间	晶闸管导通情况
0～60°	KZ_5 KZ_6 KZ_1
60°～120°	KZ_6 KZ_1 KZ_2
120°～180°	KZ_1 KZ_2 KZ_3
180°～240°	KZ_2 KZ_3 KZ_4
240～300°	KZ_3 KZ_4 KZ_5
300～360°	KZ_4 KZ_5 KZ_6

若以电源负端 N 为参考点，晶闸管导通时瞬时电压为 U_{AN}、U_{BN}、U_{CN}°其波形如图 8.3.5—88。

线压 $U_{AB}=U_{AN}-U_{BN}$、$U_{BC}=U_{BN}-U_{CN}$、$U_{CA}=U_{CN}-U_{AN}$。三相波形都是阶梯形交变电压，各相相位差 120°，故三相电压是对称的。其输出相电压、线电压有效值和输入直流电压的关系：

$$U_{AO}=U_{BO}=U_{CO}=\frac{\sqrt{2}}{3}U_d=0.471U_d \tag{8.3.5—41}$$

$$U_{AB}=U_{BC}=U_{CA}=\frac{\sqrt{2}}{3}U_d=0.817U_d \tag{8.3.5—42}$$

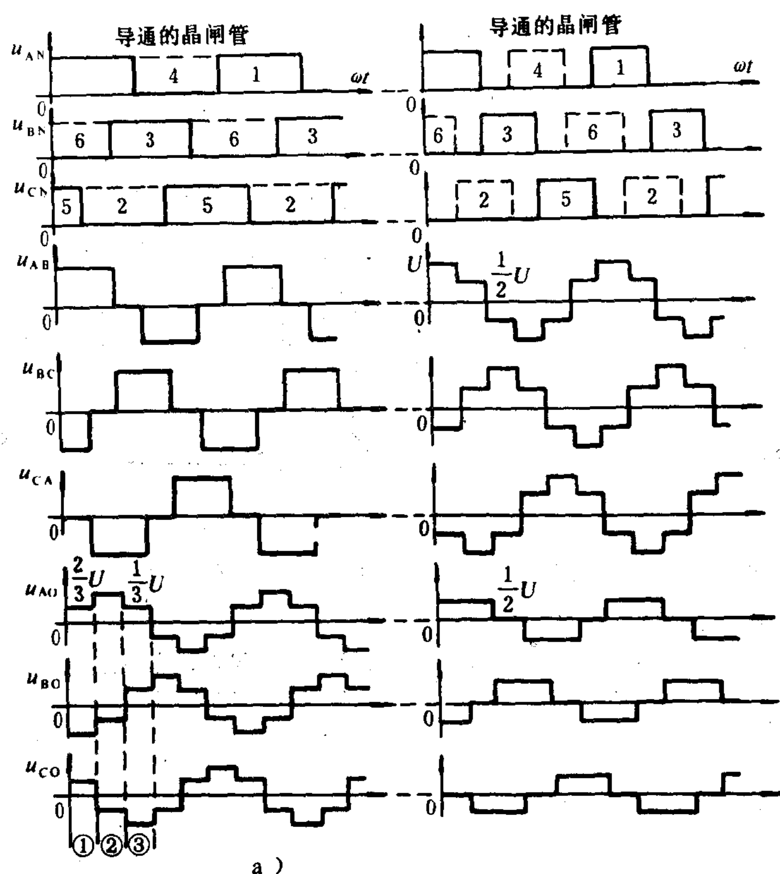
线电压和相电压之比为：

$$\frac{U_{AB}}{U_{AD}}=\sqrt{3}$$

这和三相正弦波交流电压的比值相同。输出电压为三相对称矩形波，因而它不含有三次或三的倍数次谐波。其电流波形在电感负载时近似为正弦波。

2)换流电路

三相逆变电路中三条桥臂的换流电路完全相同。以 A 相换流为例，其换流过程如表 8.3.5—35 所示。



a）

图 8.3.5—88　三相逆变器电压波形

a)180°导电型；b)120°导电型

表 8.3.5—35　**串联电感式逆变器换流电路的换流过程**

	换流过程电路	换　流　过　程
①	①	KZ_1 触发导通、I_L 流经负载，a 点电位近似等于 P 点电位。C_1 电压为零。C_4 充电至 U_d。

	换流过程电路	换 流 过 程
②	②	触发 KZ_4 导通。C_4 放电、放电电流 $i_{c4}=i_4+I_L$，i_4 经过 L_4，产生 e_{l4}，$e_{l1}+e_{l4}=2U_d$，KZ_1 承受反偏电压关断。C_1 充电。当 $U_{c1}=U_{c4}=U_d/2$，KZ_1 反偏电压为零，这一段时间为反偏压时间
③	③	C_4 放电结束，i_4 达最大值以后，i_4 开始下降，i_4 产生 e_{L4}，方向相反。L_4 中能量经 KZ_4→D_4→R_A→L_4 释放，在 R_A 中消耗。负载电流也经 D_4。D_4 中电流为放电电流与负载电 流之和
④	④	当 $i_4=0$ 时，KZ_4 关断。因负载为电感性电流，所以仍经 D_4 返回直流电源。负载电流下降至零，换流过程结束。
⑤	⑤	负载过零后，为了使低功率因数时，一度被关断的 KZ_4 恢复导通，要求触发脉冲宽度大于 60°，一般为 120°

1.2 交—直—交电流型变频器

电流型逆变器的直流侧采用大电感 L_d 作为滤波元件，因此电流平直，形成电流源。整流桥交流侧的输入电流和逆变桥交流侧的输出电流均为120°的方波。电压波形近似为正弦波。

串联二极管式逆变器为电流型逆变器，典型线路，如图8.3.5—89所示。

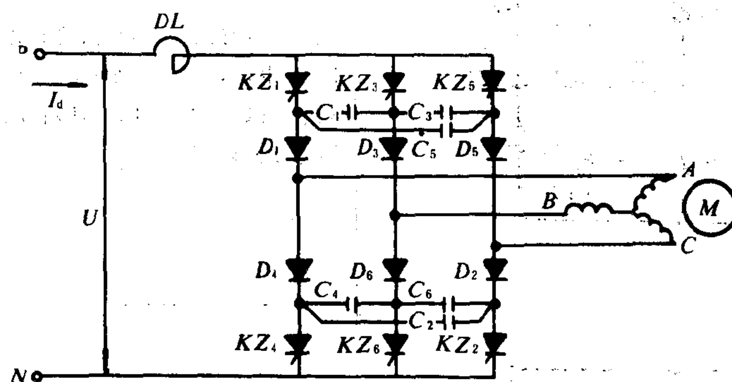


图8.3.5—89 串联二极管式电流型逆变器

1)主电路

在逆变器中两相之间跨接换流电容，当一相导通时必然关断另外一相。故任何时刻只有两个桥臂的晶闸管导通，每个晶闸管导通120°，三相对称，各相相差120°，各触发脉冲相隔60°电角度。晶闸管导通情况如表8.3.5—36。

表8.3.5—36 串联二极管式逆变器晶闸管的导通情况

导 通 区 间	晶闸管导通情况
0～60°	KZ_6 KZ_1
60°～120°	KZ_1 KZ_2
120°～180°	KZ_2 KZ_3
180°～240°	KZ_3 KZ_4
240°～300°	KZ_4 KZ_5
300°～360°	KZ_5 KZ_6

2)换流电路

在串联二极管式换流电路中，以二极管 D_1～D_6 代替了换向电感，以便使换流电容与负载隔离，电容电压不随负载电压而变化，使逆变器具有足够的换流能力。假设逆变器原来是晶闸管 KZ_1、KZ_2 导通，电动机的A、C两相通电，现在欲换流到 KZ_2、KZ_3，电动机B、C两相通电，具体分析A相换至B相的换流过程，如表8.3.5—37。

表 8.3.5－37　**串联二极管式逆变器换流电路的换流过程**

	换流过程电路	换流过程
①		原始工况：KZ_1、KZ_3 导通。负载电流由 $P \to KZ_1 \to D_1 \to M$（A－C 相）$\to P_2 \to KZ_2 \to N$。C_1 充电电路：$P \to KZ_1 \to C_1 \to M$（B－C 相）$\to D_2 \to KZ_2 \to N$。C_1 充电电路：$P \to KZ_1 \to C_1 \to D_3 \to M$（B→C 相）$\to D_2 \to KZ_2 \to N$。$C_1$ 充电极性左正右负。
②③		KZ_2 导通 60°后，触发 KZ_3 导通，U_{c1} 反向加在 KZ_1 上，KZ_1 关断。D_3 承受负偏，不能导通。D_1 继续导通。感性负载电流路径：$P \to KZ_3 \to C_1 \to D_1 \to M$（4－C 相）$\to D \to KZ_2 \to N$。$C_1$ 恒流放电 $U_{C1}=0$ 这段时间为承受反压时间。 C_1 反向恒流充电。经一定时间，D_3 承受正向偏压导通。
④		D_3 导通。D_1 与 D_3 同时流通电流，开始相间换流。A 相电流逐渐减小；B 相逐渐增加。路径为 $P \to KZ_3 \begin{matrix} C_3 \to D_1 \to M(A) \\ \to B_3 \to M(B) \end{matrix} \to M(C) \to D_2$

续上表

	换 流 过 程 电 路	换 流 过 程
⑤	⑤ P KZ₁ C₁ KZ D₁ D₃ A M B C D₂ KZ₂ N	C 充电电压达峰值时，$i_A=0$，负载电流路径： $P \to KZ_3 \to D_3 \to M(B-C\text{ 相}) \to D_2 \to KZ_2 \to N$

当变频器的负载为电动机时，换流过程不变。但是，充电电压 U_{c_1} 必需高于反电势电压值才能使 D_3 承受正向电压而导通。

6.1.3 交一交变频器

交一交变频器可直接将固定频率的交流电能，变成所需频率的电能。它不需直流环节，故也称为直接变频器。交一交变频器是由一定方式连接的晶闸管整流电路构成。当以正弦规律改变控制角时，则可输出低频交流电压。

如图 8.3.5—90 为一三相整流电路，如果带感性负载，电流连续，则输出整流电压平均值：

$$U_d = U_{do}\cos\alpha$$

式中：α ——控制角：

U_{do} —— $\alpha=0°$最大整流电压平均值。

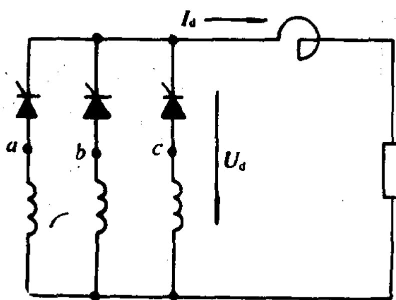


图 8.3.5—90 三相零式可控整流电路

如控制角 α 以缓慢速度变化，如图 8.3.5—91 所示，A 点 $\alpha=0$，$U_d=U_{do}$，在 B、C、D 等点，α 逐渐增加，U_d 减小。在 F 点，$\alpha=\frac{\pi}{2}$，而 $U_d=0$。这样，使 α 以一定频率随时间变化，则输出电压平均值 Ud 也以正(余)弦规律变化。

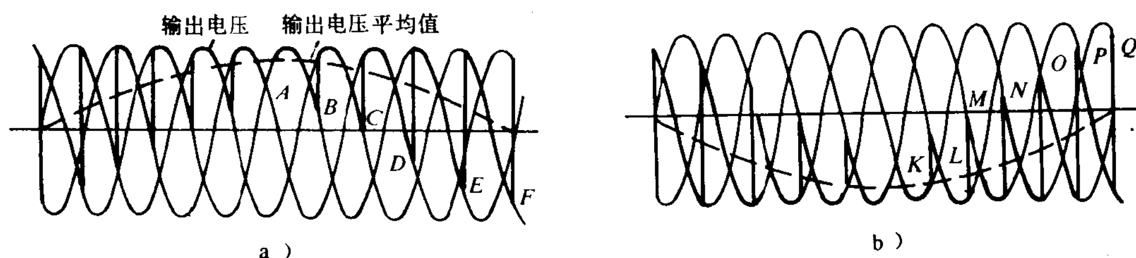


图 8.3.5—91 α变化时输出电压波形

a)整流状态波形；b)逆变状态波形

同样，整流器在逆变工作状况时，也可以正弦规律变化控制角，则整流器输出的负电压平均值也以正弦规律变化。在图中以虚线所示。

由于晶闸管的单向导电性，电流不能反流，因此要产生可调的低频交流电压和交流电流，必须采用两组反并联或交叉连 接的整流电路。如 图 8.3.5—92，正组晶闸管只允许低频输出正半周电流通过，反组晶闸管只允许低频输出负 半周电流通过。电压与电流同方向时。该晶闸管工作在整流状态，二者反向时，该组晶闸管工作在逆变状态。

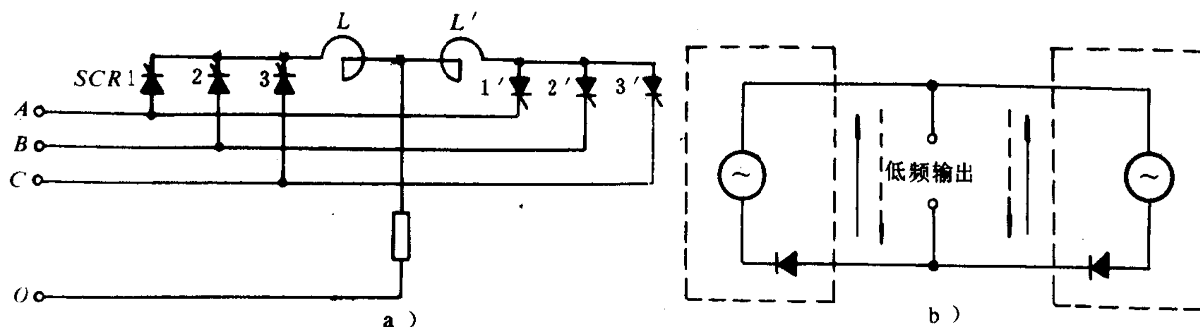
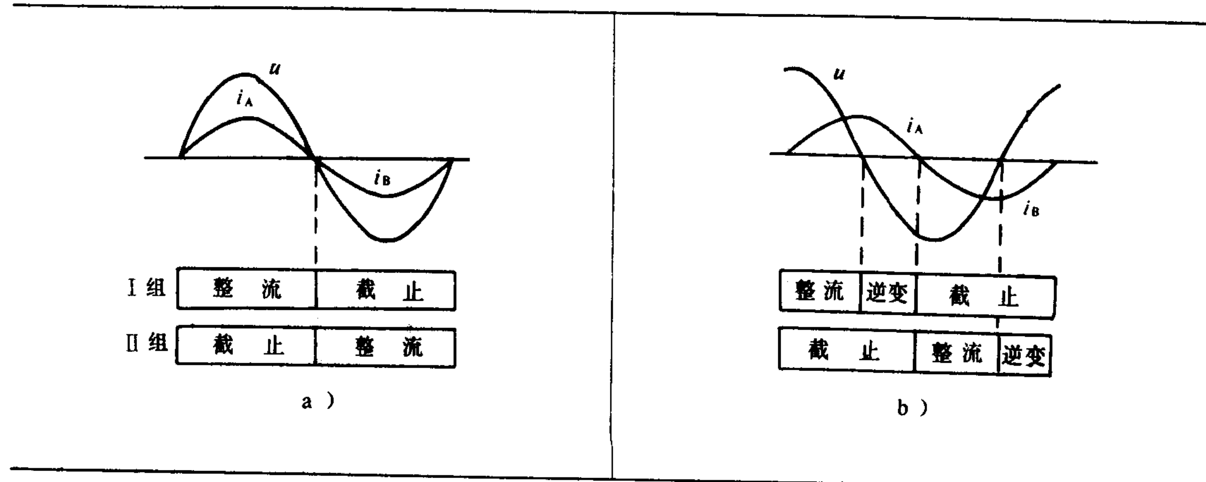


图 8.3.5—92 三相—单相直接变频器

a)三相零式反并联电路；b)理想化等值电路

在表 8.3.5—38 中画出了两组晶闸管的不同工作状态。

表 8.3.5—38 **两组晶闸管工作状况**



续上表

两组处于整流状态电阻性负载。从电网吸收功率	整流状态和逆变状态时间相等。感性负载。吸收和回馈功率相等
u i_A i_B Ⅰ组 逆变 整流 截 止 Ⅱ组 截 止 逆变 整流 c）	u i_A i_B 逆 变 截 止 截 止 逆 变 d）
整流状态和逆变状态时间相等。容性负载。吸收和回馈功率相等	两组均处于逆变状态。负载向电网回馈功率

图 8.3.5—93 为三相零式反并联变频线路。图 8.3.5—94 为三相桥式反并联变频线路。交一交变频器仅有一级功率变换，因而提高了效率。但是其输出最高频率受电网频率的限制，一般不超过电网频率的 1/2～1/3。

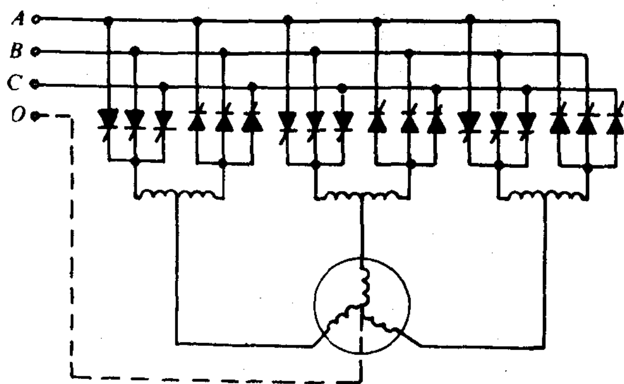


图 8.3.5—93　三相零式反并联变频线路

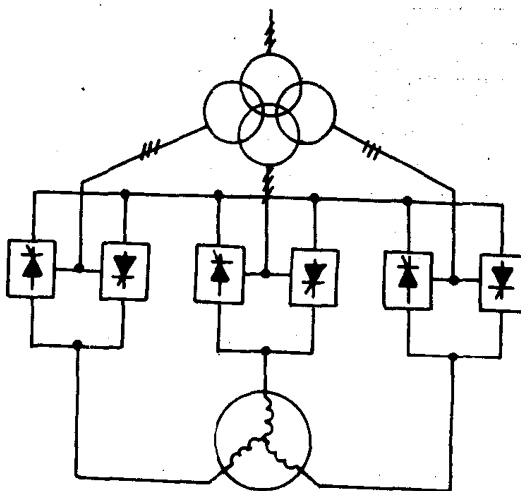


图 8.3.5—94　三相桥式反并联变频线路

6.2　晶闸管变频调速系统

1)变频调速原则

依据控制方式，一般有“恒磁通”和“恒功率”控制原则。

(1)恒磁通变频调速

如果忽略异步电动机定子压降，则：

$$U_1 \approx E_1 = 4.44 W_1 K_{r1} f \varphi_m = K_E f \varphi_m \quad (8.3.5\text{—}43)$$

式中：$K_E = 4.44 W_1 K_{r1}$ —电势常数。

若异步电动机供电电源电压一定时，则磁通 φ_m 随频率 f_1 的变化而变化。为了充分利用铁心材料，磁通一般均接近饱和值。因此，频率低于额定值，磁通将会增加，致使磁路过饱和，励磁电流增加，这将使电动机带负载的能力降低，功率因数变坏，铁损增加，电机过热。反之，如果频率升高，磁通减少，在一定负载下有过电流的可能。为此要求磁通恒定，即 Φ_m=const。

为了保持磁通恒定，必须使定子电压随频率成正比变化：

$$\frac{U_1}{f_1}=\frac{U_1}{f_1}=\text{const} \qquad (8.3.5\text{—}44)$$

又因：　　　　$M=C_m\Phi I_2\cos\Phi_m$

当有功电流恒定，Φ_m=const 时，电动机输出力矩也恒定，因而这种按比例的协调控制方式属于恒力矩调速。如保持压频比$\frac{U_1}{f_1}$=const，临界力矩将随频率 f 的降低而减少。为了使 M_m 不变，理想地保持磁通 φ_m 恒定，则应满足

$$\frac{E_1}{f_1}=\text{const}$$

为此，在控制回路中加入一个函数发生器控制环节。以补偿低频时定子电阻所引起压降的影响，以获得恒磁通、恒最大转矩的调速特 性。

(2)恒功率变频调速

电动机在额定转速以上运转时，定子频率将大于额定频率。如按恒磁通变频调速，则应要求电机的定子电压随之升高，由于电机绕组不允许承受过高的电压，电机电压必须限制在允许值范围内，这样便不能保持恒磁通或恒转矩变频调速。因为：

$$M=C_m\Phi_m i_2\cos\Phi_2$$

$$P=\frac{Mn}{9550}$$

随频率的增加，相当于磁通减少，转矩减少，而速度增加，故属于恒功率调速。此时要求电压频率协调控制的条件为：

$$\frac{U_1}{\sqrt{f_1}}=\frac{U'_1}{\sqrt{f_1'}} \qquad \frac{U'_1}{U_1}=\sqrt{\frac{f'_1}{f_1}} \qquad (8.3.5\text{—}45)$$

即在频率升高时，要求电压升高相对小一些，实际上，在额定转速以上调整时，由于电动机定了电压受额定电压的限制，因此在升高频率时，定子电压保持额定值不变。随着转速上升，磁通减少，转矩也减少，可得到近似恒功率调速。它适用于负载随转速的增高而变轻的场合。

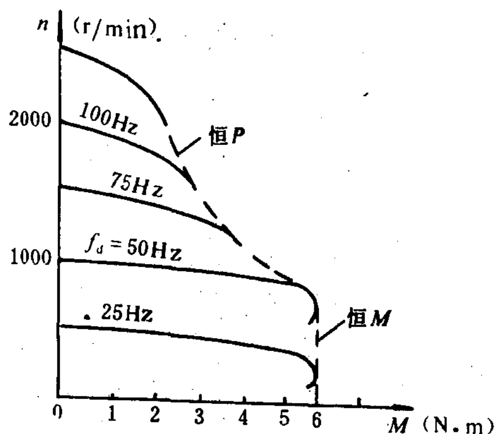


图 8.3.5、95　变频调速时机械特性

2)变频调速时电动机运行状态

(1)异步电动机变频调速时机械特性如图8.3.5—95 所示。在额定转速以下采用恒磁通调速，在额定转速以上采用恒功率调速。

(2)当异步电动机在某一频率下运转时，如将频率迅速降低，使转差率变负，则使电机处于再生发电运转状态，运行于第二象限，电能通过晶闸管变频装置回馈给电网。如图 8.3.5—96，在减速过程

中，若频率比转速下降得过多，则始终维持再生制动。

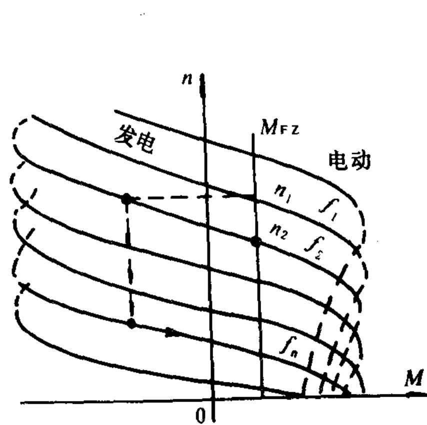


图 8.3.5—96 降低频率时发电运行状态

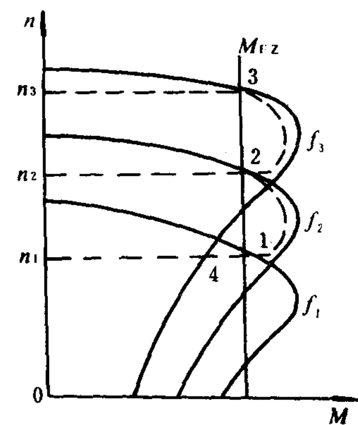


图 8.3.5—97 变频调速时加速过程

(3)若要使电动机急剧加速，则应当持续提高频率。如图 8.3.5—97 所示为了缩短加速时间，应使电机沿着最大转矩的包络线进行加速。欲减小起动电流，增加起动力矩，缩短起动时间，应从低频时起动。

6.2.1 电压型开环变频调速系统

电压型开环变频调速系统。如图 8.3.5—98。

系统中间环节采用电容器进行直流滤波，电源阻抗小，属于电压源。变频器的输出电压为矩形波，输出电流波形由矩形波电压与电动机正弦形反电势之差形成，接近正弦波。不易实现再生发电制动，一般采用能耗制动。

电压型变频调速系统由于直流输出电压稳定，因此异步电动机的调速精度取决于变频器输出频率的精度及电动机的转差率。前者精度较高，后者一般情况下为 3%～8%，故在电压型变频调速系统中可以采用开环控制。如欲得到 较高精度的调速，则采用闭环控制。

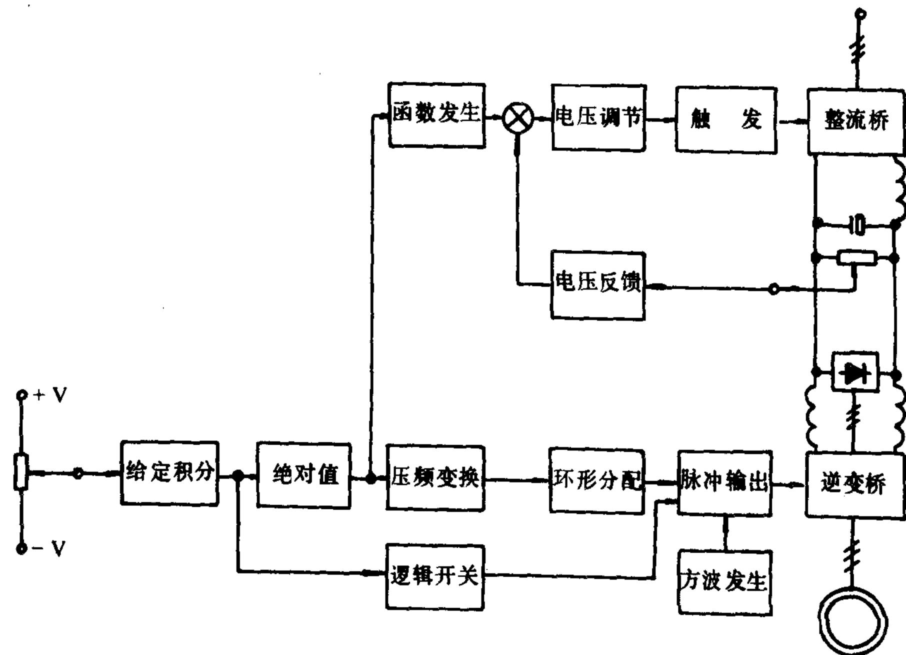


图 8.3.5—98 电压型开环变频调速系统

主电路由三相交流电源经三相晶闸管整流桥变成可控的直流电压。再经大电容滤波以后，对逆变器提供可控的电压源。逆变器采用晶闸管串联二极管式。逆变器反并联一两极管桥，作为电感性负载无功功率的通路。

在绝对值运算器的输出端，分别为电压控制回路和频率控制回路，以便实现电压、频率的协调控制。

电压控制回路采用相位控制原理，改变晶闸管控制角 α，以控制整流器输出直流电压。经电压 调节器将给定电压值与实际电压反馈值之差，即电压偏差值进行比例积分调节，然后将信号输给移相电路，以便给出相应的触发脉冲信号，控制晶闸管整流器的控制角 α，从而进行电压调节。频率控制回路采用恒磁通协调控制的变频原则，要求逆变器输出电压和频率之比 U/f 保持恒值。经频率发生器将给定频率的电压信号变换为相应频率的脉冲信号，由环形计数器将 6 个脉冲组成一组，即六分频后经脉冲放大器放大，将 6 个一组的放大脉冲信号依次循环分配给逆变器，使 6 个晶闸管进行变频工作，从而为交流电动机提供变频电源。

调速系统中较特殊的控制单元作用原理如下：

1)给定积分器：它用给定值为时间阶跃的情况下，其输出为时间的斜坡函数，它能保证协调控制负载电压和频率按一定的变化率改变，从而保证电动机以一定的加速度改变转速，使系统有稳定的运行性能。

在电机要求正反转的系统中，给定积分器的输入和输出电压，不仅有数值而且也有极性变化，前者用以控制整流桥的输出电 压 和逆变桥的输出频率。电压极性的变化，经过逻辑开关以后，用以控制逆变桥按正序或负序输出，达到电机正、反转的要求。

2)绝对值运算器：根据电机正转反转的要求，给定积分器输出的是负值或正值电压，但在调速过程中，调压、调频仅需单一极性的控制电压。因而设置了绝对值运算器以输出单一极性的电压，其值与输入值相同。

3)函数发生器：其原理图如图 8.3.5—99 所示，通过电位器 W_1、W_2、W_3 的调节，能够达到图 8.3.5—100 所示特性。

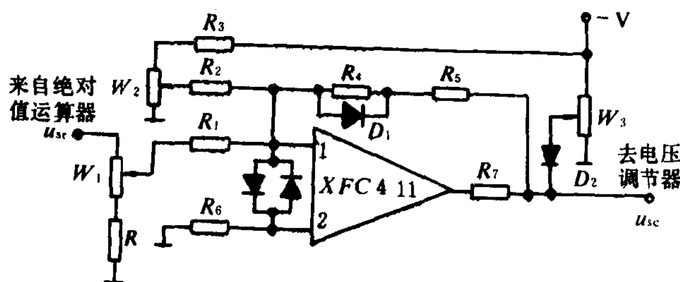


图 8.3.5—99 函数发生器原理图

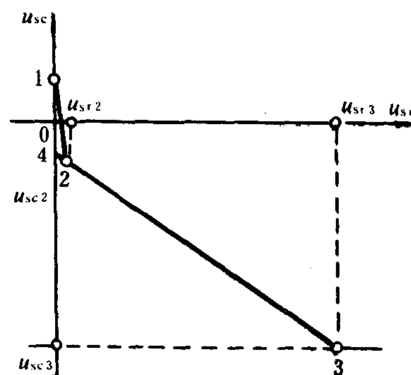


图 8.3.5—100 函数发生器特性

点“2”对应最低频率 f_{min}时的工作点，点“3”对应额定频率 f_e 时工作点。当频率低于 f_e，输出 μ_{sc}与输入 μ_{sr}为线性关系，这时电动机运行于恒转矩(调频调压)阶段。当频率高于 f_e，函数发生器的输入 μ_{sr}继续增加，但其输出限幅，这时电机运行于恒功率调速(恒压 调频)阶段。直线 23 的延长线与纵轴的交点“4”，可以视为零频时，为了输出一定数值的电流，克服电机定子绕组的电阻压降，以使逆变器产生一定的输出电压。在起动过程中，为了使整流桥的脉冲由逆变 β 区逐渐移向整流 α 区，使它由封锁状态转变为整流输出，设置了直线$\overline{23}$。在 R_1、R_5 已定的情况下，用电位器 W_1 调整直线$\overline{23}$的斜率，W_1 的滑头向上，则直线斜率较大。W_2 调整直线$\overline{12}$与纵轴的

交点(截矩)。

4)环形分配器:环形分配器是一个六分频器,对输入频率进行分频,然后分六路输出,各路在时间上互差 60°,以便经过功率放大后,分别控制逆变桥各桥臂的开关元件。其原理如图8.3.5—101 所示。它由六个双稳态触发器接成头尾相接的环形。由于双稳触发器的射极电阻 R_1 是 R_2 的五倍,所以当无脉冲信号送来,有五个触发电路 T_2 导通、T_1 截止,只有一个双稳电路是 T_2 截止,T_1 导通。送入正脉冲,即将其翻转,每个双稳态输出端,设置了射极跟随器 T_3 和 R_3,以提高其带负载的能力。

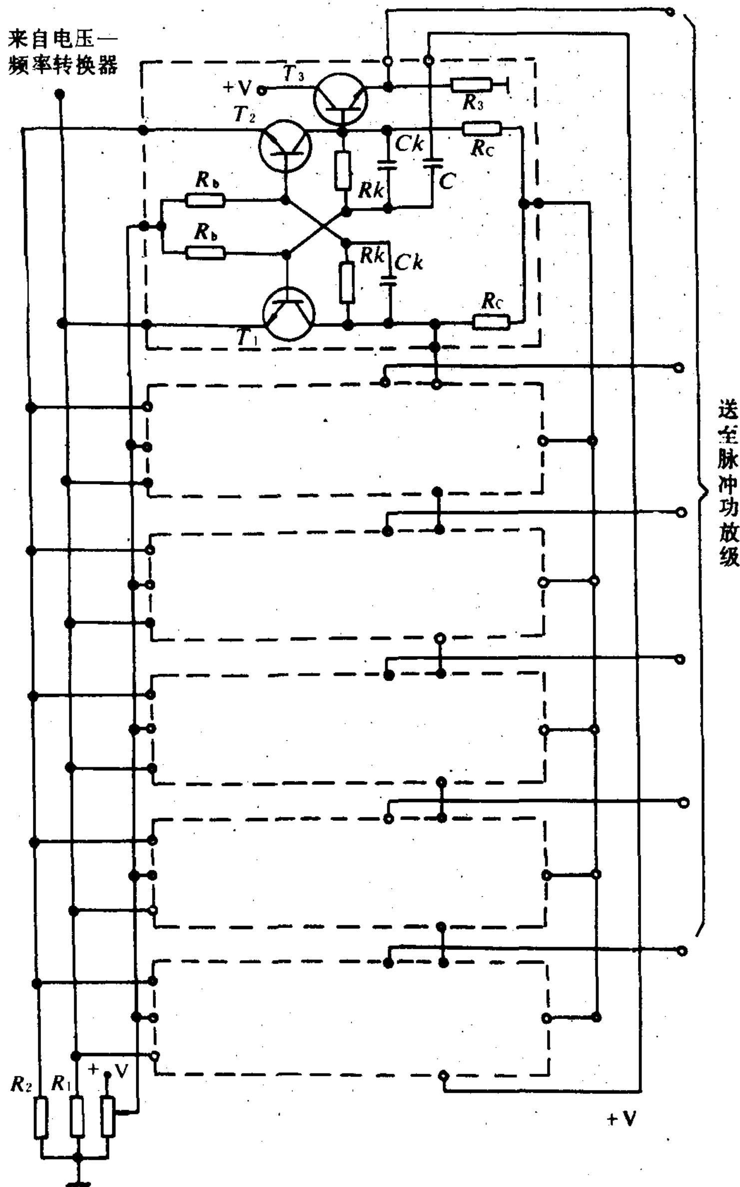


图 8.3.5—101　环形分配器

环形分配器的各输出端送出脉宽 60°,相互间隔 60°的六个脉冲电压方波。其六个输出端与脉冲功放级按顺序连接。

5)逻辑开关:根据给定积分器送来的正值、零值及负值电压,经逻辑开关,按正相序、停发或负相序的要求,使控制系统的脉冲送至逆变器各桥臂,以实现电机的正转、停转及反转。

6)脉冲输出器:由环形分配器、逻辑开关送出的六个脉宽 120°的脉冲,经方波发生器调制,送至脉冲变压器,作用于逆变桥晶闸管上。

6.2.2 电流型开环变频调速系统

图 8.3.5—102 所示为单向旋转的调频调速异步电动机控制系统结构图,系统中仍设置电压闭环,以保证调频过程中同时调压。电压调节器的输出作为电流给定值,以控制电流闭环,当电压调节器输出为限幅值时,系统主回路电流达到限幅值,因而能够抑制故障电流。

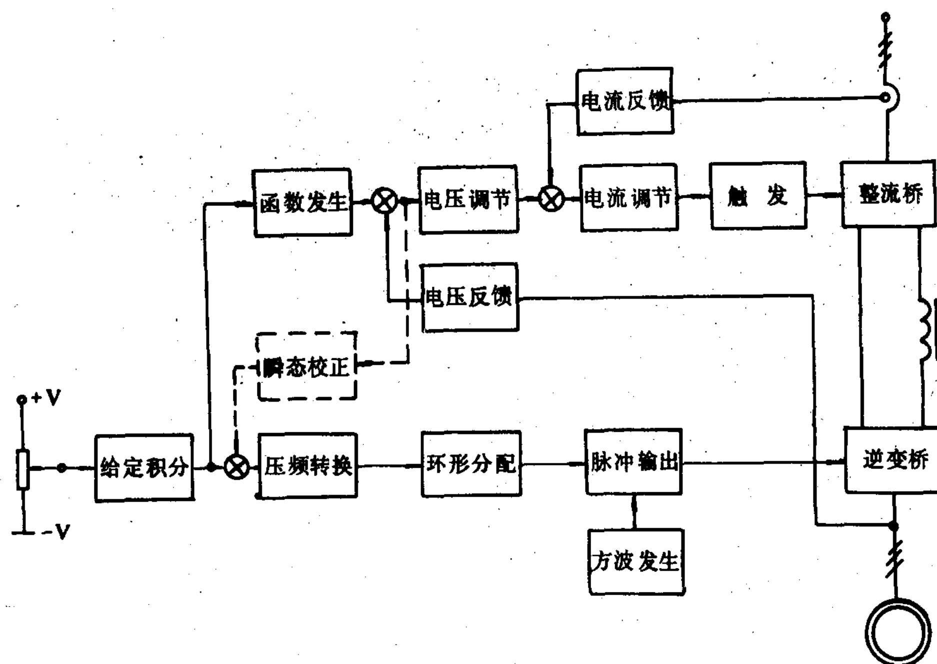


图 8.3.5—102 电流型开环变频调速系统

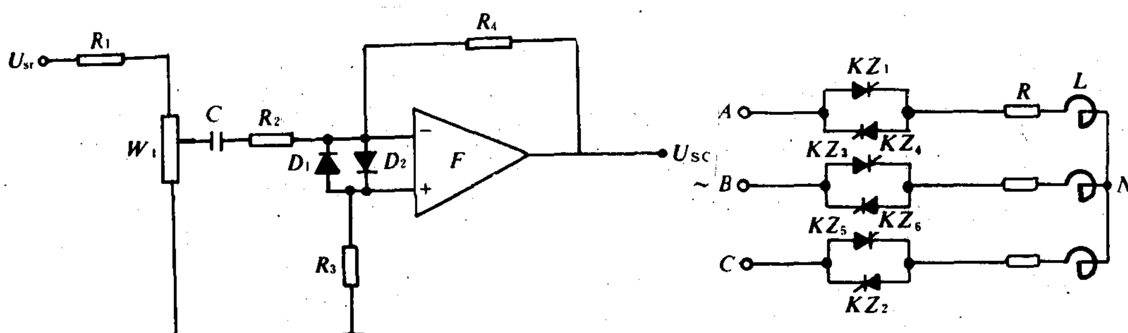


图 8.3.5—103 频率校正调节器原理图　　图 8.3.5—104 三相全波 Y 形连接的调压电路

由于电压控制回路为闭环系统，而频率控制回路，为开环系统。故负载扰动，电源电压波动及系统结构等因素，易于引起系统工作不稳定。如负载扰动时，由于电流内环响应较快，引起输出电压波动，从而使电压反馈环节进行自动调节，但是频率控制环节不能跟随同时调节，因而保证不了恒磁通变频控制 U/f 的协调控制规律，磁场将产生过励或欠励不断交替的情况，其转矩、转速将产生大幅度波动，造成系统工作不稳定。因此设置了频率校正调节器，其原理图如图 8.3.5—103。采用微分校正电路可以获得超前校正作用，进行动态比例校正，保证控制系统协调工作，使系统稳定性得到改善。

7 异步电动机晶闸管调压和串级调速系统

7.1 异步电动机晶闸管调压系统

7.1.1 晶闸管三相交流调压电路

三组反并联的晶闸管分别接至三相负载就形成一个三相交流调压电路，负载可按 Y 形或

△形连接。图 8.3.5—104 所示是一个三相全波 Y 形连接的调压电路。由于无中线，所以在工作时若要负载电流流通，至少要有两相构成通路：

1）在三相电路中至少有一相的正向晶闸管与另一相的反相晶闸管同时导通。为此要求采用大于 60°的宽脉冲或双脉冲触发电路。

2）为保证三相电压对称并有一定的调节范围，要求晶闸管触发信号除必须与相应的交流电源有一致相序外，各触发信号还必须保持一定相位关系，即要求 A、B、C 三相电路中正向晶闸管（交流电源正半周时工作的晶闸管）的触发信号相位互差$\frac{2\pi}{3}$，三相电路中反向晶闸管（即交流电源为负半周时工作的晶闸管）的触发信号相位也互差$\frac{2\pi}{3}$，但同一相中反并联的两个正、反向晶闸管的触发脉冲相位应互差 π。因而各晶闸管触发脉冲的序列：KZ_1、KZ_2、KZ_3、KZ_4、KZ_5、KZ_6。相邻两个晶闸管触发信号的相位差为$\frac{\pi}{3}$。

现以 A 相为例，在三相对称性电阻负载下，不同控制角 α 时，交流调压电路负载电压与电流波形，如表 8.3.5—39 所示。

表 8.3.5—39　**交流调压电路负载电压与电流波形**

控制角	波形曲线	说明
α=0°	a）α=0°	（1）正向晶闸管在正半波导通负向晶闸管（$KZ_{4、6、2}$）在负半波导通。 （2）每个元件连续导通 180°。 （3）晶闸管全导通，负载上为全电压，电压波形对称，各相电流相等

续上表

控制角	波形曲线	说明
α=30°	b) α =30°	(1)一区间,三个晶闸管导通,负载上电压为电源电压如$\pi/6\sim\pi/3$,KZ_6已导通,由于U_C仍为正半波,所以仍导通。由于触发脉冲大于60°,U_B仍在负半波,所以KZ_6仍导通。触发KZ_1,负载电压为电源电压。 (2)一区间,仅两个晶闸管导通负载电压为线电压一半:如$\pi/3\sim\pi/2$,仅KZ_1、KZ_6导通。 (3)一区间,仅两个晶闸管导通,A相开路,A相负载上无电压,如$\pi\sim7/6\pi$,仅KZ_2、KZ_3导通。
α=60°	c) α =60°	(1)每区间仅有两个晶闸管导通,A相负载电压为线电压一半, 如:$\pi/3\sim2/3\pi$,KZ_1、KZ_6导通时为$\frac{U_{AB}}{2}$。 (2)一区间仅两个晶闸管导通。A相断路,A相负载电压、电流等于零, 如$\pi\sim4/3\pi$时,KZ_3、KZ_2导通。

控制角	波形曲线	说明
$\alpha=90°$	d) $\alpha=90°$	(1) $\frac{\pi}{2}\sim\frac{5}{6}\pi$，$KZ_1$、$KZ_6$ 导通负载电压为 $U_{AB}/2$，其间 U_B 过零，KZ_6 仍导通 (2) $\omega t=\frac{5}{6}\pi$ 时 $U_{AB}=0$，KZ_6 关断，KZ_1 仍导通。KZ_6 又被触发导通。
$\alpha=120°$	$\alpha=120$ e)	(1)两个晶闸管导通。负载上电压为线压一半如：$\omega t=\frac{2}{3}\pi$ 时，KZ_1 触发导通。KZ_1 的触发脉冲未消失 $U_A>U_B$，所以 KZ_1、KZ_6 导通，负载电压 $U_{AB}/2$。 (2) $\omega t=\frac{5}{6}\pi$ 时，$U_A=U_B$、U_{AB} 过零反向，故 KZ_1、KZ_6 关断 $\frac{5}{6}\pi\sim\pi$，所有晶闸管关断，负载电压为零。

控制角大于 150°时，晶闸管处于反向状态，无法触发导通，因之这种交流调压器的移相范围为 150°。在移相范围内，随着控制角 α 的增大，负载上电压随之降低。电压波形正负半波对称，但不是正弦波形。对于这种三相对称控制电路，输出电压中只有奇次谐波，三次谐波所占比重最大。由于无零线，所以虽有三次谐波电势，但无三次谐波电流。

在三相电阻一电感负载时工作，既要考滤电压过零时晶闸管并不断开，负载中仍有电流流通，同时要计及负载阻抗角的大小，直接影响每相电路导电时间。特别是控制角 α 不能小于负载阻抗角 φ，否则系统就工作于不可控状况下。

7.1.2 交流电动机调压调速系统

异步电动机调压调速系统典型线路如图 8.3.5—105，主电路采用双向晶闸管，当左边三个晶闸管工作时，电机按 A、B、C 相序正转。当 B 相和右边两个晶闸管工作时，电机按 C、B、A 相序而反转运行。

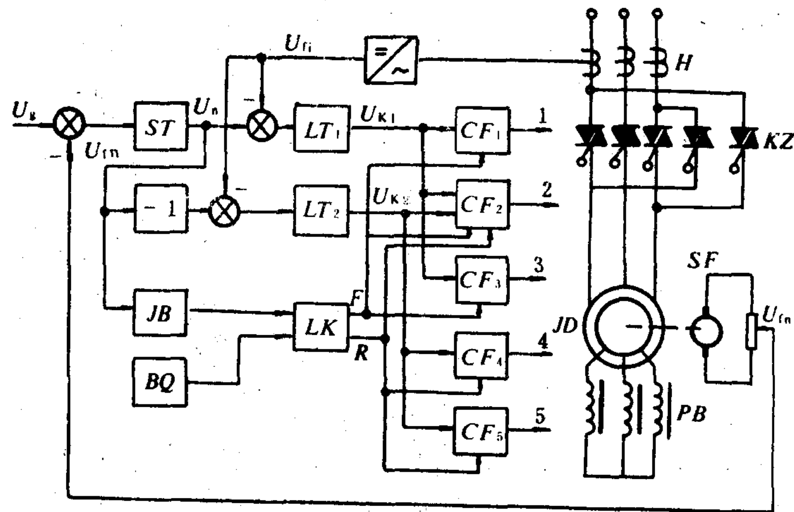


图 8.3.5—105　三相异步电动机调压调速系统图

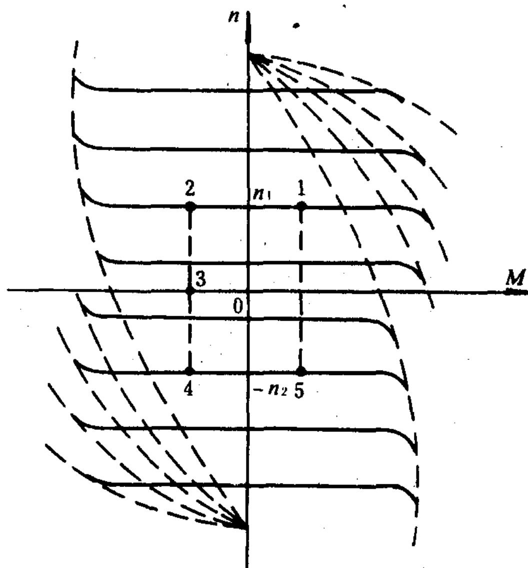


图 8.3.5—106　异步电动机调压调速特性

当系统输入正转给定信号，则 LT_1 就输出正向电压 U_{K1}，控制正转移相触发器，使之输出一定的移相脉冲，使正组双向晶闸管有一定导通角，输出一定电压，使电动机转速与给定值相对应。此时 LT_2 输出负脉冲，不能使反组双向晶闸管工作，故电机正转。采用转速负反馈，提高转速自动调节的精度。又使用了电流调节器，可以将起动、制动电流限制在允许的极限值以内，以获得良好的稳态和动态特性。

速度调节器输出信号经极性鉴别器 JB 送入逻辑开关 LK 中，LK 输出 F 或 Z 信号自动控制正转或反转触发器工作，实现电动机的自动转向。

图 8.3.5—106 为异步电动机调压调速特性。

1）提升重物：$U_{gk}>0$，$U_n\leqslant 0$，$\Delta U_n=U_{gk}-U_n>0$。ST 输出为负，经极性鉴别器 JB 后，输出为正，逻辑开关 Z 端输出为正，F 端输出端为负。使正转触发

器工作。反转触发器不工作。电动机以稳定转速 n_1 运行于机械特性点"1"。

2)下放重物：$U_{gk}<0, U_n<0$，则 $\Delta_n=-U_{gk}-U_n<0$，ST 输出为正，极性鉴别器 JB 的输出为负。逻辑开关 Z 端输出为负，正转晶闸管关断，主回路电流为零。逻辑开关 F 端经延时(10～20μs)输出为正，反转晶闸管导通，电动机反接制动，制动开始工作于机械特性"2"上，而后急剧减速到零，反向起动，强制下放重物。逻辑开关从正转至反转，需延时输出，以保证正转晶闸管首先可靠关断后，反转晶闸管导通，以免同时导通，造成相间短路。反之亦然。

3)倒拉制动：电动机反向起动，强制下放重物，电动机转速上升增到 $n=-n_2$(点 4)，$|U_n|>|U_{gk}|$，$\Delta U_n>0$，逻辑开关转到 Z 端输出为正，使正转晶闸管导通，电动机处于倒拉反接制动状态(点 5)。

7.2 异步电动机晶闸管串级调速

线绕式异步电动机转子串电阻调速时，电阻消耗大量能量，调速越低，耗损越大，经济性较差。串级调速将线绕式异步电动机转差功率回馈到电网，因而这是一种比较经济的调速方法。有低同步及超同步两种串级调速方法。目前实际应用的为低同步串极调速。

7.2.1 串级调速原理

异步电动机外加电源电压 U 及负载转矩 Mf 均为恒值时：

$$M=C_M\Phi I_2\cos\varphi_2=常数$$

式中：$\Phi\approx$常数，$\cos\Phi_2\approx$常数，因此 $I_2\approx$常数：

$$I_2=\frac{SE_{20}}{\sqrt{r_2^2+(SX_{20})^2}}=\frac{E_{20}}{\sqrt{(\frac{r_2}{s})^2+X_{20}^2}}\approx 常数$$

如果在转子中引入一个外加电势 E_k，其频率和转子电势 SE_{20} 的频率相同，而相位相同或相反，则转子电流取决于转子电路中电势的代数和，即：

$$I_2=\frac{SE_{20}\pm E_k}{\sqrt{{r_2}^2+(SX_{20})^2}}$$

$$=\frac{E_{20}\pm\frac{E_K}{S}}{\sqrt{(\frac{r_2}{s})^2+x_{20}^2}}\approx 常数 \qquad (8.3.5—46)$$

电机在正常运行时 S 很小，故 $r_2\geqslant SX_{20}$，SX_{20} 可忽略：

$$SE_{20}\pm E_k=E_{20}\pm\frac{E_k}{S}\approx 常数$$

由于 E_{20} 为电动机堵转时的转子电势，它为一常数。因此，改变外加电势可以改变转差率，即可按下述两种情况实现调速：

1)外加电势 E_k 的相位与转子电势 SE_{20} 的相位相反：

E_k 取负号，即：

$$SE_{20}-E_k\approx 常数 \qquad (8.3.5—47)$$

增加 E_k，转差率增加，电动机转速将降低。反之，当 E_k 减小时，S 将要减小，从而电动机转速上升。$E_k=0$ 时，电动机转速为最高，即为因有机械特性所确定的转速。所以，当 E_k 为负时，其值由零逐渐增加，电动机的转速从固有特性所对应的速度逐渐下降，即得到低于同步转速的速度，故为向下调速的方法。

2)外加电势 E_k 的相位与转子电势的相位相同

E_k 取正号,即:

$$SE_{20}+E_k\approx 常数 \qquad (8.3.5-48)$$

增加 E_k,转差率将减小,电动机转速将上升。E_k 增加到某一数值后,S 将等于零,电动机转速达到同步转速。如果进一步增加 E_k,S 开始变负,因为 $n=(1-S)n_1$,此时电动机的转速 n 将超过同步转速 n_1。所以,当 E_k 为正时,其值由零逐渐增加,电动机转速将从固有特性对应的速度逐渐上升,可以达到和超过同步转速运行,故为向上调速的方法。

7.2.2　晶闸管串级调速系统

晶闸管串级调速系统如图 8.3.5—107 所示。系统中外加电势 E_k 由晶闸管元件组成的全控整流电路获得,要求全控整流电路长期在有源逆变状态下工作,即晶闸管的触发脉冲控制角 $\alpha\geqslant 90°$,也就是逆变角 $\beta\leqslant 90°$,不可控转子整流器输出的转差功率由晶闸管有源逆变电路回馈入电网。改变β的大小,即调节了晶闸管有源逆变器两端的逆变电压 U_β 值,也就是改变外加电势 E_k 值,实现电动机低于同步转速的调速。由于转子转差功率回馈入电网,故这种调速系统具有恒转矩调速特性。

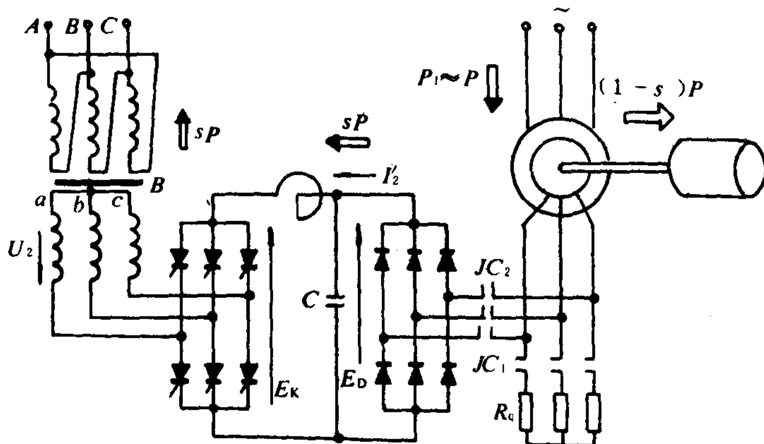


图 8.3.5－107　异步电动机串级调速系统(低于同步转速)

如将图 8.3.5—107 线路中二极管整流电路换为晶闸管电路,电动机可在高于同步转速的电动状态下运行,也可在低于同步转速的再生发电制动状态下运行。

当调速范围在 2∶1 以下时,晶闸管需要反馈的转差功率 SP 也就不会大于电动机额定功率的一半(因为 $S<0.5$),这时装置容量较小,比较经济。所以串级调速特别适合调速范围 D 在 2～1.5 之间的场合。

低于同步转速的串级调速,其功率因数比较低,需要采取提高装置功率因数的措旋。

如果要使串级调速装置能从零起调速,则可以不另设起动设备,采取由串级调速装置控制的直接起动。此时逆变电路工作在全开放状态($\beta=0$)的条件下,所提供的外加电势应大于电动机不转时转子电压整流值。然后逐渐增大β角,减小外加电压,电动机可平稳起动。如果装置不是从转速按零起调速设计的,则逆变器提供的外加电压将小于上述转子整流电压,因此采用直接起动会有较大的冲击电流。调速范围越小,外加电压越小,合闸冲击电流越大。为此必须采取起动措施。如图 8.3.5—107,起动时先不接入串级调速装置,即断开接触器 TC_2,而按三相转子串电阻的起动方法,即接通接触器 JC_1,等到转子转速升到足够高,转子整 流电压减小到接近外加电压时再接通调速装置。

7.2.3　串级调速时机械特性

异步电动机转子电路经整流后输出的直流电压平均值为:

$$E_{20}=K_DSE_{20}-\Delta U_D \qquad (8.3.5-49)$$

式中:KD ——整流系数,三相桥式电路 $K_D=2.34$;

ΔU_D——转子电路与整流器总压降，包括转子绕组电抗等值压降$\frac{3x^2}{\pi}I_d$、电阻压降I_dr_2及二只二极管压降$2\Delta U_d$。

晶闸管逆变器直流输入电势与交流输出相电压之间：

$$E_k = K_sU_2\cos\beta + \Delta U_s \quad (8.3.5\text{—}50)$$

式中：K_s——与逆变电路形式有关的常数，如三相全控桥式逆变电路$K_s=2.34$；

β——逆变角；

ΔU_s——逆变回路总压降；包括逆变变压器绕组电抗等值压降$\frac{3X_s}{\pi}I_d$、电阻压降I_dr_s及两只晶闸管压降$2\Delta U$等。

$$E_{20} = E_x + R_eI_d$$

式中：R_l——直流滤波电抗器内阻.

$$S = \frac{K_sU_2}{K_DE_{20}}\cos\beta + \frac{\Delta U_D + \Delta U_s + R_eI_d}{K_DE_{20}} \quad (8.3.5\text{—}51)$$

$$S \approx K_1\cos\beta + K_2I_d$$

$K_1 = \frac{K_SU_2}{K_DE_{20}}$，K2 近似为常数，故得

$$n = n_1(1-s) = n_1(1-K_1\cos\beta - K_2I_D) \quad (8.3.5\text{—}52)$$

从上式可以看出，改变晶闸管逆变角β可以实现调速，其调速特性如图 8.3.5—108 所示。同样给定不同的逆变角β而画出串级调速时机械特性曲线族，如图 8.3.5—109 所示。

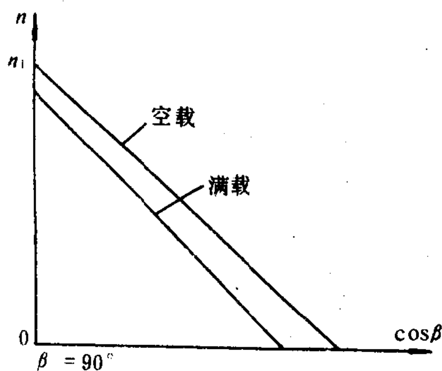


图 8.3.5—108 串级调速的调速特性

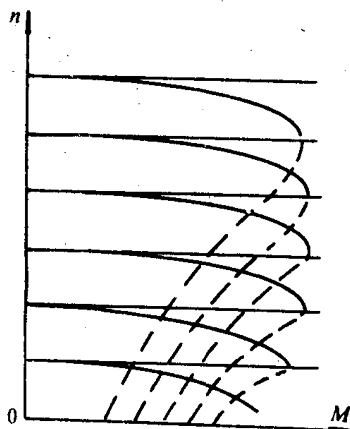


图 8.3.5—109 串级调速时机械特性

参 考 文 献

[1] 张为佐编著：新型电力半导体器件原理及应用，机械工业出版社

[2] 〔日〕关 长隆·食田 衞·竹内 南编：可关断晶闸管—GTO 的原理和应用 中国铁道出版社 1984 年 6 月

[3] 张立编著：可关断可控硅及其应用 ，人民邮电出版社

[4] 〔加拿大〕P·C 森著：晶闸管直流传动，机械工业出版社，1984 年 4 月

[5] 林渭勋等编：电力电子电路，浙江大学出版社，1986 年 9 月

[6] 黄俊主编：半导体变流技术，机械工业出版社，1986 年 11 月

[7] 昌天诚主编：船舶电力拖动自动控制系统，人民交通出版社，1981 年 8 月

[8] 杨兴瑶编著：电动机调速的原理及应用，水力电力出版社，1985 年 11 月

[9] 陈伯时主编：自动控制系统，机械工业出版社，1981 年 7 月

[10] 可控硅调查组编：可控硅整流器及其应用，第一机械工业部电气传动设计研究所，1969 年 5 月

[11] DESCRIPTION LIEBHERR SINGLE DECK CRANE SIEMENS AKTIENGE SELLS CHAFT

[12] INSTRUCTIC MANUAL SELMOC 3000D SHINKO ELECTRIC CO. LTD JAPAN

[13] 刘竟成主编：交流调速系统，上海交通大学出版社

[14] 佟纯厚主编：近代交流调速，冶金工业出版社，1985 年 6 月

[15] B. R. 佩莱著，相启元等译：可控硅相控变流器及变频器，冶金工业出版社，1981 年

[16] J. M. D 墨菲著、藏英杰等译：交流电动机的可控硅控制，中国铁道出版社，1983 年

[17] 何冠英编著：电子逆变器及其传动系统，天津电气传动研究所，1983 年

[18] 〔日〕上山直彦编，相赓文、龚向阳译：可控硅电动机原理与运行，机械工业出版社，1983 年

[19] 魏泽国主编：异步电动机可控硅串调原理及应用，冶金工业出版社，1984 年

[20] S、B 迪瓦思著：机械工业出版社，电力半导体电路，1980 年

第 6 章　船舶轴带发电机系统及装置

1　船舶轴带发电机系统及装置的优越性

在船舶供电系统中，轴带发电机系统及装置占有日益重要的地位。其原因如下：

1）主要原因是可以节能，换言之能够比较明显地降低船用电力的成本。轴带发电机的原动机是主推进柴油机，该机效率高于柴油发电机的原动机，耗油率低，因而每千瓦小时的发电成本就比高速柴油发电机低。

航行期间，全船电力由轴带发电机系统供电，原动机为推进柴油机，以重油运行，无须运转电站的柴油发动机。因而以重油代替柴油，就可以明显地降低燃油费用。

2）柴油发电机不经常工作，可以减少润滑油费用、维护费用及柴油机零部件损耗费用，延长大修周期，提高经济效益。

3）电网电压、频率保持很高精度，完全满足海船规范要求。能和一切可用电源并联工作。

4）在船舶晶闸管轴带发电机系统中，晶闸管设备实际上无需保养，而其可靠性比通常船舶的机械设备还要高。特别是静态变频器，控制部分装有自检系统与可插拔组件，可迅速查出失灵的单元，便于安装和更换。

如上所述，采用轴发系统及装置，不仅提高经济性，而且维修量减少，可靠性亦有所提高，因而船舶轴带发电机系统及装置日渐显示其优越性。

船舶晶闸管轴带发电机系统及装置的主要问题是初次投资较高，但是根据国外运行经验及估算结果，一般可在 4～5 年之内由效益弥补。

1.1　船舶轴带发电机系统的类型

轴带发电机由主机驱动，其转速随主机而变化，因而根据主机运行条件，对主机转速的变化进行补偿，以获得恒频、恒压的电力是关键问题。因之按照其有无频率补偿，及补偿方式可以分为：

1）无频率补偿型 S/G 系统

这种轴带发电机系统是由主机和定矩螺旋桨的推进系统驱动，主轴转速未采取机械或电气的措施进行调节，由于轴带发电机的频率随主机转速而变化，这种轴带发电机装置只能在其频率不超出船舶规范允许范围才可使用。

2）频率补偿型 S/G 系统

这种系统中，采用机械或电气的控制手段，使船舶电网的频率保持一定值，常见的有下述三种形式：

（1）变螺矩桨和轴带发电机装置组成（CPP+S/G）

在这种装置中，主机和轴带发电机之间装有减速齿轮装置。船速取决于变螺矩的螺矩，主机转速及轴带发电机的频率大致恒定。如图 8.3.6—1。在 CPP+S/G 系统中，只在切换发电机时，才可以和其它发电机并联，但是长时间并联运行是困难的。

如主机运行于额定转速，可变螺矩桨不处于最佳螺矩工况，将导致动力装置效率迅速递

减。

(2)定矩螺旋桨、定速装置和轴带发电机装置组成(FPP+CS+S/G)

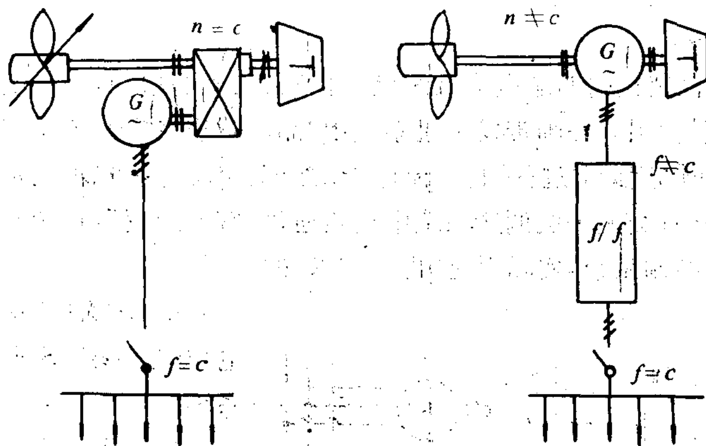


图 8.3.6—1　带有轴带发电机装置的可变螺矩和固定螺矩推进装置

在这种系统中，推进轴和轴带发电机之间装有定速装置。当推进轴转速发生变化时，轴带发电机的转速大致保持恒定。定速装置有多片离合器式、涡流联轴器式和液压转换器式应用日渐增多的电控星形齿轮。

但是这种轴带发电机装置不能和其它发电机持续并联。当速度和额定转速差异较大时，装置容量将受到限制。效率低；在100%额定转速时，总体效率 $\eta=0.93$，当70%额定转速时，总体效率 $\eta=0.83$，故其应用受到一定限制。

(3)定矩螺旋桨、轴带发电机和恒频装置组成(FPP+SG+CF)

在这种系统中，轴带发电机转速是可变的，但采取了电气控制方式，使供给船舶电网的电源频率保持恒定，这种系统不但在换接时可以和其它发电机并联运行，还可以长期持续并联运行。主要有下述两种方式：

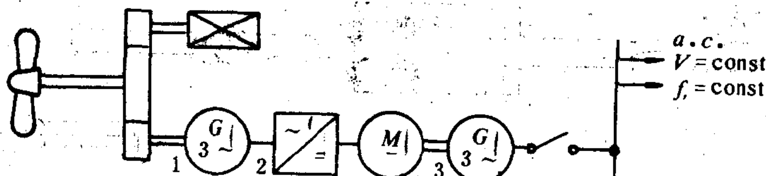


图 8.3.6—2　带有旋转式变流器的轴带发电机系统

①交流发电机1+变流器2+直流电动机+交流发电机组3，总体效率 $\eta=0.81$，如图8.3.6—2。

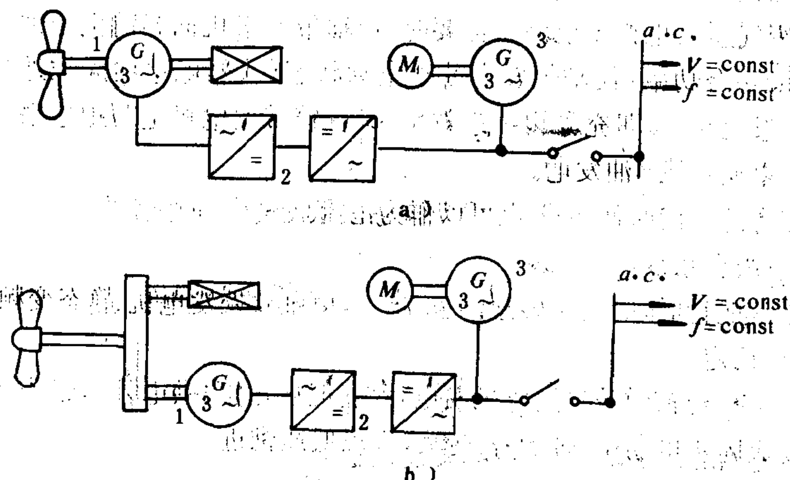


图 8.3.6—3　晶闸管轴带发电机系统

②交流发电机1+晶闸管变频器2，总体效率 $\eta=0.90$，如图8.3.6—3a)发电机与推进轴直接的轴带发电机系统。图8.3.6—3b)是发电机通过减速齿轮与推进轴连接的轴带发电机系统，其中3是无功功率补偿器。

由于大功率电子技术在控制方面的应用，晶闸管轴带发电机系统及装置获得迅速发展。

1.2 船舶晶闸管轴带发电机系统

目前在晶闸管轴带发电机系统中有下述两种典型系统

1)晶闸管轴带发电机系统(S/G 系统)

船舶航行期间,由晶闸 管轴带发电机装置向船舶电力系统供给恒频、恒压的电力,一个变流器只作“整流”用,另一个则作为“逆变”使用。在轴带发电机系统中“晶闸管逆变”为“有源逆变”。在晶闸管直流调速 系统中,为了加快其制动过程,将直流电能反馈至交流电网的再生制动,其中便有“有源逆变”的过程。在晶闸管交流串级调速系统中也是通过“有源逆变”,将转差功率回馈至交流电网。因而轴带发电机控制系统,实际上是“再生技术”的应用。

2)晶闸管轴带发电电动系统(SSG 系统)

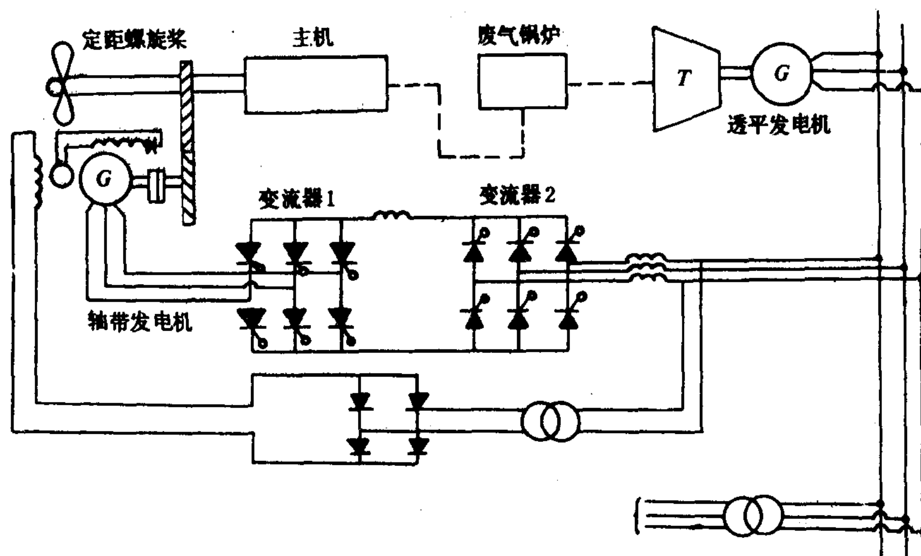


图 8.3.6—4 船舶晶闸管轴带发电电动机系统

(1)废气透平发电机(T/G)与轴带发电机组成的晶闸管轴带发电电动系统:如图 8.3.6—4 所示,在此系统中,通过减速装置与推进轴连接的轴带发电电动机是无刷同步发电机,可以作为发电机或电动机运行。两组晶闸管变流器 1、2 均可以作为整流器或逆变器运行。在发电机运行时,变流器 1 为整流器,变流器 2 作为逆变器使用。在电动机运行时,变流器 1 为逆变器,变流器 2 为整流器。

当船用电力消耗增大,废气透平发电机不能满足需要时,由轴带发电机向船舶电网供电。而在电力消耗减少时,出现了剩余功率,则使轴带发电处于电动状态,从船舶电网向推进轴供给电功率。由于装设废气透平发电机,即充分利用了热效率,又有轴带发电机电力推进系统,所以不仅提高发电效率,而且可以使用重油发电。

电力动进可在主机发生故障需紧急回港时使用,也可以作为港内低速航行 时使用。

(2)综合辅助推进和轴带发电机组合系统

该系统如图 8.3.6—5 所示,正常航行时,螺旋桨转速达 $0.7n_{max}$,由轴带发电机、静态变频器向船舶电网供电,保证频率和电压恒定。

低速航行时,主机停车,则由一至二台辅助柴油发电机发电,除向船舶电网供电外,经静态变频器,变速电动机(轴带发电机变成同步电动机)带动螺 旋桨,实现低速推进。

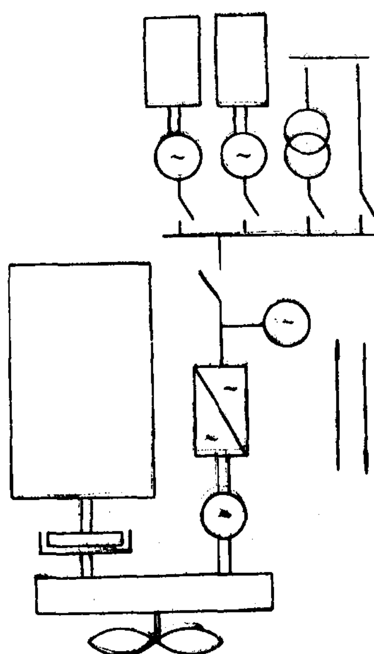


图 8.3.6—5　综合辅助推进和轴带发电机组合系统

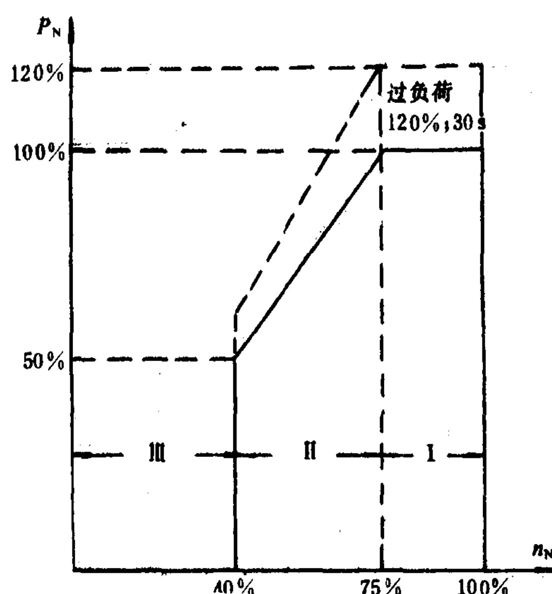


图 8.3.6—6　功率输出特性

1.3　晶闸管轴带发电机装置功率输出特性

晶闸管轴带发电机装置功率输出特性如图 8.3.6—6 所示：共分三个区域：

1)额定功率输出区域(区域 I)；

主机转速由 100%n_N降至 75%n_N，轴带发电机装置，以额定功率输出，按照目前通用的控制方案，此区域愈大则轴带发电机尺寸、重量将增加。

2)输出功率递减区域(区域 II)

主机转速由 75%nN 降至 40%nN，输出功率线性下降，轴带发电机装置仍可向船舶电网供电，但其输出功率递减。此时，船舶电站自动卸去次要负荷，并起动辅助柴油发电机。实践经验，起动过程一般需时 8～10s，即主机发出停车指令，其转速由 75%nN 降至 40%nN，输出功率递减过程，应保证 8～10s，否则轴带发电机未及时起动、并车、并转移负载，则导致全船停电。

3)轴带发电机停止运转区域(区域 III)

主机转速 40%n_N以下，轴带发电机停止运转。40%n_N称为安全速度，一般情况下，此转速不低于港内航速。

2　晶闸管轴带发电机主电路

目前典型的晶闸管轴带发电机系统及装置如图 8.3.6—7 所示。各部件如下：

轴带发电机 1：为不带阻尼绕组的三相交流同步发电机。

晶闸管整流器 2：由晶闸管桥式整流电路组成，它将轴带发电机产生的三相交流电整流为直流电，这样可使轴带发电机的功率因数经常保持最佳值，还可使其尺寸小、重量轻、效率高。

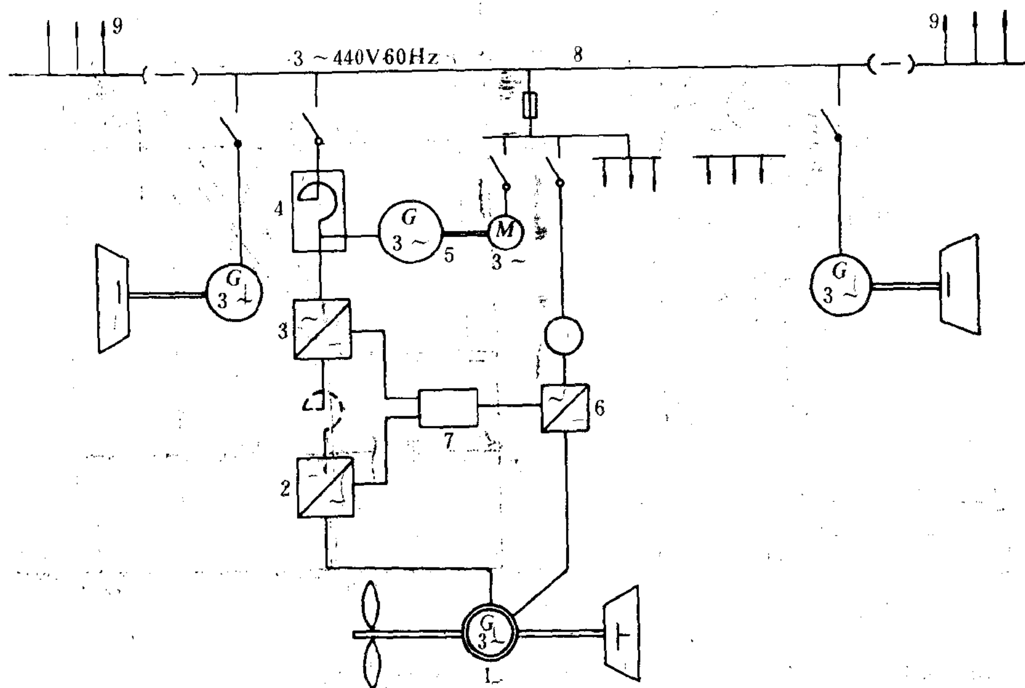


图 8.3.6－7　晶闸管轴带发电机系统图

晶闸管逆变器 3：它由晶闸管全控桥式电路构成，按有源逆变状态运行，将整流后的直流电逆变为电压、频率恒定的交流电，供给船舶电网。

系统电抗器 4：用以限制短路电流。抑制谐波电流，改善波形。

同步补偿器 5：同步补偿器由一台三相异步电动机驱动，该电动机唯一的作用就是起动同步补偿器。起动完毕．立即切断异步电动机电源；此时同步补偿器继续运转向电网提供无功功率。同步补偿器一般为三相无刷同步电机。

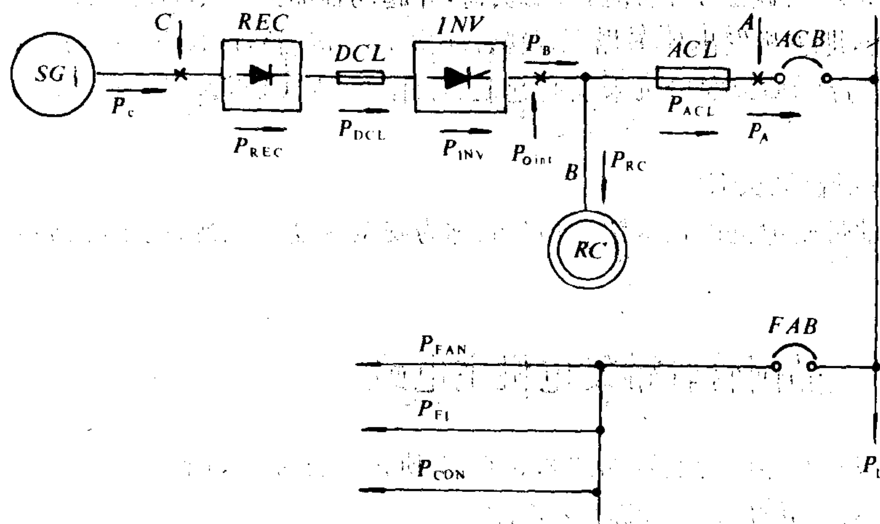


图 8.3.6－8　晶闸管轴带发电机有功功率的传递

励磁用晶闸管整流装置 6：改变其控制角，以调节轴带发电机励磁电流。

控制系统 7。

3×440 V、60Hz 的供电系统 8。

负载 9。

2.1　晶闸管轴带发电机系统的功率传递

轴带发电机产生的三相交流电，经过晶闸管整流器和逆变器送给电网的功率为有功功率。逆变器和全船负载所需无功功率，则由同

步补偿器供给。换言之，晶闸管轴带发电机系统功率的产生、传递和控制分为下述两个子系统

1)有功功率的产生和传递：

"A"点处：
$$P_A = P_L + P_{FAN} + P_{FI} + P_{CON} \qquad (8.3.6—1)$$

式中：P_L —— 全船电网所需有功功率；

P_{FAN} —— 轴带发电机系统通风冷却设备需要的有功功率；

P_{FI} —— 轴带发电机励磁系统所需有功功率；

P_{CON} —— 轴带发电机系统控制设备需要的有功功率。

"B"点处：
$$P_B = P_A + P_{RC} + P_{ACL} \qquad (8.3.6—2)$$

式中：P_{RC} —— 同步补偿器所需有功功率，即运转过程中的各种耗损；

P_{ACL} —— 系统交流电抗器耗损的有功功率；

"C"点处：
$$P_C = P_B + P_{INV} + P_{DCL} + P_{REC} \qquad (8.3.6—3)$$

式中：P_{INV} —— 晶闸管逆变器耗损的有功功率；

P_{DCL} —— 直流回路电抗器耗损的有功功率；

P_{REC} —— 晶闸管整流器耗损的有功功率。

如忽略：P_{FAN} P_{FI} P_{ACL} P_{INV} P_{DCL} P_{REC}时：

则
$$P_{SG} = P_C = P_{RC} + P_L \qquad (8.3.6—4)$$

2)无功功率的产生与传递

"A"点处：
$$Q_A = Q_L + Q_{FAN} + Q_{FI} + Q_{CON} \qquad (8.3.6—5)$$

式中：Q_L —— 全船电网所需无功功率；

Q_{FAN} —— 轴带发电机系统通风冷却设备所需无功功率；

Q_{FI} —— 轴带发电机励磁系统所需无功功率；

Q_{CON} —— 轴带发电机系统控制设备所需无功功率。

$$\therefore Q_{SC} = Q_A + Q_i + Q_{ACL} \qquad (8.3.6—6)$$

式中：Q_i —— 晶闸管逆变器所需要的无功功率；

Q_{ACL} —— 系统交流电抗器所需的无功功率。

当忽略：Q_{FAN}、Q_{FI}、Q_{CON}、Q_{ACL}、Q_i时：

$$Q_{SC} = Q_L + Q_i \qquad (8.3.6—7)$$

2.2 晶闸管轴带发电机系统主回路功率、电压、电流的关系

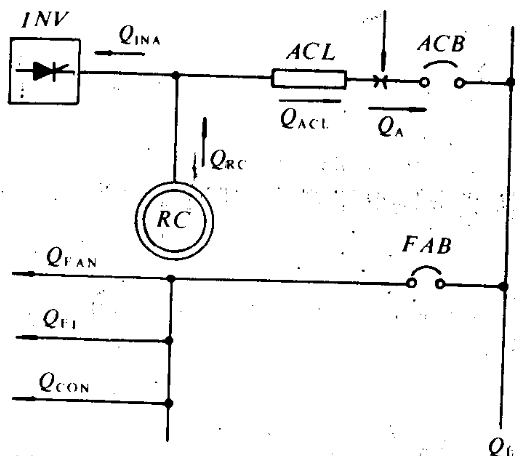


图 8.3.6—9 轴带发电机系统无功功率的传递

1)主回路功率、电压、电流一般关系

为便于工程计算，假设①直流回路中平波电抗器的电抗为无穷大，电阻为零，电流完全平滑。②整流器和逆变器的晶闸管电压降为零。③考虑晶闸管整流器的重叠角为γ，逆变器晶闸管的重叠角为γ'。现经推导获得晶闸管轴带发电机系统功率、电压、电流关系如下：

(1)晶闸管整流电路

$$U_d = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_{SGL} \cos\frac{\gamma}{2} \cos\left(\alpha + \frac{\gamma}{2}\right) \qquad (8.3.6—8)$$

在晶闸管轴带发电机系统中，整流电路的控制角 $\alpha=0$。

$$U_d=\frac{3\sqrt{2}}{\pi}U_{SGL}\cos\frac{2\gamma}{2} \tag{8.3.6—9}$$

式中： U_d ——晶闸管整流器整流电压平均值；

U_{SGL} ——轴带发电机输出线电压；

α ——晶闸管整流器控制角；

γ ——晶闸管整流器重叠角。

$$I_d=\frac{I_{SG}}{K\sqrt{\frac{2}{3}}} \tag{8.3.6—10}$$

式中：I_{SG} ——轴带发电机输出电流；

I_d ——晶闸管整流器电流；

K ——K 为随 α 和 γ 而变化的常数；$\gamma=0$ 时，$K=1$。

$$P_d=U_dI_d=\frac{3\sqrt{2}}{\pi}U_{SGL}\ I_d\cos^2\frac{\gamma}{2} \tag{8.3.6—11}$$

$$\gamma=-\alpha+\cos^{-1}\left(\cos\alpha-\frac{2I_dX_s}{\sqrt{6}U_{SGL}}\right) \tag{8.3.6—12}$$

$$\gamma=\cos^{-1}\left(1-\frac{2I_dX_s}{\sqrt{6}U_{SGL}}\right) \tag{8.3.6—13}$$

式中：X_s——轴带发电机同步电抗。

（2）轴带发电机

$$P_{SG}=P_d=\frac{3\sqrt{2}}{\pi}U_{SGL}I_d\cos^2\frac{\gamma}{2} \tag{8.3.6—14}$$

或

$$P_{SG}=\frac{3\sqrt{3}}{\pi k}U_{SGL}\ I_{SG}\cos^2\frac{\gamma}{2} \tag{8.3.6—15}$$

$$U_{SGL}=\frac{U_d}{\frac{3\sqrt{2}}{\pi}\cos^2\frac{\gamma}{2}}=\frac{U_d}{1.35\cos^2\frac{\gamma}{2}} \tag{8.3.6—16}$$

$$I_{SG}=\frac{P_{SG}}{\sqrt{3}U_{SGL}\cos^2\frac{\gamma}{2}}\times\frac{\pi k}{2} \tag{8.3.6—17}$$

$$\cos_{SG}=\frac{3}{K\pi}\cos^2\frac{\gamma}{2} \tag{8.3.6—18}$$

（3）晶闸管逆变器：

在晶闸管轴带发电机系统中，逆变器由晶闸管桥式全控电路组成，其逆变角为 β，在逆变电路中必须考虑其重叠角 γ'

$$\gamma'=\beta-\cos^{-1}\left(\frac{2I_dX'_B}{\sqrt{6}U_L}+\cos\beta\right) \tag{8.3.6—19}$$

式中：X_B'——母线换向电抗；

$$U_d'=-\frac{3\sqrt{2}}{\pi}U_l\cos\frac{\gamma'}{2}\cos(\beta+\frac{\gamma'}{2})$$

从直流侧输入到逆变器有功功率 U_d' 和 I_d 的乘 积，与逆变器输出的有功功率（$-P_i$）相

等。

$$P_i = -U'_d I_d \tag{8.3.6—20}$$

$$= \frac{3\sqrt{3}}{\pi k} U_L I_i \cos\frac{\gamma'}{2} \cos\left(\beta + \frac{\gamma'}{2}\right) \tag{8.3.6—21}$$

式中：U_L——船舶电网线电压。

逆变器的功率因数为 $\cos d_i$；无功功率因数为 $\sin d_i$；其中：

$$\cos d_i = \frac{3}{\pi k} \cos\frac{\gamma'}{2} \cos\left(\beta + \frac{\gamma'}{2}\right) \tag{8.3.6—22}$$

$$\sin d_I = \sqrt{1 - \left[\frac{3}{\pi k} \cos\frac{\gamma'}{2} \cos\left(\beta + \frac{\gamma'}{2}\right)\right]^2} \tag{8.3.6—23}$$

逆变器的无功功率 Q_n：

$$Q_i = \sqrt{3}\, U_L\, I_i \sin d_I \tag{8.3.6—24}$$

逆变器输入电网的电流 I_i：

$$I_i = \frac{P_i}{\sqrt{3}\, U_L \cos\frac{\gamma'}{2} \cos\left(\beta + \frac{\gamma'}{2}\right)} \times \frac{\pi K}{3} \tag{8.3.6—25}$$

电流的有功分量 I_i：

$$I_i' = \frac{P_i}{\sqrt{3}\, U_L}$$

$$= \frac{3}{\pi K} I_i \cos\frac{\gamma'}{2} \cos\left(\beta + \frac{\gamma'}{2}\right) \tag{8.3.6—26}$$

电流无功分量 I_i''：

$$I_i'' = I_i \sqrt{1 - \left[\frac{2}{\pi k} \cos\frac{\gamma'}{2} \cos\left(\beta + \frac{\gamma}{2}\right)\right]^2} \tag{8.3.6—27}$$

输入逆变器的直流电流 I_d：

$$I_d = \frac{P_i}{\sqrt{2}\, U_L \cos\frac{\gamma'}{2} \cos\left(\beta + \frac{\gamma'}{2}\right)} \times \frac{\pi}{3} \tag{8.3.6—28}$$

2)主回路功率、电压、电流工程近似估算法

为了进一步简化上述关系，便于工程估算；假设(1)平波电抗器的电抗为无穷大，电阻为零，电流完全平滑。(2)整流器和逆 变器的晶闸管电压降为零。(3)整流器 晶闸管控制角 $\alpha=0$，$\gamma=0$。(4)逆变器晶闸管 $\gamma'=0$。在轴带发电机控制系统中，主机转速 由 $100\%n_N$，降至 $75\%n_N$，维持恒功率输出(以额定功率或一定功率值)过程中，逆变器逆变角维持最小值 30°；$\beta_{min}=30°$，调节发电机励磁。根据上述假设，获得主回路功率、电流、电压关系式如表 8.3.6—1。

表 8.3.6—1　**主回路功率、电压、电流工程近似估算法**

名　称	轴带发电机	晶体管整流器	晶体管逆变器
电　压	$U_{SGL} = \frac{U_d}{1.36} = 0.74U_d$	$U_d = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_{SGL}$ $= 1.36U_{SGL}$	$U'_D = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_L \cos\beta_{min} = 1.18U$

续上表

名　称	轴带发电机	晶体管整流器	晶体管逆变器
电　流	$I_{SG}=\frac{0.61P_{SG}}{U_{sg}}$	$I_d=I_{SG}\sqrt{\frac{3}{2}}$ $=1.22I_{SG}$	$I_d=\frac{\pi}{3\sqrt{2}\cos\beta_{min}}\cdot\frac{P_i}{U_i}$ $=0.86\frac{P_i}{U_i}$
功率因数	$\cos d_{SG}=1$	$\cos d_d=1$	$\cos d_i=\frac{3}{\pi}\cos\beta_{min}$ $=0.83$
无功功率因数	$\sin d_{SG}=0$	$\sin d_d=0$	$\sin d_i=\sqrt{1-\left(\frac{3}{\pi}\cos\beta_{min}\right)^2}$ $=0.56$
有功功率	$P_{SG}=1.66U_{SGL}I_{SG}$ $=1.36U_{sGL}I_d$	$P_d=\frac{3\sqrt{2}}{\pi}U_{sGL}Id$ $=1.36U_{SGL}I_d$	$P_i=\frac{3\sqrt{3}}{\pi}\cos\beta_{min}xU_LI_i$ $=1.44U_LI_i$
无功功率			$Q_i=\sqrt{3}U_LI_i\sqrt{1-\left(\frac{3}{\pi}\cos\beta_{min}\right)^2}$ $=0.97U_LI_i$

2.3　轴带发电机和同步补偿器容量确定方法

在晶闸管轴带发电机系统正常运转时，同步补偿器供给逆变器和全船负载所需的无功功率。(即 Q_i 和 Q_L)全船负载所需无功功率 Q_L 由电力负荷计算书求得。逆变器供给同步补偿器耗损功率 P_{SC}和全船负荷所需有功功率 P_C。

1)轴带发电机容量确定方法

在一般晶闸管轴带发电机系统中，调节轴带发电机励磁以实现频率调节。晶闸管整流器以7KHZ 脉冲链触发后，即按一定控制角运行，为了主电路参数的匹配，常有一控制角，但是为了提高整流器的功率因数，此控制角甚小，所以近似地令 $\alpha=0$，并忽略重叠角，$\gamma/2=0$。

又忽略 P_{FA}、P_{FI}、P_{REC}、P_{d1}、P_{INV}、P_{AL}如公式(8.3.6—4)：

$$P_{SG}\approx P_{SG}\approx P_{SC}+P_L$$

若同步补偿器所耗损的有功功率甚小，亦忽略不计：

$$S_{SG}\approx P_{SG}\approx P_L \tag{8.3.6—29}$$

2)同步补偿器容量确定方法

(1)精确计算方法

同步补偿器的无功功率 Q_{SC} 和视在功率 S_{SC}：

$$Q_{SC}=Q_L+Q_i$$

$$=Q_L+\sqrt{3}U_LI_i\times\sqrt{1-\left(\frac{3}{k\pi}\cos\frac{\gamma'}{2}\cos(\beta+\frac{\gamma'}{2})\right)^2} \tag{8.3.6—30}$$

$$S_{SC}=\sqrt{P_{SC}^2+Q_{SC}^2}$$

$$=\sqrt{P_{SC}{}^2+\left\{Q_L+\sqrt{3}U_LI_i\sqrt{1-\left[\frac{3}{\pi K}\cos\frac{\gamma'}{2}\cos(\beta+\frac{\gamma'}{2})\right]^2}\right\}^2} \quad (8.3.6—31)$$

同步补偿器的电流 I_{SC}、有功分量 I'_{SC}、无功分量 I''_{SC}：

$$I'_{SC}=\frac{P_{SC}}{\sqrt{3}U_L} \quad (8.3.6—32)$$

$$I''_{SC}=I''_L+I_i\sqrt{1-\left[\frac{3}{K\pi}\cos\frac{\gamma'}{2}\cos(\beta+\frac{\gamma'}{2})\right]^2} \quad (8.3.6—33)$$

$$I_{SC}=\sqrt{I'^2_{SC}+I''^2_{SC}} \quad (8.3.6—34)$$

同步补偿器的功率因数 $\cos d_{SC}$

$$\cos d_{SC}=\frac{P_{SC}}{S_{SC}}$$

$$=\frac{P_{SC}}{\sqrt{P_{SC}{}^2+\left\{Q_L+\sqrt{3}U_LI_i\sqrt{1-\left[\frac{3}{\pi k}\cos\frac{\gamma'}{2}\cos(\beta+\frac{\gamma'}{2})\right]^2}\right\}^2}} \quad (8.3.6—35)$$

同步补偿器的容量可由公式(8.3.6—31)、(8.3.6—34)、(8.3.6—35)求得。

(2)工程估算方法：

进一步简化上述公式，如果已知全船负载所需有功功率 P_L 和平均功率因数 $\cos d_L$，便可近似地估算同步补偿器容量。

全船负载的视在功率 S_L、无功功率 Q_L：

$$S_L=\frac{P_L}{\cos d_L} \quad (8.3.6—36)$$

$$Q_L=\sqrt{S_L^2-P_L^2}=P_L\tan d_L \quad (8.3.6—37)$$

根据公式(8.3.6—22)、(8.3.6—23)令 $\frac{\gamma'}{2}=0$，则 $k=1$：

$$\cos d_i=\frac{3}{\pi}\cos\beta \quad (8.3.6—38)$$

$$\sin d_i=\sqrt{1-(\frac{3}{\pi}\cos\beta)^2} \quad (8.3.6—39)$$

在轴带发电机系统中，晶闸管逆变器供给全船负载和同步补偿器的有功功率，同步补偿器所消耗的有功功率甚小，可以忽略不计。故逆变器仅供给全船负载所需有功功率；即 $P_i=P_L$。

$$Q_i\approx\frac{\sqrt{1-(\frac{3}{\pi}\cos\beta)^2}}{\frac{3}{\pi}\cos\beta}\times P_i \quad (8.3.6—40)$$

$$Q_i\approx\frac{\sqrt{1-(\frac{3}{\pi}\cos\beta)^2}}{\frac{3}{\pi}\cos\beta}\times P_L \quad (8.3.6—41)$$

同步补偿器供给全船负载和逆变器所需无功功率，其容量：

$$S_{SC}\approx Q_{SC}\approx Q_L+Q_i$$

将(8.3.6—37)、(8.3.6—41)代入后：

$$S_{SC} \approx P_L \left[\tan d_L + \frac{\sqrt{1-(\frac{3}{\pi}\cos\beta)^2}}{\frac{3}{\pi}\cos\beta} \right] \quad (8.3.6—42)$$

航行期间，主机以 100%～75%n_N运转，轴带发电机的输出在额定功率范围内，如主机转速或船舶电网负载变化时，其功率也随着变化。为了保证恒频，则调节轴带发电机励磁，以增大或减 小输出的有功功率。而逆变器的逆变角 $\beta=\beta_{min}=30°$，并保持恒定：

∵
$$Q_i \approx \frac{\sqrt{1-(\frac{3}{\pi}\cos\beta_{min})^2}}{\frac{3}{\pi}\cos\beta_{min}} \times P_L$$

$$=\frac{0.562}{0.827}=0.68P_L \quad (8.3.6—43)$$

$$S_{SC} \approx Q_{SC} \approx P_L[\tan d_L + 0.68] \quad (8.3.6—44)$$

又若
$$\frac{3}{\pi} \approx 1:$$

$$Q_i \approx \frac{\sqrt{1-\cos\beta_{min}^2}}{\cos\beta_{min}} P_L = P_L \tan\beta_{min}$$

$$=0.58P_L \quad (8.3.6—45)$$

$$S_{SC} \approx Q_{SC} \approx P_L[\tan d_L + \tan\beta_{min}] \quad (8.3.6—46)$$

$$S_{SC} \approx Q_{SC} \approx P_L[\tan d_L + 0.58] \quad (8.3.6—47)$$

按式(8.3.6—46)、式(8.3.6—47)可更近似地求得同步补偿器容量。

(3)经验估算法：

一般船舶航行工况时，负载总的功率因数不低于 0.7，根据实际经验，功率因数 $\cos d_L$ 为 0.7～0.8。

则 $S_{SC} \approx Q_{SC} \approx P_L[0.68+\tan 36.87]=1.43P_L=1.4P_L$

$S_{SC} \approx Q_{SC} \approx P_L[0.68+\tan 36.87]=1.7P_L$

∴
$$S_{SC} \approx (1.4 \sim 1.7)P_L \quad (8.3.6—48)$$

p　　又因　$\cos Q_{SG} \approx \cos\alpha \approx =1$

$$S_{SG} \approx P_{SG} \approx P_L \quad (8.3.6—49)$$

$$\therefore \quad S_{SC} \approx (1.4 \sim 1.7)S_{SG} \quad (8.3.6—50)$$

$$\therefore \quad S_{SG} \approx (0.7 \sim 0.6)S_{SC} \quad (8.3.6—51)$$

因此若船舶负载功率因数为(0.7～0.8)时，同步补偿器的容量近似地估算为船舶航行期间有功功率的(1.4～1.7)倍。或同步补偿器容量近似地为轴带发电机容量的(1.4～1.7)倍。反之轴带发电机容量为同步补偿器容量的(0.6～0.7)倍。

3　晶闸管轴带发电机装置的控制系统

在船舶晶闸管轴带发电机系统中，比较典型的系统如图 8.3.6—10 所示。该控制系统主要可以分为两部分

1)电压和无功功率自动控制系统

同步补偿器 2、电压自动调整器 4。

2)频率和有功功率自动控制系统

(1)励磁电流自动控制:

①触发器锯齿波斜率自动补偿器:32、33、27。

②频率特性斜率函数发生器:30、31。

③频率调节器:35、25、11、41。

④励磁电流调节器:26、27、28。

⑤励磁电流极限值控制器:29、30、34。

(2)逆变角的自动控制:

①触发器锯齿波斜率自动补偿器:11、24、15。

②逆变角调节器:13、15、16。

③轴带发电机功率函数发生器:17、18、36、37、12。

④逆变角极限值控制器:19、20、21、22、23、38、39、11、40。

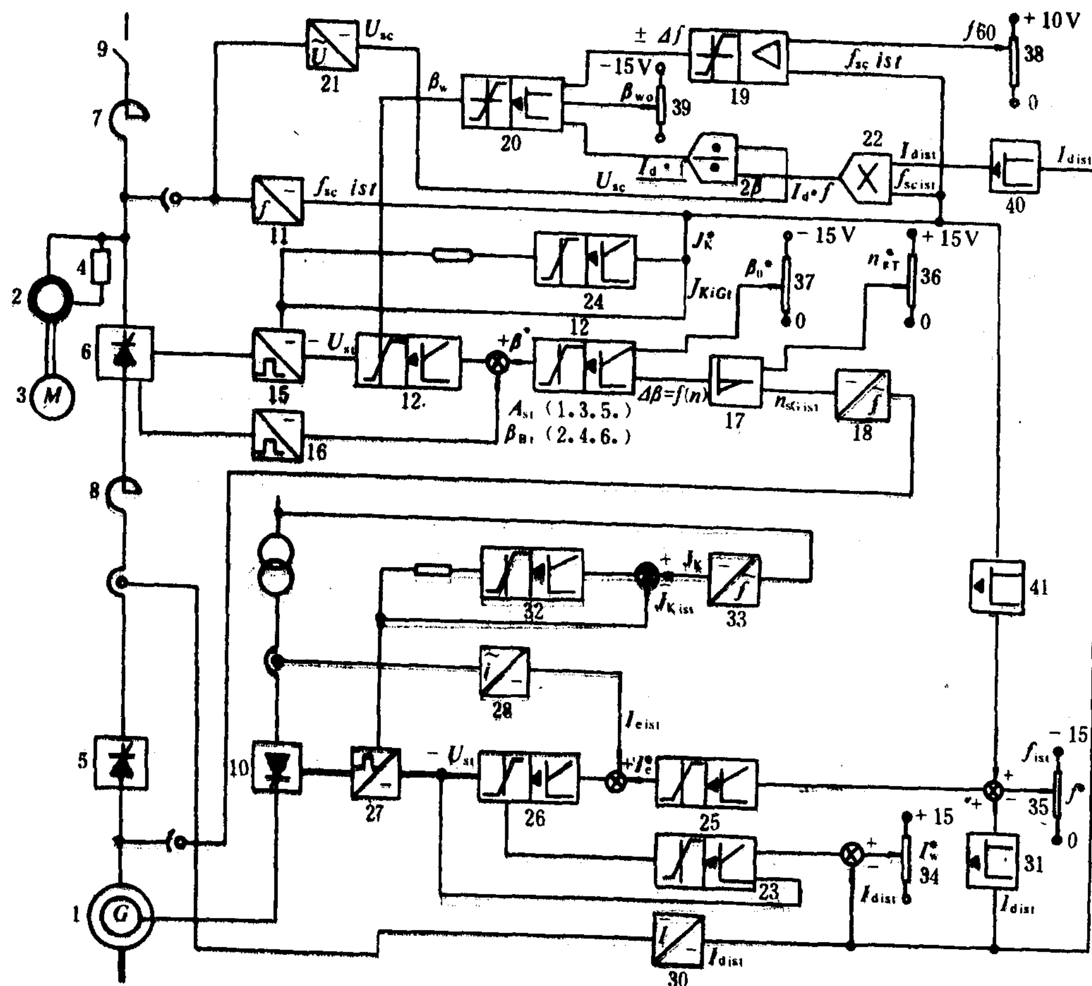


图 8.3.6—10 晶闸管轴带发电机系统图

3.1 电压和无功功率控制系统

晶闸管轴带发电机控制系统的主要任务是在主机转速变化时,保证船舶电网电压、频率恒

定。

电压由同步补偿器及其电压自动调节器进行调节，它和一般船舶电站电压自动调节的原理相同。

同步补偿器在晶闸管轴带发电机系统中不仅起着特别重要作用，而且具有特殊的功能：

1)同步补偿器供给晶闸管逆变器和全船用电设备所需的无功功率。

在船舶可控硅轴带发电机系统中，晶闸管逆变器只能向船舶电网供给有功功率。而在逆变过程中，它所需要的无功功率，由同步补偿器供给。此外，更重要的是它还要供给全船所需的无功功率。因之同步补偿 器是一个无功发电机。

此外，同步补偿器尚有另外两种运动方式

(1)同步补偿器经离合器由柴油机拖动，在额定功率输出范围以内，拖动同步补偿器至额定转速，即切断离合器，同步补偿器供给全船及晶闸管逆变器所需无功功率。主机转速低于40％n_N(或60％n_N)，接通离合器，这时同步补偿器以同步发电机状态运行，向全船供电。

(2)轴带发电机装置和辅助发电机并联运行，辅助发电机除供给全船负载和逆变器无功功率外，尚可供给船内负载的部分有功功率。

2)同步补偿器及其自动调压器自动维持电网电压恒定。

同步补偿器电 压的变动主要由无功负荷引起。当其发出的无功功率$Q_{SC}=Q_i+Q_L$时，船舶电网电压保持恒定。当$Q_{SC}<Q_i+Q_L$时则电压下降，当$Q_{SC}>Q_i+Q_L$时，则电压上升。在这种情况下，自动调整励磁，以增加或减少无功功率，保持电压恒定。

3)同步补偿器供给持续短路电流

船舶晶闸管轴带发电机供电的电力系统发生短路故障时，晶闸管逆变器交流侧电压突然降低为零，而整流器整流电压仍为额定值，所以在整流器和逆变器中可能出现很大的短路电流。

由于晶闸管元件的超负荷能力低。为此，在交流侧接入交流电抗器，其主要作用是限制短路电流。逆变器和整流器均能快速封锁脉冲，用以截断短路电 流。但是脉冲的快速封锁总有一定的延时，因此晶闸管元件的容量均选得较大，以便承受过大的电流。此外轴带发电机还未设置阻尼绕组也是为了降低短路电流。其多种措施都是为了保护晶闸管元件不被损害。并避免负载短路时，快速熔断器动作，无法保证继续供电。但在直流回路出现短路故障时，快速熔断器才动作。

但是，当船舶晶闸管轴带发电机发生短路故障时，为了保证持续供电，设有切断短 路电路的保护装置，其选择性切断所需短路电流，则由同步补偿器及其复励磁装置供给。因之，同步补偿器应能在2s钟内，通过3倍轴带发电机装置额定电流的短路电流。

4)同步补偿器电压决定逆变器晶闸管元件的触发时间。

为了实现有源逆变，逆变器交流侧必须接入船舶电网。其触发脉冲以一定的顺序和相位触发晶闸管，使之导通，从而可在直流侧产生逆变电压，因之在触发器中必须有一同步信号电压，它以同步补偿器所维持的电压为基准，确定对应的相位和顺序。

5)限制谐波电流、改善电压波形。

晶闸管元件是一个单向导电的电子阀，逆变器输出的端电压和电流，不是正规的正弦波，以致形成谐波电流进入船舶电网。所以使用晶闸管轴带发电机以后，对于船舶供电系统的谐波污染，是一个需要解决的问题。因为谐波能引起全船异步电动机效率和输出功率的下降，温升增加；谐波旋转磁场造成扭矩变化；频率和轴系固有频率相接近时，引起机械振动的增加；谐波

噪声对于3MHZ以下的信号设备也是有影响的。

系统交流电抗器，可以降低谐波电压的含有率。

增强同步补偿器的阻尼绕组，减小电枢电抗，从而降低谐波电抗，使逆变器进入船舶电网的大部分谐波电流流向同步补偿器，以减少船舶电网中的谐波电流，减少输出电压的谐波含有率。有效地改善电压波形。

6)同步补偿器具有检测频率的功能

对船舶电网而言，晶闸管变流装置尤如一恒流源。当负荷增加时，所需功率暂时由同步补偿器供给，即所需有功电流减少，由其旋转动能供给。因而转速降低，频率也随着降低。负荷减少时，转速升高，频率增加。经过轴带发电机励磁调节系统的自动调节，增加或减少逆变器输出的有功功率，使频率恢复至原来的数值(基本维持恒定)。频率调节的快速性和稳定性，不仅取决于轴带发电机的励磁调节系统、晶闸管变流装置的动态响应特性，也和同步补偿器的惯性力矩密切有关。

所以同步补偿器在频率调节过程中起着频率检测的重要作用。

3.2 频率和有功功率自动控制的基本原理

在晶闸管轴带发电机系统中，如果假设主电路平波电抗器电抗为无穷大，电阻为零，整流器和逆变器晶闸管元件电压降为零，重叠角γ和γ'忽略不计，则整流电压和逆变电压：

$$U_d=\frac{3\sqrt{2}}{\pi}U_{SGL} \qquad U_i=-\frac{3\sqrt{2}}{\pi}U_L\cos\beta$$

$$I_d=\frac{|U_d|-|U_i|}{R_{eq}}=\frac{3\sqrt{2}}{\pi}\frac{U_{SGL}-U_L\cos\beta}{R_{eq}} \tag{8.3.6—52}$$

当$|U_{SGL}|=|U_L\cos\beta|$时，轴带发电机输出一定功率，并维持恒定。船舶电网的频率有一稳定值。

当$|U_{SGL}|>|U_L\cos\beta|$时，则增加有功功率的输出，可使电网频率上升。

当$|U_{SGL}|<|U_L\cos\beta|$时，则减少有功功率的输出，可使电网频率下降。

当主机转速变化时，将整流电压U_d、输出有功功率与电网频率增加或减少。从公式(8.3.6—52)所知，此时可调节轴带发电机励磁电流，或逆变器的逆变角β。如仅调节励磁电流，将会增加轴带发电机的尺寸、重量。仅调节逆变角，功率因数将会降低，增大同步补偿器的容量。考虑两方面的因素，以获得最佳状态，目前的晶闸管轴带发电机系统采用：

1)最小逆变角恒定控制：在额定输出范围内，负载一定。当主机转速上升，$|U_{SGL}|$增加，输出功率和频率随之增加，此时维持逆变器的逆变角为最小值，且保持恒定不变，减小励磁电流，以降低输出的有功功率，以保持频率恒定。反之，则增加励磁电流，提高输出的有功功率，维持恒定的频率。

2)最大励磁电流恒定控制：当主机转速低于基速，使轴带发电机励磁电流为最大值并维持恒定，随着转速的下降，增加逆变角。因而$|U_{SGL}|$和$|U_L\cos\beta|$均按比例下降，使输出有功功率递减，以维持频率恒定。

在正常工作范围内，负载变动时，亦调节轴带发电机励磁电流，以增加或减少输出的有功功率，从而维持船舶电网频率的恒定。

3.3 频率和有功功率控制系统主要控制环节

频率和有功功率控制系统中，包括了两个子系统：励磁电流控制子系统和逆变角控制子

系统，主要控制环节如下：

1)频率调节器：如图 8.3.6—11 所示。其输入信号：

$-U_f^*$——频率给定信号，由电位器 35 给出，其值决定船舶电网的频率；

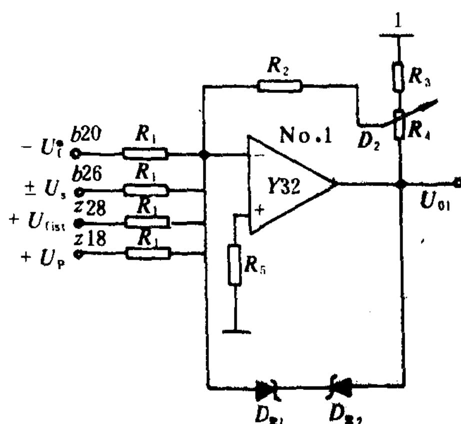


图 8.3.6—11　频率调节器第二级

$+U_{fist}$——频率实际值信号电压；船舶电网的频率由 11、41 检测，获得一直流信号电压，并和给定信号进行比较；

$+U_p$——频率特性斜率函数发生器的信号电压，轴带发电机装置和辅机电站并联运行时，为了正确分配负荷，则必须使轴带发电机装置具有与辅机发电机相似的频率输出特性，频率特性的斜率由 U_p 决定和调整；

$+U_s$—手动调载信号电压，在负荷转移过程中改变 U_s，使轴带发电机系统的频率特性上下移动，同时增大或减小辅机电站中的柴油机油门，以便转移负荷。

频率调节器共分三级；第一级为比例调节器。如图 8.3.6—12。

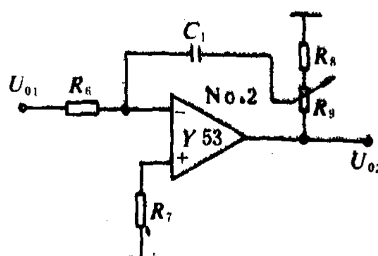


图 8.3.6—12　频率调节器第一级

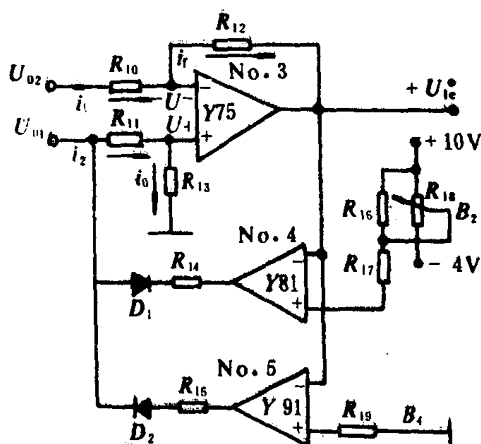


图 8.3.6—13　频率调节器第三级

输出为 U_{01}：

$$U_{01}=-\frac{R_2}{\rho R_1}(-U_f{}^*+U_p+U_{fist}\pm U_p)$$

$$\rho_1=\frac{R_3}{R_3+R_4}$$

第二级为积分放大器。轴入为 U_{01}，输出为 U_{02}。如图 8.3.6—12。

$$U_{02}=-\frac{R_2}{\rho_1\rho_2R_1R_6C_1}\int(U_f{}^*-U_{f_{ist}}-U_p\pm U_s)dt$$

$$\rho_2=\frac{R_8}{R_8+R_9}$$

第三级为带限幅的差动放大器。输入为 U_{01}、U_{02}。其输出为励磁调节的给定信号 $U_{f_e}^*$。如图 8.3.6—13。

$$U_{I_e^*}=K_1(U_f{}^*-U_{f_{ist}}-U_p\pm U_s)+\frac{K_2}{T_f}\int(U_f{}^*-U_{f_{ist}}-U_p\pm U_s)dt$$

$$K_1=\frac{2R_{13}}{R_{13}+R_{11}}\ \frac{R_2}{\rho R_1};\ K_2=\frac{R_2}{\rho_1\rho_2R_1};$$

$$\frac{1}{T_f}=\frac{1}{R_6C_1}$$

综合上述，频率调节器是一个比例积分调节器。NO. 4、NO. 5 为正、负向限幅器，当输出 $+U_{I_e^*}>U_i$ 时，正向限幅起作用。NO. 4 输出为负值，D_1 导通，使 NO. 3 的同相输入端输入信号增加，抵消反向端的输入信号，将输出钳位在 U_{B2} 上，使正向输出限幅。调整 U_{b_2}，即可以改变其限幅值。反之 $U_{I_e^*}$ 由正变负，NO. 5 的同相输入端接地，使 NO. 3 的输出为零伏。

2)励磁电流调节器；如图 8. 3. 6—10 中 26、27、28 所示。

励磁电流调节器的给定信号电压为频率调节器的输出信号 $U_{I_e^*}$。轴带发电机的励磁电流经 28 检测变换后为其负反馈信号 $-U_{I_{eist}}$，二者比较后，经励磁电流调节器，形成励磁电流为调节对象的闭环控制。其输出为 $-U_{st}$，即为控制电压，送至励磁用晶闸管整流装置中，进行励磁电流的控制，从而实现轴带发电机系统的频率及有功功率的自动控制。

3)频率特性斜率函数发生器 30、31。

柴油发电机具有一定有差调速特性。为了使轴带发电机装置和柴油发电机稳定地并联运行，保证确定的功率分配和允许的频率静差。则必须使轴带发电机装置的频率特性为有差频率特性，并使其斜率与前者相接近。为此设置了一确保频率特性静差的控制环节。如图 8. 3. 6—14 所示，它实际上是一比例调节器，直流回路电流经 30 检测转换，送入该调节器，输出为 U_p：

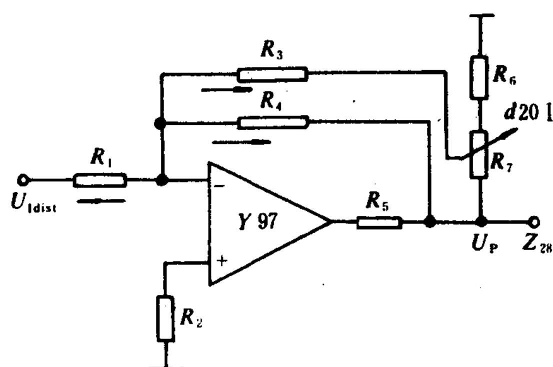


图 8. 3. 6—14 频率特性静差调节器

$$U_p=\frac{U_{I_{dist}}}{R_1}\ \frac{R_3R_4}{R_3+\rho R_4}$$

$$\rho_3=\frac{R_6}{R_6+R_7}$$

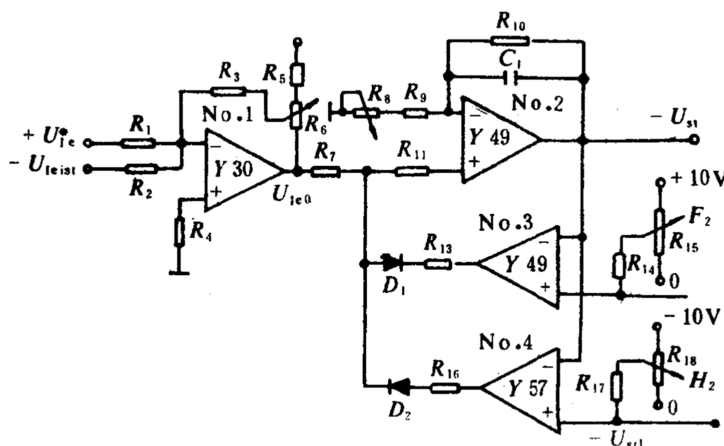


图 8. 3. 6—15 励磁电流调节器

随主回路电流实际值正比例变化的 U_p 被送至主频率调节器输入端，可形成有差频率特性。改变 ρ_3，可调节其斜率，使之和柴油发电机调速特性相接近，以便实现稳定地并联运行。

4）励磁电流调节器如图 8.3.6—10 中 24、28、27。

频率调节器的输出为励磁电流调节器的定值。励磁电流经 28 检测转换为实际信号电压 $-U_{I_{eist}}$，即励磁电流负反馈信号。经比例放大器 NO.1，比例积分放大器 NO.2，输出为控制信号 $-U_{st}$，送入励磁用晶闸管整流装置的触发器中进行励磁电流的控制，从而实现轴带发电机的频率自动控制。如图 8.3.6—15 所示。

第一级：

$$U_{I_{eo}}=K_1U_{I_e^*}-K_2U_{I_{eist}}$$

$$K_3=\frac{R_3}{\rho R_1};K_4=\frac{R_3}{\rho R_2};\rho_4=\frac{R_5}{R_5+R_6}$$

第二级：

$$W_{I_e}(s)=\frac{U_{st}(s)}{U_{I_{e0}}(s)}=-K_{pe}K_{I_e}\frac{1+\tau_{I_e}s}{1+K_{Ie}\tau_{I_e}S}$$

$$K_{pe}=1;K_{I_e}=1+\frac{R_{10}}{R_9}\qquad \tau_{Ie}=\frac{R_9R_{10}}{R_9+R_{10}}C_1$$

U_{st} 为触发器控制电压，其数值决定励磁用晶闸管整流器的控制角 α_{SGe}，换言之，可改变轴带发电机的励磁电压、电流。其正限幅值由 NO.3 的电位器 F_2 决定。NO.4 为负限幅电路，限幅值由——U_{stL}决定。

5）励磁电流极限值控制器，由图 8.3.6—10 中的 29、30、34 组成。

励磁电流极值控制器如图 8.3.6—16 所示。

在轴带发电机系统中，主机转速降低时，需增大励磁电流。转速降低至 $75\%n_N$ 以后，使励磁限定在最大极限值，以便增大晶闸管逆变器的逆变角 β。轴带发电机装置的输出功率取决于整流电压和主电路电流。因此，励磁电流的极限值：重载时不应使轴发装置超过允许的负荷值；无负荷时，还应保持一定的电流值。电流极限控制器的输入信号有（见图 8.3.6—16）：

$+U_{I_{dN}^*}$——轴发装置允许输出功率的给定信号电压；其值取决于逆变器的套数；

$+U_{I_{dT}^*}$——无负荷时，主电路电流的给定值；

$+U_{I_{dU}^*}$——轴带发电机装置允许的过负荷值；

$-U_{I_{dist}}$——主电路电流实际值信号电压。

励磁电流极值控制器实际上是一比例积分调节器，输出为 $-U_{stL}$，送入励磁电流调节器限幅电路。

6）轴带发电机功率函数发生器：如图 8.3.6—10 中 17、18、36、37、12 所示。

根据控制系统要求：主机转速从最大转速 $n_{max}=100\%n_N$ 降至 $75\%n_N$，输出额定功率，其 $\beta=\beta_{min}=30°$ 并维持不变。转速从基速 n_{gr}（即 $n_{gr}=75\%n_N$）降至安全速度 $n_{min}=50\%n_{gr}=37.5\%n_N$ 过程中，输出功率线性递减至 $50\%P_N$，转速降低和功率递减过程中，逆变角从 $\beta=\beta_{min}=30°$ 增加至 $\beta_{max}=60°$。为此在系统中设置了一个 $U_{\Delta\beta}=f(n)$ 函数发生器，也称为功率函数发生器，分二级。

第一级：如图 8.3.6—17 所示。

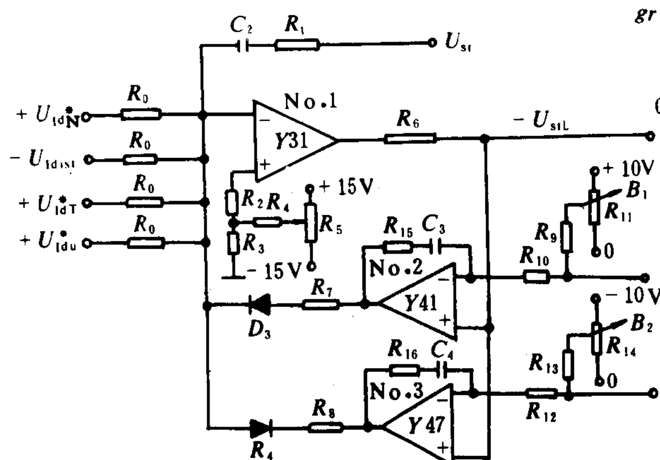


图 8.3.6—16　励磁电流极值控制器

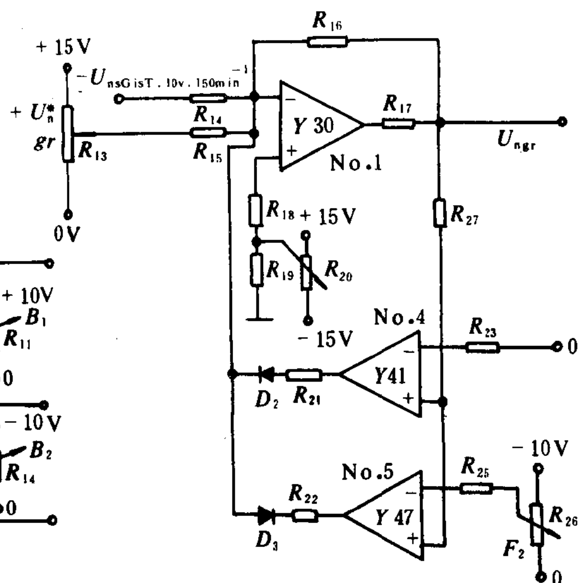


图 8.3.6—17　功率函数发生器第一级

输入信号：$+U_{n^*_{gr}}$——基速信号电压给定值；

　　　$-U_{n_{sGist}}$——轴带发电机实际转速信号电压。

经比例放大器 NO. 5：

$$U_{n_{gr}} = -R_{16}\left(\frac{U_{n^*_{gr}}}{R_{15}} - \frac{U_{n_{SGist}}}{R_{14}}\right)$$

$|U_{n_{SGist}}| \geqslant |U_{n^*_{gr}}|$时；$U_{n_{gr}}=0$、$\Delta\beta=0$

$|U_{n_{SGist}}| < |U_{n^*_{gr}}|$时；$|U_{n_{gr}}|$、$\Delta\beta$随转速的降低而线性增加。

$|U_{n_{SGist}}| = 0.5U_{n^*_{gr}} - U_{n_{gr}} = -9V$；$\Delta\beta = 30°$

其输出为 $\Delta\beta=f(n)$如图8.3.6—18①、②。

第二级：如图8.3.6—19 功率函数发生器的输出信号和最小 逆变角给定值输入 NO.2，其输出 为逆变角调节器的给定信号电压。

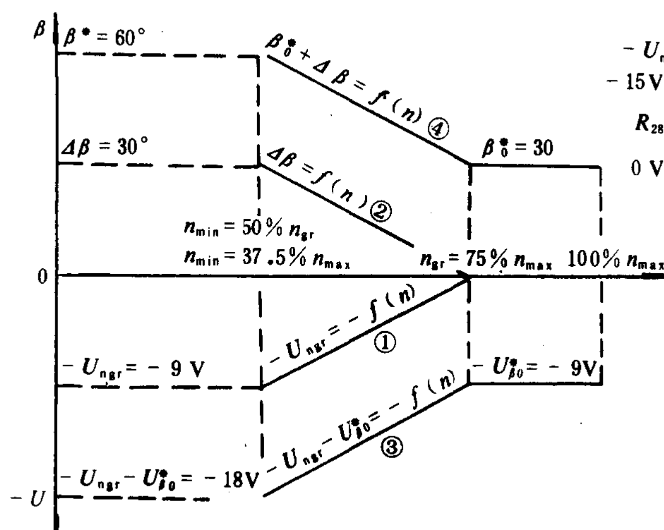


图 8.3.6—18　$\Delta\beta=f(n)$；$\Delta\beta+\beta_0=f(n)$

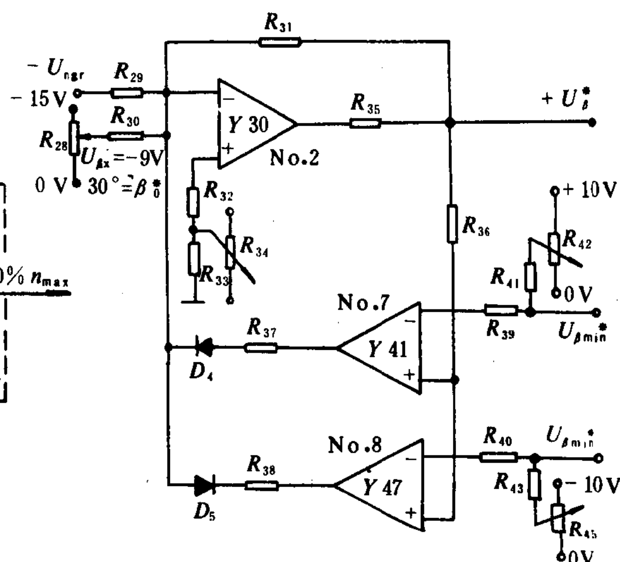


图 8.3.6—19　功率函数发生器第二级

$-U_{n_{gr}}$ —— 功率函数发生器输出；

$-U_{\beta_0}$ —— 最小逆变角给定值，$U_{\beta_0^*}=-9V$；最小逆变角为 30°。

$$U_\beta^*=-R_{31}(-\frac{U_{\beta_0^*}}{R_{30}}\frac{U_{n_{gr}}}{R_{29}})$$

$$\because R_{30}=R_{29};\frac{R_{31}}{R_{30}}=0.5$$

$$U_\beta{}^*=-0.5(-U_{\beta_0^*}-U_{N_{gr}})$$

当
$$n_{max}\geqslant n_{SGist}\geqslant n_{gr};$$

$$U_{n_{gr}}=0;-U_{\beta_0^*}=-9V;$$

$$U_\beta{}^*=+4.5V;\beta=\beta_{min}=30°$$

当
$$n_{gr}>n_{SGist}>n_{min}=0.5n_{gr};$$

$|U_{n_{gr}}|$、$|U_{n_{gr}}+U_{\beta_0^*}|$、$\Delta\beta$、$\Delta\beta+\beta_0^*$ 均线性增长。如图 8.3.6—18 中③、④。

$$当\ n_{SGist}=0.5n_{gr};$$

$$-U_{n_{gr}}=-9V;-U_{\beta_0^*}-U_{n_{gr}}=-18v;$$

$$U_\beta^*=+9V;\beta=\beta_{max}=60°。$$

$$\beta_0^*+\Delta\beta=f(n);即\ \beta=f(n)。$$

NO.2 尚有正限幅器；使 $U_{\beta^*_{max}}=9v,\beta_{max}=60°$

$$U_{\beta^*_{min}}=4.5V,\beta_{min}=30°。$$

7)逆变角调节器，如图 8.3.6—10 中 13、15、16、所示。

逆变角调节器为一比例积分调节器，输入信号：

$+U_\beta{}^*$ —— 功率函数发生器输出信号电压，$\beta_{min}=30°$时，$U_\beta{}^*=+4.5V$，$\beta=60°$时；$U_\beta{}^*=+9V$；

$-U_{\beta_{ist}}(1、3、5)$、—— $U_{\beta_{ist}}(2、4、6)$ —— 逆变器各桥路晶闸管元件实际逆变角信号电压，30°时；$-U_{\beta_{ist}}(1、3、5)=-2.25V$；$-U_{\beta_{ist}}(2、4、6)=-2.25V$。

经比例系数可调的比例积分调节器：

$$U_{st}=-\frac{K_s}{\rho_s}(U_\beta{}^*-U_{\beta_{ist}}(1、3、5)-U_{\beta_{ist}}(2、4、6))$$

$$-\frac{K_s}{\rho_s}\frac{1}{T_\beta}\int(U_\beta{}^*-U_{\beta_{ist}}(1、3、5)-U_{\rho_{ist}}(2、4、6))dt$$

$$K_s=\frac{R_1}{R_0}\quad T_\beta=R_1C_1\quad \rho_5=\frac{R_2}{R_2+R_3}$$

U_{st} 为逆变器控制电压，送入触发器中，可以自动调节逆变角。负向最小值由最小逆变角极值控制器的输出 电压 $U_{\beta w}=f(U、I_d、f、\Delta f、\beta_{w0})$经 NO.2 限幅。并校正 β_{min}，使之相应地予以增加，其负向最大值由 NO.3 限幅。

8)最小逆变角极值控制器，由图 8.3.6—10 中 19、20、21、22、23、38、11、40 组成。

逆变器的最小逆变角过小时，逆变器虽有较高的功率因数，但易于"逆变失败"。如果增大逆变角，虽可提高逆变的可靠性，但是将降低功率因数。所以最小逆变角的确定要考虑两方面的因素：即提高功率因数和可靠逆变。最小逆变角 $\beta_{min}=30°$，它取决于晶闸管换向时的重叠角 γ'，晶闸管元件关断时间对应的电角度、及安全裕量角。

$$\because \quad \gamma' = \beta - \cos^{-1}\left(\frac{2\dot{I}_d X'_B}{\sqrt{6}\,U_L} + \cos\beta\right)$$

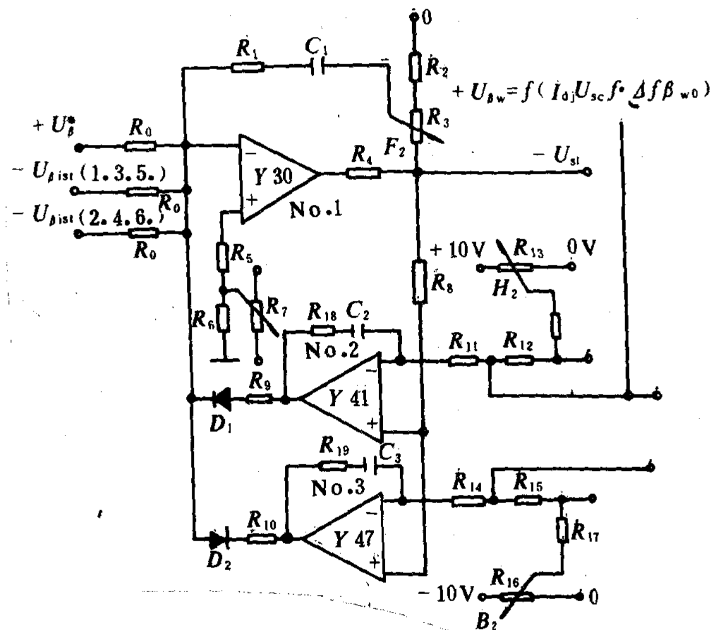


图 8.3.6—20　逆变角调节器

$U_L = U_{sc}$；Usc 为同步补偿器定子电压。

主电路电流和电网频率，引起 $I_d X'_B$ 增加，储存的电磁量也越大，因而换向时的重叠角增加。此外电网电压降低也会使重叠角加大。所以必须调节最小逆变角的限幅给定信号，随主电路电流 I_d、电网等效电抗 X'_B 的增大，电网电压的下降，使最小逆变角亦增大，保证可靠逆变，防止逆变失败。

最小逆变角极值控制器如图 8.3.6—21。

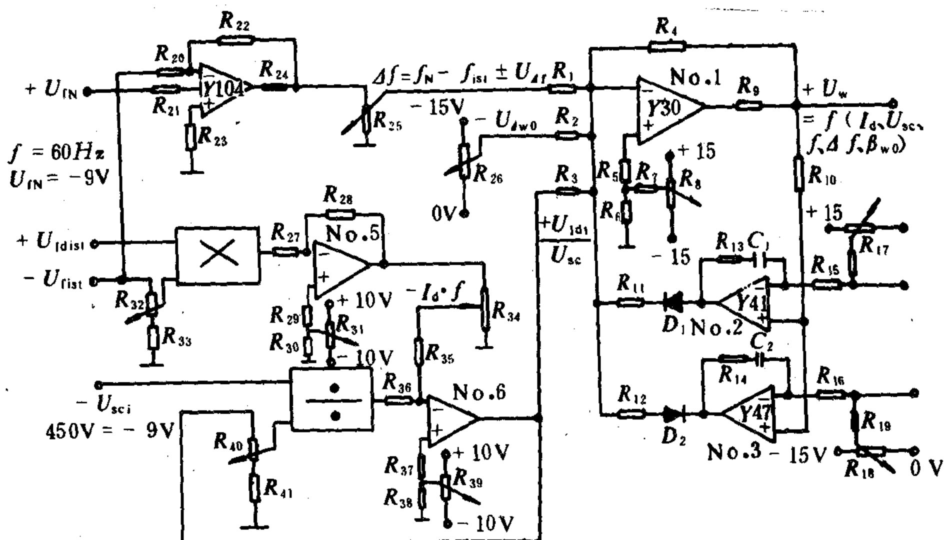


图 8.3.6—21　最小逆变角极值控制器

$-U_{\alpha w0}$——给定值；

$+U_{\frac{I_d \cdot f}{V_{sc}}}$——$U_{I_{dist}}$和 $U_{f_{ist}}$经过乘法器相乘，再除以 U_{sc}；

$$U_{\alpha w}=R_4(\frac{U_{\alpha W0}}{R_2}\mp\frac{U_{\Delta f}}{R_1}-\frac{U_{Idf}/U_{SC}}{R_3})$$

其输出送入最小逆变角调节器的限幅电路中，用以调节最小逆变角的极限值。

3.4 频率和有功功率的自动控制

两种工况：

1）主机转速变动，负载功率恒定：

（1）恒功率输出区域：为最小逆变角 β_{min}恒定控制。主机转速从 $100\%n_N$ 降至 $75\%n_N$ 如图 8.3.6—10 所示：功率函数发生器 17 的输出为零伏；$U_{\Delta\beta}=0$。逆变角给定器 37 所给定的信号电压$-U_{\beta_0^*}=-9V$。经比例放大器 12，其输出为逆变角调节器给定值$+U_\beta^*=4.5V$，它对应最小逆变角 $\beta_{min}=30°$。在恒功率输出范围内，逆变角始终保持最小值，不随主机转速变化。但是最小逆变角由逆变角极值控制器进行调节。当主电路电流 I_d 增大，电网频率升高，电网电压降低，或电网电压变化而出现频差信号电压时，自动调节最小逆变角 β_{min}，以适应这种变化，不致使 β_{min}过小，引起逆变失败。

如果当主机转速下降，轴带发电机电压 U_{gL}、主整流器整流电压 U_d，及逆变器输出有功功率 P_i 均减少。同步补偿器与电网负载的有功功率重新分配，同步补偿器暂将其所储备的机械转动惯性能量（取决于 GD^2）送出，致使转速降低，因而引起电网频率下降；即$+U_{f_{ist}}$下降。频率调节器 25 有一偏差信号，励磁调节 26 的给定值$+U_{I_e}^*$增加，最终使励磁电流调节器输出的控制电压$-U_{st}$加大，从而减少励磁晶闸管整流器的控制角 α_{ge}，使轴带发电机励磁电压 U_{ge}、励磁电流 i_{ge}升高。整流电压与逆变器输出功率维持恒定，从而使同步补偿器转速与电网频率保持原值不变，不受转速的影响。

反之，在此区域内，主机转速升高，根据同样道理，降低励磁调节器输出控制电压$-U_{st}$，使整流电压和逆变器输出功率维持不变，电网频率均恢复至原稳定值。

（2）功率递减区域：最大励磁电流恒定控制；$i_{gem}=const$。自动调节逆变角。

当主机转速下降至 $75\%n_N$，励磁电流调节器输出值$-U_{st}$ 达最大值，并由励磁电流极值控制器 29、30、34 输出信号电压$-U_{stl}$进行限幅控制；它按照逆变器套数、及过负荷给定信号电压维持最大值。换言之，使励磁晶闸管整流器的控制角 α_{ge} 为最小值，轴带发电机的励磁电压及励磁电流达最大值，并维持不变。但是轴带发电机产生的交流电压 U_{gL}、整流电压 U_d 却随转速而降低。

当转速$<75\%n_N$ 后，功率函数及生器 17 开始输出电压。其值随转速的降低而增加，并和$-U_{\beta0}$ 相叠加，使逆变角调节器 13 的给定信号电压 U_β^*增加；由$+4.5V$ 增加至 9V，从而逆变角调节器 13 的输出电压$-U_{st}$ 也增加，逆变角由 $\beta_{min}=30°$增加至 $\beta_{max}=60°$。因而逆变电压 U_i 随转速下降而减少。

因而在此区域：轴带发电机励磁电流 $i_{ge}=i_{gemax}$，维持不变，整流电压 U_d 与逆变电压 U_i随转速的下降而减少，从而使轴带发电机输出功率递减。

2）主机转速恒定、负载功率变化：

在船舶正常航行区域，轴带发电机装置运行于功率恒定区。主机转速恒定，负载增加时，同步补偿器转速降低，将其储备的转动惯性能量暂时送出，电网频率下降，反馈信号电压$+U_{f_{ist}}$减少，产生偏差信号电压，使频率调节器 25 的输出增加，因而励磁调节器输出控制信号电

压也增加，励磁晶闸管整流器的控制角减小，最终增大了轴带发电机励磁、交流电压 U_{gL}、与整流电压 U_d。提高了逆变器输出的有功功率 R_i，使频率恢复到一新的稳定值。由于频率特性斜率函数发生器 31 的输出信号电压 $+U_p$ 随负载而增加，所以电网频率新的稳态值将低于原值。使轴带发电机装置的频率特性为下降的有差特性，便于稳定地并联运行。

当主机转速低于 n_N 以下，轴带发电机停止运转。

参 考 文 献

[1] 李清泉 黄昌宁编著 集成运算放大器原理与 应用，科学出版社，1984 年

[2] [西德] J. 朗霍夫 E. 拉茨，余静涛译 直流调速传动整流和调节技术的实际应用，煤炭工业出版社，1980 年

[3] 李世卿主编：自动控制系统，冶金工业出版社，1987 年

[4] 许大中编著：晶闸管无换向器电机，科学出版社，1984 年

[5] [加拿大] P.C 森著，赵士廉译：晶闸管直流传动，1984 年

[6] [日] 上山直彦编，相赓文 龚向阳译：可控硅电动机的原理与运行，机械工业出版，1983 年

[7] 林渭勋等编著：电力电子电路，浙江大学出版社，1986 年 9 月

[8] 黄俊主编：半导体变流技术，机械工业出版社，1980 年 7 月

[9] 冒天诚 船舶可控硅轴带发电机系统中同步补偿器容量选择确定方法，〈船舶工程〉杂志，1986 年

[10] 冒天诚船舶可控硅轴带发电机控制系统及其同步补偿器功能，〈船电技术〉杂志，1986 年 3 月

[11] 陈伯时编：自动控制系统，机械工业出版社，1981 年

[12] 赵殿甲主编：可控硅电路，冶金工业出版社，1980 年

[13] [苏] Д·Л. 维列捷尼 柯夫著，章以刚译：船舶电力系统暂态过程研究的理论与方法，国防工业出版社，1984 年 12 月

第7章　船舶起锚和系泊装置的电力拖动自动控制系统

1　概　　述

1.1　起锚和系泊装置的种类及其工作特点

起锚和系泊装置是船舶的重要设备之一，它们是用来使船舶安全地停靠于码头或系泊于水面或浮筒上。

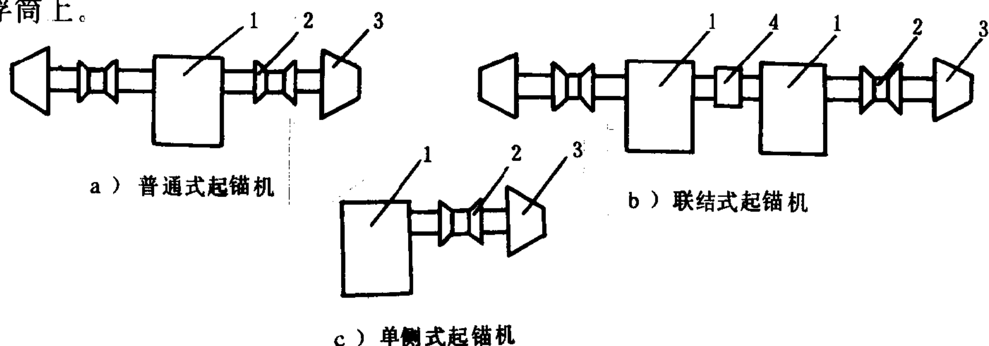


图 8.3.7—1　起锚机分类

a)普通式起锚机；b)联结式起锚机；c)单侧式起锚机

1—原动机及传动机构；2—锚链轮；3—带缆卷筒；4—联轴器。

船舶的起锚、抛锚和系缆等操作通常用绞车进行，绞车依形式分有起锚机(卧式)、起锚系缆绞盘(立式)、系缆绞盘(立式)和绞缆机(卧式)等几种。其中起锚机按结构可分为普通式、联结式和单侧式三种，如图 8.3.7—1 所示。

起锚系缆绞盘按结构可分为单甲板式和双甲板式两种，如图 8.3.7—2 所示。

系缆绞盘按结构可分为单甲板上置式、单甲板下置式和双甲板式三种，如图 8.3.7—3 所示。

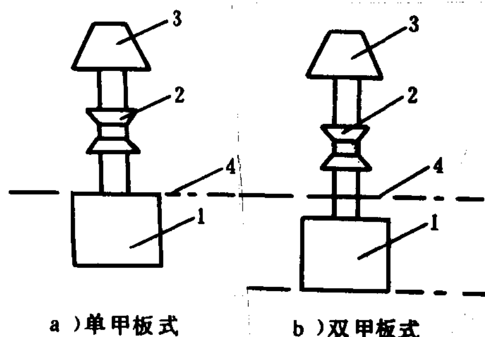


图 8.3.7—2　起锚系缆绞盘分类

—原动机及传动机构；2—锚链轮；3—绞盘；4—甲板

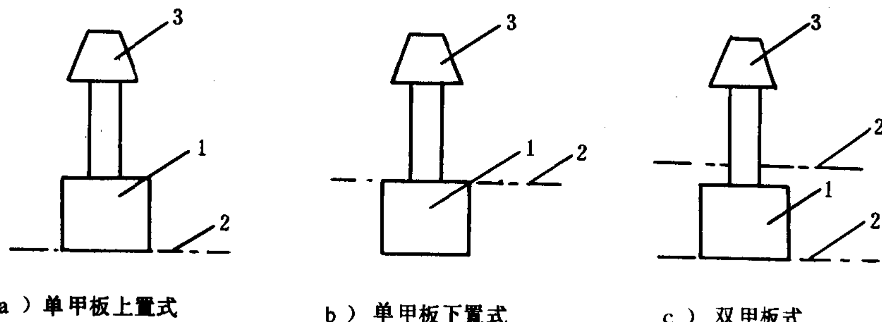


图 8.3.7—3　系缆绞盘分类

1—原动机及传动机构；2—甲板；3—绞盘

锚机依动力形式分有电动、液压和电动液压等几种，较早地还有蒸汽锚机。

电动起锚及系缆绞盘的结构如图 8.3.7—4、图 8.3.7—5、图 8.3.7—6 所示。

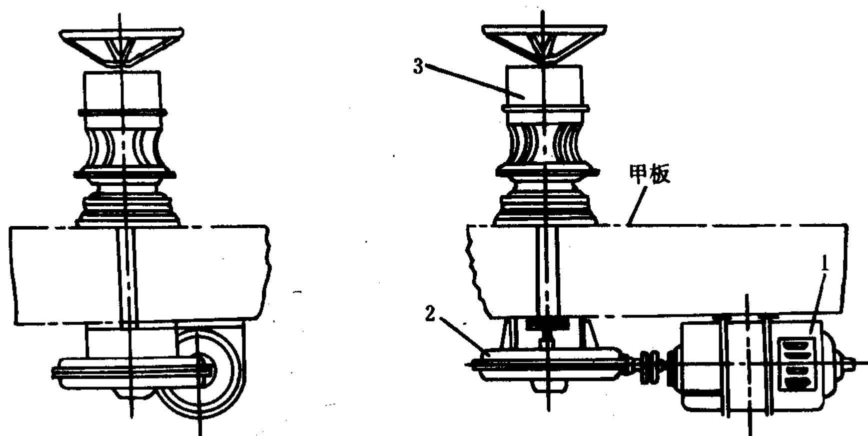


图 8.3.7—4　电动起锚机

1—电动机；2—减速箱；3—绞盘头

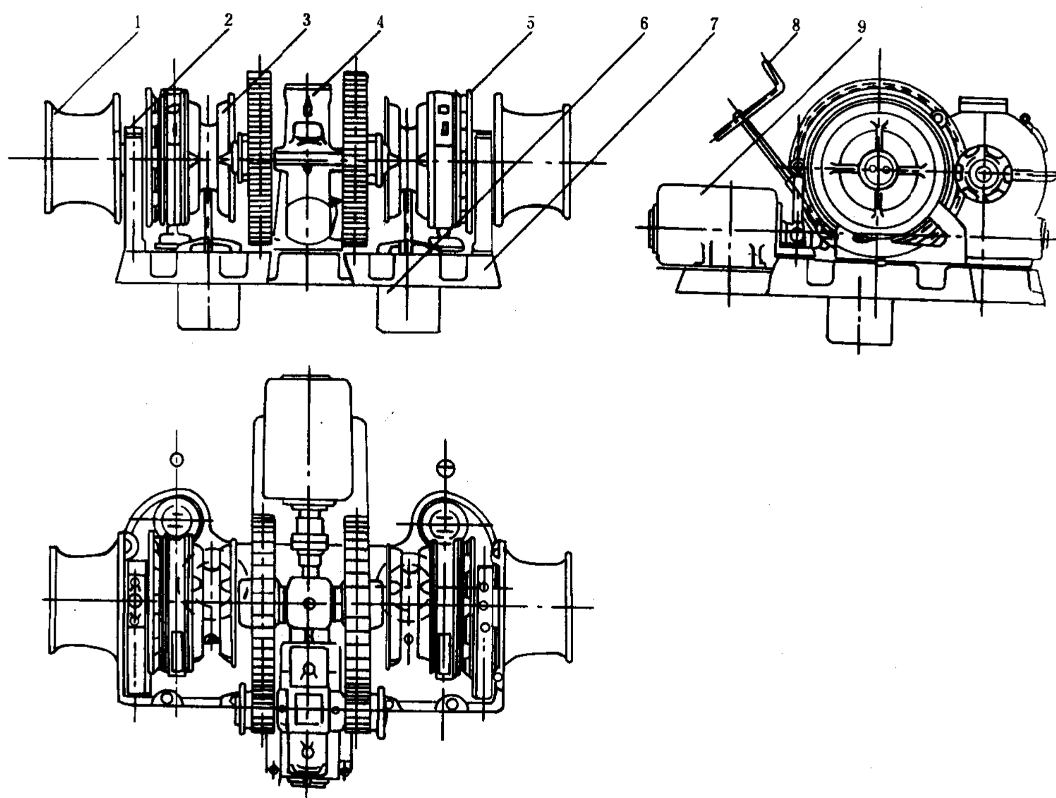


图 8.3.7—5　电动起锚系缆绞盘

1—系缆滚筒；2—墙架；3—链轮；4—减速箱；5—离合器装置；6—锚链管；7—底座；8—刹车；9—电动机

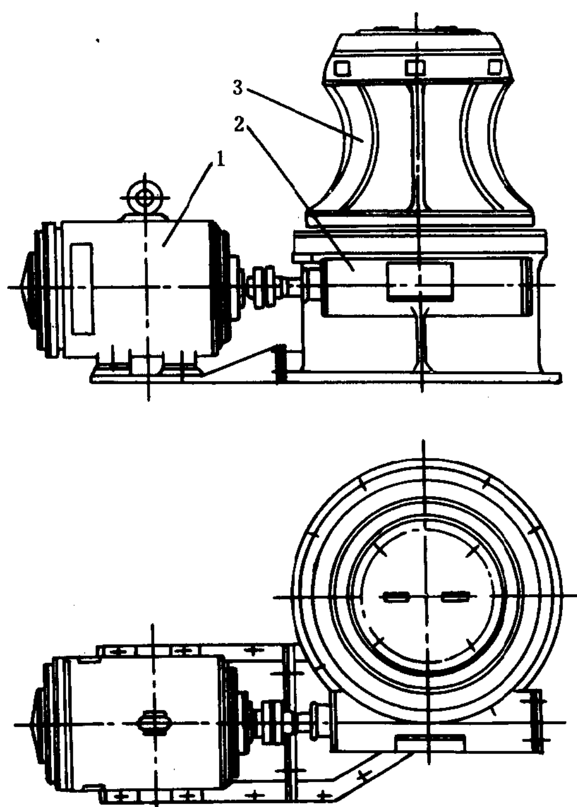


图 8.3.7—6　电动系缆绞盘

1—电动机;2—减速管;3—滚筒

锚机及系缆装置为短时工作制,一般需正反转运行,工作务必安全可靠。锚机在链轮与驱动轴之间应装有离合器,同时应有刹车装置。

1.2　对起锚和系泊装置电力拖动的要求

1)锚机电动机应具有足够大的过载能力,并能在最大负荷下起动。

2)为满足必须的起锚速度和拉锚入锚链孔时的低速,要求有一定的调速范围,一般可在1∶5～1∶3左右。

3)在运行中过载时,电动机应允许堵转,堵转时间限制在0.5～1.0min之内。

4)电动抛锚时由于位能负载的特点,必须考虑有稳定的制动抛锚速 度。

5)对系缆状态,最好有轻载高速的性能,且不小于公称系缆速度的1.5倍。

6)在30min内应能满足起动25次,电动机和控制电器采用30min短时工作制。

7)在操纵器上应设立电源应急开关。

8)在操纵器上应设立监视主电路的电流表(功率在10kW以下的可省去)。

9)操纵器上的手柄或手轮的动作应有明显的标志说明。

10)操纵及维修方便。

1.3　国内电动起锚和系泊装置基本系列简介

1.3.1　电动起锚机

电动起锚机分交直流两种，其机械、电动机、电气控制设备的配套情况如表 8.3.7—1 和表 8.3.7—2 所示

表 8.3.7—1　　**直流电动起锚机配套表**

序号	锚链直径(mm)	锚机主要参数				电动机参数				控制设备		备注
		抛锚深度(m)	起锚速度(m/min)		系缆速度(m/min)	型号	功率(kW)	电压(V)	转速(r/min)	控制器名称及型号	控制箱型号及规格	
			单锚	双锚								
1	15/17	45	12	8	9.6	ZZH—12	3	220	1180	凸轮控制器 KTZ93—2	XDQ_1-Z_2H 220V40A	
2	19/22	50/30	12	8	16.4	ZZYH —21 12	5.5 3	110	1200 1000	凸轮控制器 KTZ93—2	$XXDQ_1-Z_2H$ 220V40A	
3	25/28	60	12	8	空 30/16	ZZYH—22	6		850		XDQ_1-Z_2H 220V40A	
4	31/34	80	12	8	10	ZZKH —32	14	220	1200	凸轮控制器 KTZ93—4	XDQ_1-Z_2H 220V80A	
5	37/40	80	12	8	10	ZZKH—41	22	220	1100	主令控制器 LK911—101	$XHH_2-M_{183}Z$ 220V100A	
6	43/46	80	12	8	10	ZZKH—42	29	220	950	主令控制器 LK911—101	$PH_2-M_{204}Z$ 或 $XHH_3-M_{204}Z$ 220V150A	
7	49/53	80	12	8	10	ZZKH —51	42	220	880	主令控制器 LK911—101		
8	57/62	80	12	8	10	ZZKH—42	2×29	220	950			双电机拖动
9	62/67/72	100	13	12	7.6	ZZH—72	75		520			

表 8.3.7—2　　**交流电动起锚机配套表**

序号	锚链直径(mm)	锚机主要参数				电动机型号				控制设备		备注
		抛锚深度(m)	起锚速度(m/min)		系缆速度(m/min)	型号	功率(kW)	电压(V)	转速(r/min)	控制器名称及型号	控制箱型号及规格	
			单锚	双锚								
1	15/17	45	12	8	空 24/10							
2	19/22	50	17	16	16	JZ_2H—33— 4/16	8.5/2.4	380	1370/310	主令控制器 LK911—103	XHH_1—M[illegible]J 380V25A	
3	25/28	60	12	8	空 30/16	JZ_2H—42— 4/8/16	11/11 /7.5	380	1400/665 /300	主令控制器 LK911—104	$XHH_2-M_{142}J$ 380V50A	
4	31/34	50	12		10	JZ_2H—51— 4/8/16	16/16/11	380	1400/665 /300	主令控制器 LK911—104	$XHH_2-M_{182}J$ 380V100A	

续上表

序号	锚链直径(mm)	锚机主要参数				电动机型号				控制设备		备注
		抛锚深度(m)	起锚速度(m/min)		系缆速度(m/min)	型号	功率(kW)	电压(V)	转速(r/min)	控制器名称及型号	控制箱型号及规格	
			单锚	双锚								
5	37/40	50	12		13.5	JZ$_2$H−52−4/8/16	22/22/16	380	1400/665/300	主令控制器 LK911−104	XHH$_2$−M$_{182}$J 380V100A	
6	43/46	80	12	8	10.4	JZ$_2$H−61−4/8/16	30/30/22	380	1420/670/300	主令控制器 LK911−104	XHH$_2$−M$_{182}$J 380V100A	
7	40/53	80	12	8		JZH−61−4/8/16	2×22/22/16	380	1400/670/300	主令控制器 LK911−104	XHH$_2$−M$_{182}$J 380V100A	
8	57/62	80	12	8	16	JZ$_2$H−61−4/8/16	2×30/30/16	380	1400/670/300	主令控制器 LK911−104	XHH$_2$−M$_{182}$J 380V100A	
9	67/72	100		12	20	JZH−72−4/8/16	60/60/45	380	1450/700/330	主令控制器 LK311−12	PH$_1$−M$_{202}$J 380V150A	

1.3.2 电动起锚、系缆绞盘机

电动起锚、系缆绞盘机分交直流两种，其配套表如表 8.3.7—3 和表 8.3.7—4 所示。

表 8.3.7—3　**直流电动起锚系缆绞盘机配套表**

序号	链径(mm)	起锚、系缆机主要参数			电动机参数				控制设备		备注
		抛锚深度(m)	起锚速度(m/min)(单锚)	系缆速度(m/min)	型号	功率(kW)	电压(V)	转速(r/min)	控制器名称及型号	控制箱型号及规格	
1	15/17	45	18	14.2	ZZYH−12	3	110	1000	凸轮控制器 KTZ93−2	XPQ$_1$−Z$_2$H 110V40A	
2	19/22	50/40	18	16	ZZYH−22	9/6.7	110	1100/1450	凸轮控制器 KTZ93−4	XDQ$_1$−Z$_2$H 110V 80A	
3	25/28	45		16.1	ZZKH−32	14	220	1200	凸轮控制器 KTZ93−4	XDQ$_1$−Z$_2$H 220V80A	
4	31/34	80	18	13	ZZKH−41	22	220	1100	主令控制器 LK911−101	XHH$_2$−M$_{182}$Z 220V100A	
5	46		14.7		ZZYH−41	28	220	1070	主令控制器 LK911−101	XHH$_3$−M$_{204}$Z 220V150A	
6	49/53	150/100	15	15	ZZKH−50	49.5	220	900	主令控制器 LK911−101	220V300A	

表 8.3.7—4 **交流电动起锚系缆绞盘机配套表**

序号	链径 (mm)	起锚、系缆绞盘机主要参数			电动机参数				控制设备		备注
		抛锚深度 (m)	起锚速度 (m/min) (单锚)	系缆速度 (m/min)	型号	功率 (kW)	电压 (V)	转速 (r/min)	控制器名称及型号	控制箱型号及规格	
1	15/17/19	45	18	14.2	JZ_2H_{23} —4/12	4.3/1.7	380	1350/410			
2	19/22	50/40	18	16	JZ_2H_{32} —4/12	6/2.5	380	1350/390			
3	25/28	80	19	19	JZH_{52} —4/16	18/5	380	1270/305	主令控制器 LK911—103	$XHH_1—M_{141}J$ 380V50A	
4	31/34	80	18	18	$JZ—H_{52}$ —4/16	18/5	380	1270/305	主令控制器 LK911—103	$XHH_1—M_{141}J$ 380V50A	
5	37/40	45	10	10.4	$JZ—H_{61}$ —4/8/16	22/22/16	380	1340/750/375	主令控制器 LK911—104	$XHH_2—M_{181}J$ 380V100A	
6	43/46	100	7/15/30	16	$JZ—H_{72}$ —4/8/16	60/60/45	380	1500/750/375			

1.3.3 电动系缆绞盘机

电动系缆绞盘机也分直流与交流两类，其配套情况如表 8.3.7—5 和表 8.3.7—6 所示。

表 8.3.7—5 **直流电动系缆绞盘机配套表**

序号	绞盘机主要参数			电动机参数				控制设备		备注
	额定拉力 (t)	系缆速度 (m/min)	传动比	型号	功率 (kW)	电压 (V)	转速 (r/min)	控制器名称及型号	控制箱型号及规格	
1	1	18	66	ZZYH—21	6		1120	凸轮控制器 KTZ93—2	$XPQ_1—Z_2H$ 220V40A	
2	1.5	12/16	79	ZZH—32 ZZKH—31	9.5	220	880 1180	凸轮控制器 KTZ93—3	$XDQ_1—Z_2H$ 220V60A	
3	3	10	101	ZZYH—32	12		650	主令控制器 LK911—101	220V100A	
4	5	15	146.25	ZZJH—4Y	21		1130	主令控制器 LK911—101	220V150A	
5	10	15	132.3	ZZKH—52	48		900	主令控制器 LK911—101	220V300A	

表 8.3.7—6 **交流电动系缆绞盘机配套表**

序号	系缆绞盘机主要参数			电动机参数				控制设备		备注
	额定拉力(t)	系缆速度(m/min)	传动比	型号	功率(kW)	电压(V)	转速(r/min)	控制器名称及型号	控制箱型号及规格	
1	1	16		$JZ-H_{23}-4/12$	4.3/1.7		1350/410	主令控制器 LK911—103	XHH_1-M[illegible]J 380V25A	
2	1.52			$JZ_2-H_{42}-4/8/16$	11/11/7.5		1400/665/300	主令控制器 LK911—103	$XHH_2-M_{142}J$ 380V50A	
3	2/2.5	11.9/9	87.68/114.2	$JZ_2-H_{41}-4/8/16$	7.5/7.5/5	380	1400/665/300	主令控制器 LK911—103	$XHH_2-M_{142}J$ 380V50A	
4	3	5.35/20.7	102	$JZ-H_{52}-4/16$	1.8/5		1500/375	主令控制器 LK911—103	$XHH_1-M_{141}J$ 380V50A	
5	5	21/10.5/5	121	$JZ-H_{61}-4/8/16$	22/22/16		1340/640/268	主令控制器 LK911—104	$XHH_2-M_{142}J$ 380V50A	
6	7	7	180	$JZ_2-H_{52}-4/8/16$	22/22/16		1340/640/268	主令控制器 LK911—104	$XHH_2-M_{182}J$ 380V100A	

2 起锚和系泊装置的负载图

2.1 起锚的负载图

抛锚时一般船舶是以锚及锚链的重力自由落体进行，这种形式的抛锚速度快。如果抛锚速度太高，会使锚链在链轮上的跳动剧增，使锚链有从链轮中跳出的危险，一般用手动带式制动器来调节抛锚速度。当深水抛锚时，因深度太大，锚及锚链重量很大，下落的速度很高，手动制动器不易控制，所以采用电动抛锚。

起锚时，电动机克服水流、风及锚链阻力收进锚链从而使船移动。正常起锚从开始收绞锚链并把锚收绞到位可分为四个阶段，如图 8.3.7—7 所示。

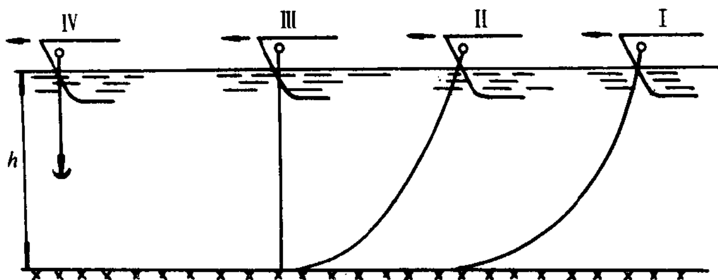


图 8.3.7—7 起锚过程示意

2.1.1 正常起锚

由图 8.3.7—7 所示起锚过程各个阶段作用力分析，可算出起锚过程各阶段的阻力。

1)第一阶段(收起躺在水底的锚链)

在此阶段，船向抛锚处移动。假设悬着的锚链形状不变，则锚链的水平分力为船所受风与水流阻力之和，锚链的拉力 F_1(单位 N)为：

$$F_1 = fg\frac{\gamma_c - \gamma_w}{\gamma_c} \cdot \frac{L^2 + h^2}{2h} \qquad (8.3.7\text{—}1)$$

式中：f＝1.2～1.35——考虑链轮等处摩擦阻力的系数；

g——每米锚链在空气中的重量，N；

γ_c——锚链的重度，可取 7750N/m³；

γ_w——海水的重度，约取 1025N/m³；

L——抛出的锚链长度，m；

h——抛锚深度，m。

2）第二阶段（逐渐张紧悬链）

此阶段悬链形状改变，锚链拉力是逐渐加大的，锚链长度在减小。

3）第三阶段（拔锚出土）

随着悬链的张紧，锚链的拉力增大，直至锚破土时，拉力最大。锚破土时的拔锚力通常以二倍锚重来计算。此时拉力 F_2（单位 N）为：

$$F_2 = f\left[\frac{\gamma_c - \gamma_w}{\gamma_c}(G + gh) + 2G\right] \qquad (8.3.7\text{—}2)$$

式中：G——锚重，N。

4）第四阶段（上绞垂链至收锚到位）

此时锚机所受拉力随锚出土而立即变小，锚机所受拉力 F_3（单位 N）为：

$$F_3 = f\frac{\gamma_c - \gamma_w}{\gamma_c}(G + gh) \qquad (8.3.7\text{—}3)$$

当锚接近锚链孔时，拉力 F_4 为：

$$F_4 = fG \qquad (8.3.7\text{—}4)$$

在单锚破土后，锚机应能同时收绞双锚。绞双锚时锚机上的拉力 $F_{双}$（单位 N）为：

$$F_{双} = f\frac{\gamma_e - \gamma_w}{\gamma_c}2(G + gh) \qquad (8.3.7\text{—}5)$$

由上式可见收绞双锚时的拉力有可能大于单锚破土时的拉力。上述公式中，如是内河则水的比 重可取 1，公式变得简单。

因此，正常起锚时锚机负荷特性曲线如图 8.3.7—8 所示。

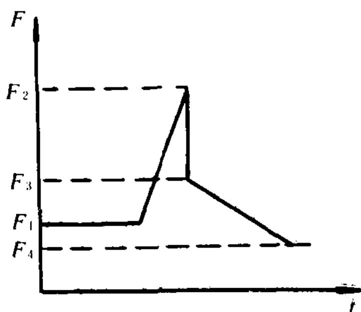


图 8.3.7—8　正常起锚负荷特性

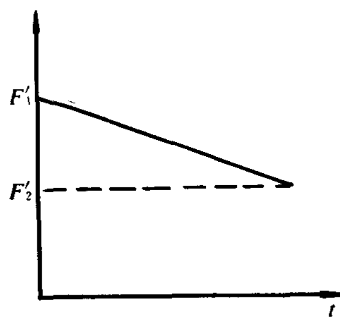


图 8.3.7—9　应急起锚负荷特性

2.1.2 应急起锚

如抛锚深度大于锚链全长，锚抛不到水底，此时锚机应能将悬垂于水中的锚及锚链收起。这种情况的起锚称应急起锚状态。它类似于正常起锚的第四阶段，锚机拉力 F'_1 为正常起锚时的 F_3，结束时的拉力 F'_2 为正常起锚时的 F_4。负荷特性如图 8.3.7—9 所示。

2.2　系泊(绞缆)时的情况

一般起锚机都具有系缆卷筒，可作为系泊时带缆之用，与系缆绞盘、绞缆机作用相同。系缆时受力情况及变化因素很多，较难准确确定。只能依据经验以系缆装置的额定拉力作为计算依据，它的特点是开始时需要很大的拉力，以克服船舶的惯性，以后拉力很快减小。所选用的缆绳其断裂拉力应为额定拉力的 2～6 倍，要求系缆拉力能克服风、水流等阻力。

计算系缆装置电动机的容量时先估算拉力，对于系缆速度，额定负荷时取 15m/min，空载时可取 30m/min。原动机功率 P，单位为 W：

$$P=\frac{F\upsilon}{60\eta} \qquad (8.3.7—6)$$

式中：F—— 系缆拉力，N；

υ—— 系缆速度，m/min；

η—— 系缆机总效率。

对于电动机，η=70%。

3　起锚和系泊装置的继电接触器控制线路

这一类的线路很多，下面列举几个有代表性的线路，它们分为直流与交流系统两类。

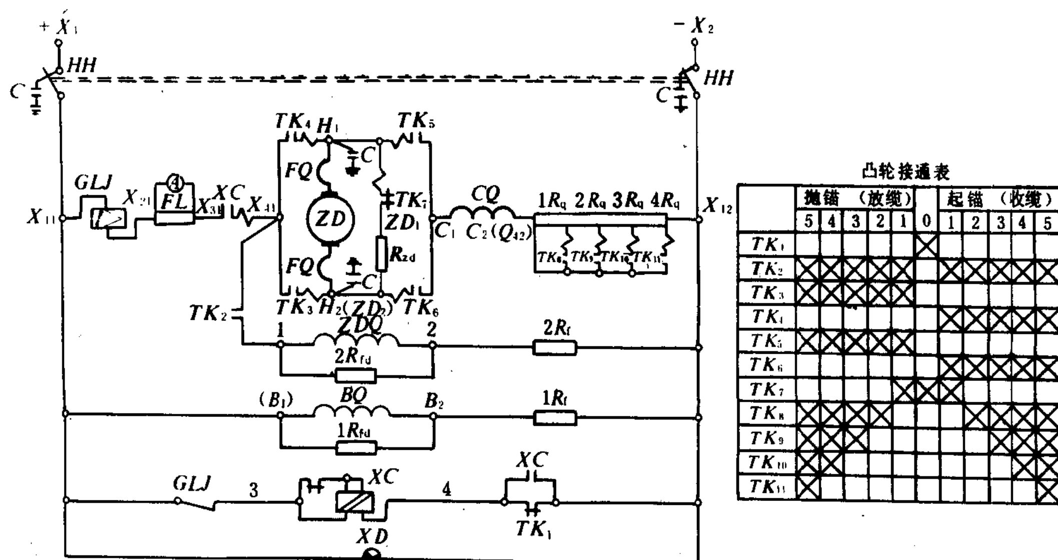
3.1　直 流 系 统

按控制器的形式分有凸轮控制器控制和主令控制器控制两种，前者为直接控制。

3.1.1　凸轮控制器的线路

1)原理线路图

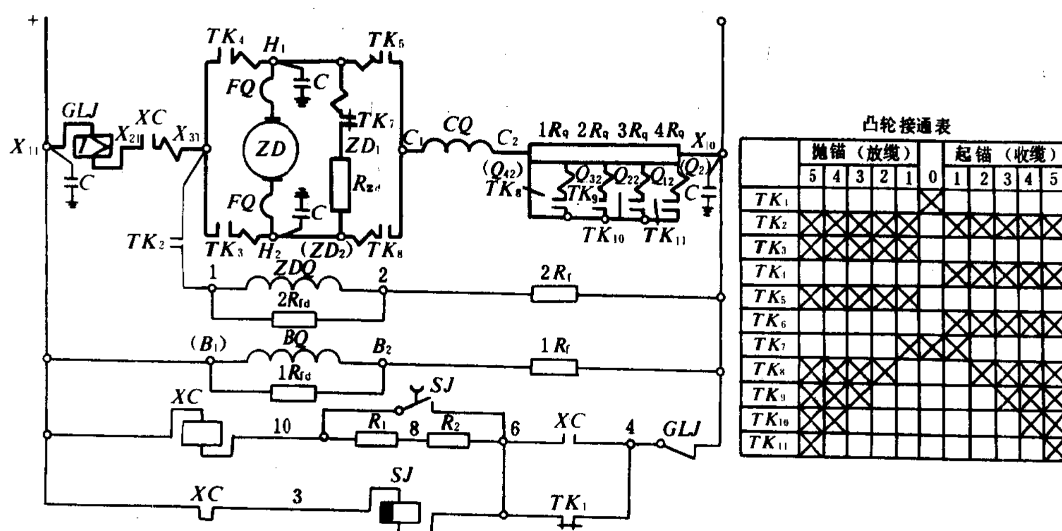
分带护板与不带护板两种，见图 8.3.7—10 和图 8.3.7—11。其区别是采用了不同的线路接触器。原理线路是对称的，分起锚（收缆）及抛锚（放缆）各有五档，为获得低速特性；第一档接成电枢分路，以后为逐级切除串 联在电枢电路中的电阻，以得到不同的速度。励磁电路是固定不变的。



凸轮接通表

	抛锚（放缆）					0	起锚（收缆）				
	5	4	3	2	1		1	2	3	4	5
TK_1						×					
TK_2	×	×	×	×	×		×	×	×	×	×
TK_3	×	×	×	×	×						
TK_4							×	×	×	×	×
TK_5	×	×	×	×	×						
TK_6							×	×	×	×	×
TK_7					×	×	×				
TK_8	×	×	×	×				×	×	×	×
TK_9	×	×	×						×	×	×
TK_{10}	×	×								×	×
TK_{11}	×										×

图 8.3.7—10　直流起锚系缆凸轮控制器（带护板）控制原理图



凸轮接通表

	抛锚（放缆）					0	起锚（收缆）				
	5	4	3	2	1		1	2	3	4	5
TK_1						×					
TK_2	×	×	×	×	×		×	×	×	×	×
TK_3	×	×	×	×	×						
TK_4							×	×	×	×	×
TK_5	×	×	×	×	×						
TK_6							×	×	×	×	×
TK_7					×	×	×				
TK_8	×	×	×	×				×	×	×	×
TK_9	×	×	×						×	×	×
TK_{10}	×	×								×	×
TK_{11}	×										×

图 8.3.7—11　直流起锚系缆凸轮控制器（不带护板）控制原理图

线路中均接有电磁制动器（电磁刹车）的线圈 ZDQ，手轮在零位时电枢电路接成能耗制动线路，以加强制动的作用。

带护板凸轮控制器的原理图中的线路接触器 XC 是双线圈的。原理图中所接电容器是防止对无线电干扰的，线路中有过电流保护（GLJ）和欠电压保护（XC 兼任）。

2)电气设备配套表

分带护板凸轮控制器与不带护板的凸轮控制器两种,其设备配套情况如表 8.3.7—7 和表 8.3.7—8 所示。

表 8.3.7—7 **带护板凸轮控制器控制设备配套表**

序号	电动机参数						凸轮控制器控制箱					电阻箱型号	备注
	型号	功率(kW)	额定电压(V)	额定电A)	额定转速(r/min)	励磁方式	型号	主电路一小时电流(A)	过电流继电器整定值(A)	型号	额定电流(A)		
1	ZZYH—12	3	110	38.5	1000	串励	KTZ 94—111 110V	40	95	XDQ_1—Z_2 H110V	40	ZX97—6 ZX98—2	
2	ZZYH—22	6.7		82	1450			80	200		80	ZX915—2 ZX98—2	
3	Z_2C—51	5.5		60.5	1500	并励		60	140		60	ZX97—12	增加电磁铁 MZZ_2—40S—TH110V 一只
4	ZZH—12	3	220	18.5	1180	复励	KTZ 94—121 220V	40	45	XDQ_1—Z_2H 220V	20	ZX97—6 ZX98—4	
5	ZZH—22	5		30	1030			40	75		40	ZX97—10 ZX98—4	
6	Z_2C—51	5.5		30.5	1500	并励		40	70		40	ZX97—12	增加电磁铁 MZZ_2—40S—TH220V 一只
7	ZZKH—22	6		33.6	1380	复励		40	80		40	ZX97—11 ZX98—4	
8	ZZH—32	9.5		52	880			60	130		60	ZX915—3 ZX98—4	
9	ZZKH—31	9.5		53	1180			60	130		60	同 上	
10	ZZKH—32	14		76	1200			80	190		80	同 上	
11	ZZKH—41	14		71	68			80	180		80	ZX915—4 ZX98—4	

表 8.3.7—8　　**不带护板凸轮控制器控制设备配套表**

序号	电动机参数						凸轮控制器		控制箱			电阻箱型号	备注
	型号	功率(kW)	额定电压(V)	额定电流(A)	额定转速(r/min)	励磁方式	型号	主电路一小时电流(A)	型号	额定电流(A)	过电流继电器整定值(A)		
1	ZZYH—12	3	110	38.5	1000	串励	KTZ93—2	40	XDQ₁—Z₂H 110V	40	95	ZX97—6 ZX98—2	
2	ZZYH—22	6.7		82	1450		KTZ93—4	80		80	200	ZX915—2 ZX98—2	
3	Z_2C—51	5.5		60.5	1500	并励	KTZ93—3	60		60	140	ZX97—12	增加电磁铁 MZZ_2—40S—TH110V 一只
4	ZZH—12	3	220	18.5	1180	复励	KTZ93—2	40	XDQ₁—Z₂H 220V	20	45	ZX97—6 ZX98—4	
5	ZZH—22	5		30	1030		KTZ93—2	40		40	75	ZX97—10 ZX98—4	
6	Z_2c—51	5.5		30.5	1500	并励	KTZ93—2	40		40	70	ZX97—12	增加电磁铁 MZZ_2—40s—TH110V 一只
7	ZZkH—22	6		33.6	1380	复励	KTZ3—2	40		40	80	ZX97—11 ZX98—4	
8	ZZH—32	9.5		52	880		KTZ93—3	60		60	130	ZX915—3 ZX98—4	
9	ZZKH—31	9.5		53	1180		KTZ93—3	60		60	130	ZX915—3 ZX98—4	
10	ZZKH—32	14		76	1200		KTZ93—4	80		80	190	ZX915—3 ZX98—4	
11	ZZH—41	14		71	680		KTZ93—4	80		80	180	ZX915—4 ZX98—4	

3.1.2 主令控制器的线路

用主令控制器控制锚机(绞缆机)的线路很多,从起动级数说有两级、三级和四级起动等。下面仅以三级起动的线路为例说明,见图 8.3.7—12。图中主令控制器正反转(起锚和抛锚)各有五档速度,为按时间原则组成的对称线路。第一档接成电 枢分路以获得低速特性。第二档断开电枢分路的电阻,转速增高。第三档至第五档为逐级切除电枢电路的电阻,第五档时电动机达到正常转速。

当负载发生变化时，负载继电器 FZJ 动作，串入电枢电阻实现自动调速，电动机过渡到第三档特性运转，转速下降直至堵转，以保证有一定的堵转转矩。负载继电器 FZJ 有两个电压线圈（接在控制电路内），一个电流线圈（串在主电路内）。当电动机负载电流超过额定值的 200%～250%时，过电流继电器 GLJ 动作，切继电源。

线路失压或低于额定值的 60%时，电压继电器 LYJ 的触头断开，切断控制电路电源。

主令控制器手柄扳至零位时，电磁制动器线圈 ZDQ 断电，制动器刹车。与此同时，电动机电枢回路接入电阻，构成能耗制动线路，两种作用的结果使电动机立即停车。

为了保证系缆时轻载高速的要求，电路中设置了调速继电器 TSJ。它是一个电流继电器，串在主电路中，其动作值为 50%的额定值。当负载电流小于或等于 20%额定值时，在第五档且轻载时它将 3TR 串入并励绕组中而削弱磁场，达到两倍的额定转速。

另外，线路中设有过电流保护、欠电压保护、短路保护等 环节。

1）原理线路图

见图 8.3.7—12。

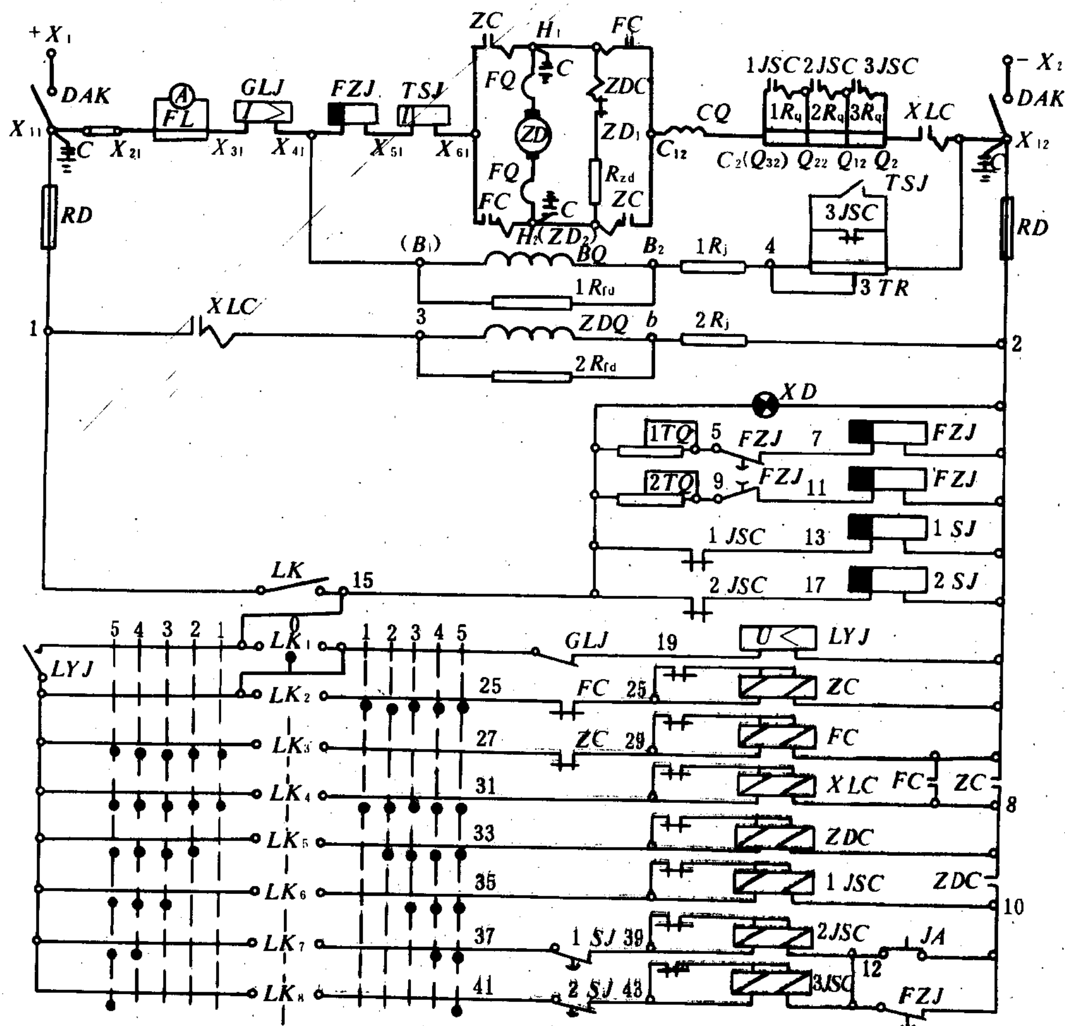


图 8.3.7—12　三级起动锚机主令控制器原理图

2）直流主令控制器控制系列电气设备配套表，见表 8.3.7—9。

表 8.3.7—9　　　　　　　　　　　　**主令控制器控制设备配套表**

序号	电动机参数 型号	功率(kW)	额定电压(V)	额定电流(A)	额定转速(r/min)	主令控制器 型号	电流表量程(A)	控制站 名称	控制站 型号	电阻箱
1	ZZH—22	5	220	30	1030	LK911—101	0～75	直流锚机控制箱220V50A	XHH_2—m143z	ZX97—10 ZX98—4
2	ZZKH—22	6		33.6	1380					ZX97—11 ZX98—4
3	ZZH—32	9.5		52	880		0～100			ZX915—3 ZX98—4
4	ZZKH—31	9.5		53	1180					ZX915—3 ZX98—4
5	ZZH—41	14		71	700		0～200	直流锚机控制箱220V100A	XHH_2—M183Z	ZX915—4 ZX98—4
6	ZZKH—32	14		76	1200					ZX915—4 ZX98—4
7	ZZKH—41	22		118	1100					ZX915—4 ZX98—4
8	ZZKH—42	29		155	950		0～300	直流锚机控制屏或箱(220V150A)	PH_2—M_{204}Z 或 XHH_3—M204z	ZX915—3 ZX95—4
9	ZZKH—51	42		223	880		0～500	直流锚机控制屏(220V 300A)		ZX915—3 ZX915—4 ZX98—5
10	ZZKH—52	48		245	900					ZX915—3 ZX915—4 ZX98—5

3)直流主令控制器控制系列控制站电器、电阻 整定值表，见表 8.3.7—10。

表 8.3.7—10　　　　　　　　　　　　**电器及电阻整定值表**

序号	电动机参数 型号	功率(kW)	电压(V)	电流(A)	转速(r/min)	整定值 过流继电器(A)	负载继电器 动作(A)	负载继电器 释放(延时1s)(A)	调速继电器 动作(A)	调速继电器 释放(A)	磁场调整电阻3TR(Ω)	时间继电器 1SJ(s)	时间继电器 2SJ(s)	时间继电器 3SJ(s)
1	ZZH—22	5		30	1030	75	60	27	15	6	830			
2	ZZKH—22	6		33.6	1380	84	67	26	17	6.7	965			
3	ZZH—32	9.5		52	880	130	104	40	26	10.5	590			
4	ZZKH—31	9.5		53	1180	133	106	38	27	10.5	620			
5	ZZH—41	14		71	700	180	152	55	38	14	530			
6	ZZKH—32	14	220	76	1200	190	152	51	38	15	550	1	0.7	
7	ZZKH—41	22		118	1100	295	236	72	59	23.6	340			
8	ZZKH—42	29		155	950	387	310	100	78	31	260			0.4
9	ZZKH—51	42		223	880	558	446	150	112	45	295			0.4
10	ZZKH—52	48		245	900	613	490	160	123	49	240			0.4

4)四级起动的直流锚机控制原理图

见图 8.3.7—13,其控制原理与前面三级起动的锚机类似,不再重述。

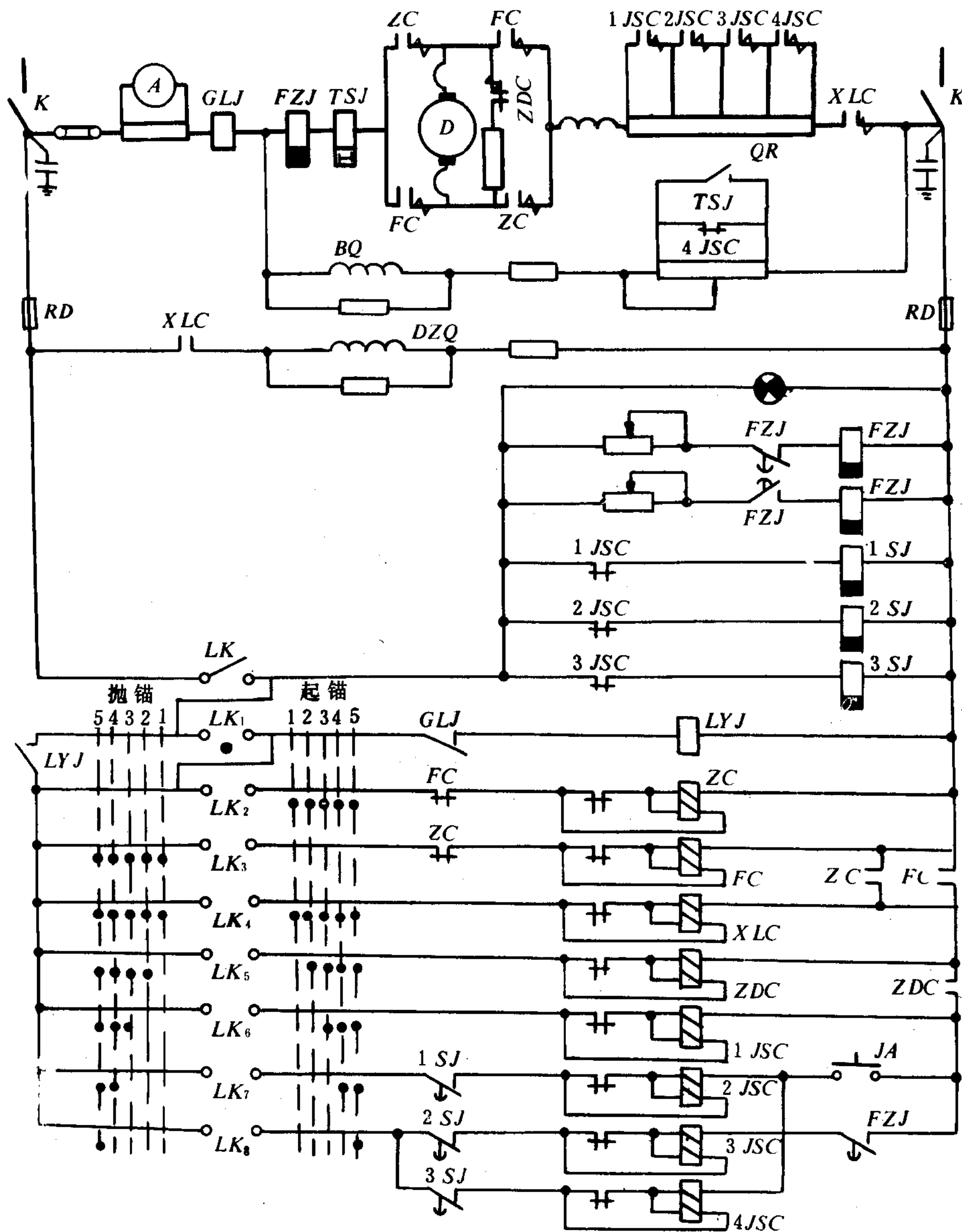


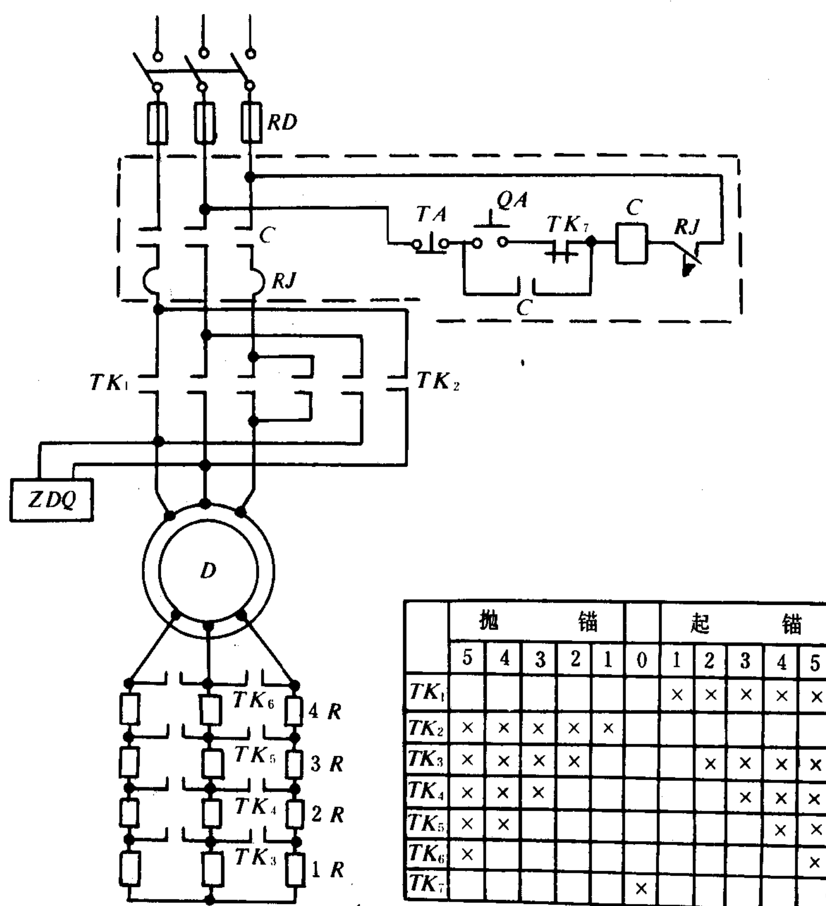
图 8.3.7—13　四级起动锚机电气原理图

3.2 交流系统

有用凸轮控制器、主令控制器和其它形式的控制线路，当前以主 令控制器控制的线路为多。电动机有鼠笼式异步电动机和绕线式异步电动机。

3.2.1 凸轮控制器的线路

用凸轮控制器控制绕线式异步电动机线路可实现五级调速（见图 8.3.7—14）。事实上该线路是凸轮控制器与磁力起动器配合组成，线路中有电磁制动器（ZDQ 线圈），也考虑了零位联锁，有过载、短路和失压（欠压 ）等保护环节。



	抛		锚				起		锚		
	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5
TK_1							×	×	×	×	×
TK_2	×	×	×	×	×						
TK_3	×	×	×	×				×	×	×	×
TK_4	×	×	×						×	×	×
TK_5	×	×								×	×
TK_6	×										×
TK_7						×					

图 8.3.7—14 凸轮控制器控制绕线式异步电动机锚机原理图

3.2.2 主令控制器线路

交流以主令控制器控制的起锚及系泊装置，其电动机有绕线式异步电动机和变极变速鼠笼式异步电动机，且多采用后者。

1）用主令控制器控制的绕线式异步电动机线路：

电气原理图见图 8.3.7—15。线路可实现起锚、抛锚五级调速控制，起锚与抛锚为对称线路，带有电磁制动器 ZDQ，有短路、过载、失压（欠压）及零位联锁等保护环节。当控制器手柄直

接从零位扳至第五档时，转子电阻不会即刻被短接，而仍依加速接触器 1JSC～4JSC 的顺序动作。

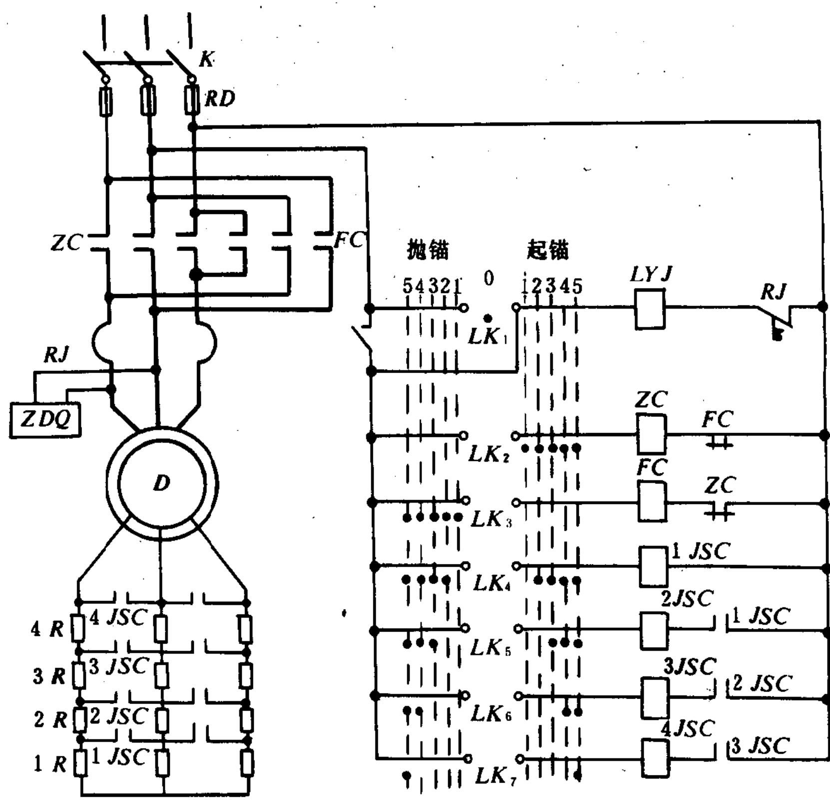


图 8.3.7—15　主令控制器控制的绕线式电动机锚机原理图

2)用主令控制器控制的变极鼠笼电动机线路：

当前交流锚机用主令控制器控制的绝大部分是变极调速原理，变极鼠笼电动机有两速(4/12、4/16)和三速(4/8/16)等几种。以前有电动机带交流电磁制动器与带直流电磁制动器两种，现在多改用直流圆盘式电磁制动器(ZYZ 型)。单速电动机只有一套绕组，双速电动机为两套绕组，三速电动机是两套绕组，一般 4 极为一套，8 极与 16 极合一套绕组。

(1)原理线路图

交流双速锚机(绞盘)的电气原理线路如图 8.3.7—16，所示，交流三速锚机的电气原理线路如图 8.3.7—17 所示。

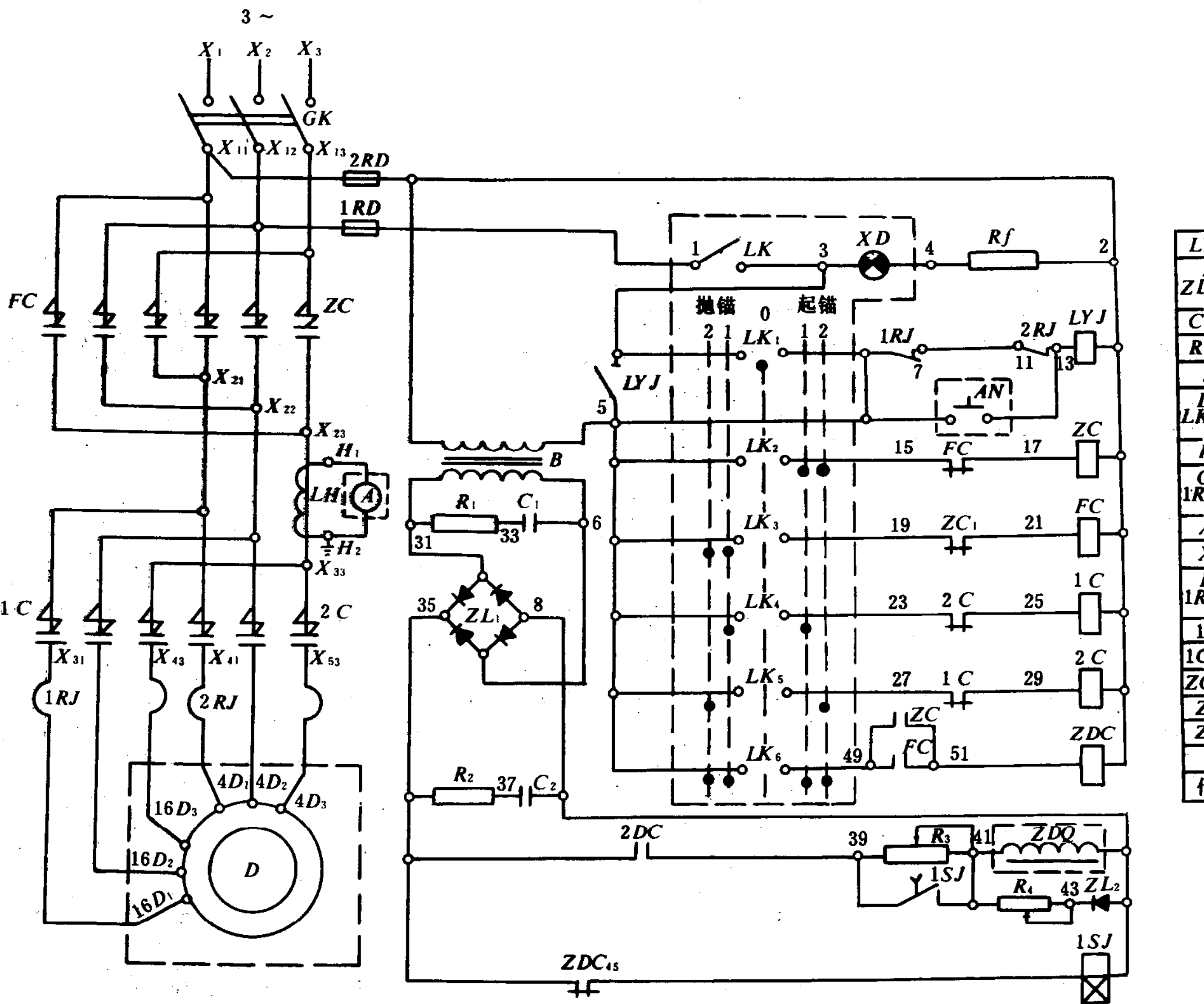


图 8.3.7—16 交流双速锚机电气原理图

代号	名　称
LYJ	失压继电器
A	电流表
ZL1 ZL2	硅二极管
C1C2	电容
R1R2	电阻
B	变压器
LK	电源开关
LK1 LK6	主令控制器触头
Rf	附加电阻
GK	隔离开关
1RD～2RD	熔断器
AN	应急按钮
XD	指示灯
LH	电流互感器
1RJ～4RJ	热继电器
1SJ	时间继电器
1C 2C	速度接触器
ZC FC	方向接触器
ZDC	制动接触器
ZDQ	直流 制动器
D	交流双速电动机



代号	名　　称
LP	连接片
R_1	放电电阻
R_3	维持电阻
ZL_1ZL_2	硅整流器
C_1 C_2	电容
R_1 R_2	电阻
B	变压器
LK	控制电源开关
Rf	附加电阻
1RD2RD	熔断器
AN	应急按钮
A	电流表
XD	指示灯
GK	隔离开关
LK_1-LK_7	主令控制器触头
1LH 2LH	电流互感器
0J	中间继电器
1RJ-4RJ	热断电器
GLJ	电流继电器
1SJ~3SJ	时间继电器
LYJ	零压继电器
	速度接触器
ZC FC	方向接触器
ZDC	制动接触器
ZDQ	直流制动器
D	交流三速电动机

图 8.3.7—17　交流三速锚机电气原理图

上述线路中，三速锚机设置了当高速档，过载时能自动转换到中速档的保护环节。它由过电流继电器(GLJ)来反映 负载的大小，为避免高速档起动电流对过电流继电器的影响，由一时间继电器控制暂时短接过电流继电器。

必须指出，类似的线路很多，其基本原理类似，线路上稍有差别。如三速锚机线路中的时间继电器有的线路中用的是交流，有的线路中用的是直流等等 。

上述交流双速锚机和三速锚机 均是对称线路，它包括有正反转、调速、过载保护和失压保护等环节 。均采用直流电磁制动器，通过变压器经整流后供给 ZDQ 线圈。另外还设置了应急切断开关 LK 和应急按钮 AN，在应急情况下按 AN，电动机仍能在中，低速档运行一段时间。

(2)电气设备配套表

交流双速和三速锚机电气设备配套表见表 8.3.7—11 和表 8.3.7—12。

表 8.3.7—11 **交流双速锚机电气设备配套表**

电动机(交流 380V)				主令控制器		控制箱			
型号	功率(kW)	极数	额定电流(A)	型号	电流表量程(A)	型号名称	热继电器 1RJ	热继电器 2RJ	电流互感器(A)
JZ_2—H—22—4/12	3/1.2	4/12	6.7/7.1	LK911—126 或 LK911—116A	0～30	XHH_1-M_{111} JB 船用交流双速锚机控制箱(380V25A)	JR11/5/5 5A	JR11—90/7 7A	30/5
JZ_2—H—23—4/12	4.3/1.7	4/12	9.5/10.1		0～40		JR11—90/9 9A	JR11—90/11.5 11.5A	40/5
JZ_2—H—32—4/12	6/2.5	4/12	12.9/11.3		0～50		JR11—90/11 11A	JR11—90/14.5 14.5A	50/5
JZ_2—H—33—4/12	8.5/3.5	4/12	17.9/14.8		0～75		JRR11—90/11.5 11.5A	JR11—90/18 18A	75/5
JZ_2—H—32—4/16	6/1.7*	4/16							
JZ2—H—33—4/16	8.5/2.4	4/16	17.6/12.5		0～75		JR11—90/11.5 11.5A	JR11—90/18 18A	75/5
JZ_2—H—41—4/16	12/3.5	4/16	2.5/18.2		0～100	XHH_1-M_{141} JB 船用交流双速锚机控制箱(380V50A)	JR11—90/14.5 14.5A	JR11—90/28 28A	100/5
JZ_2—H—42—4/16	18/5	4/16	35.7/24.2				JR11—90/22 22A	JR11—90/45 45A	

表 8.3.7－12 **交流三速锚机电气设备配套表**

<table>
<tr><th colspan="4">电动机(交流 380 伏)</th><th colspan="2">主令控制器</th><th colspan="4">控　制　箱</th></tr>
<tr><th>型　号</th><th>功　率
(kW)</th><th>极　数</th><th>额定电流
(A)</th><th>型　号</th><th>电流表量程
(A)</th><th>型号、名称</th><th>热继电器
1RJ、2RJ</th><th>电流互感器
1LH(A)</th><th>电流互感器
2LH(A)</th></tr>
<tr><td>JZ$_2$－H
－41－
4/8/16</td><td>7.5/7.5/5</td><td>4/8/16</td><td>16.8/
17.8/26</td><td rowspan="7">LK911－127
或
LK911－110A</td><td>0～75</td><td rowspan="3">XHH$_2$－
M$_{142}$JB
船用交
流三速
起锚机
控制箱
(380V
50A)</td><td rowspan="7">整定值可
按电机与
实际工况
调整</td><td>75/5</td><td>20/5</td></tr>
<tr><td>JZ$_2$－H
－42－
4/8/16</td><td>11/11/7.5</td><td>4/8/16</td><td>24/25.2
/33.2</td><td>0～100</td><td>100/5</td><td>30/5</td></tr>
<tr><td>JZ$_2$－H
－51－
4/8/16</td><td>16/16/11</td><td>4/8/16</td><td>33/35.2
/49</td><td>0～150</td><td>150/5</td><td>40/5</td></tr>
<tr><td>JZ$_2$－H
－52－
4/8/16</td><td>22/22/16</td><td>4/8/16</td><td>43.7/
47.8/71</td><td>0～200</td><td rowspan="2">XHH$_2$－
M$_{182}$JB
船用交
流三速
起锚机
控制箱
(380V
100A)</td><td>200/5</td><td>50/5</td></tr>
<tr><td>JZ$_2$－H
－61－
4/8/16</td><td>30/30/22</td><td>4/8/16</td><td>59/70.2
/96</td><td>0～300</td><td>300/5</td><td>70/5</td></tr>
<tr><td>JZ$_2$－H
－71－
4/8/16</td><td>45/45/30</td><td>4/8/16</td><td>85.5/
100/142</td><td>0～400</td><td rowspan="2">PH$_1$－
M$_{202}$JB
船用交
流三速
起锚机
控制箱
(380V
150A)</td><td>400/5</td><td>100/5</td></tr>
<tr><td>JZ$_2$－H
－72－
4/8/16</td><td>60/60/45</td><td>4/8/16</td><td>114/
135/195</td><td>0～500</td><td>500/5</td><td>150/5</td></tr>
</table>

3.3　继电接触器系统常见故障及其处理方法

继电接触器控制系统发生故障是常事，要迅速而准确地判断故障发生的原因、性质和所在位置(点)。这首先要求充分理解电气控制线路的动作原理及工作过程。其次主要靠在实践中逐步积累经验、吸取教训、提高技术水平。

一般故障的性质大致可分为两类：

第一类是电气元件发生故障，这类性质的故障比较容易寻找。

第二类多属接线错误，或者断线、碰线以及绝缘损坏等。这类故障发生后，往往引起电器元件误动作或不动作，如在复杂的线路中，则寻找故障比较困难。

发生故障后首先应弄清故障现象，通过现象分析引起故障的几种可能性，利用看图查线的方法，逐步进行检查和排除。

下面举一些常见的故障及其排除方法，以供参考。

故障原因	处理方法
1. 操纵凸轮(或主令)控制器，电动机不转：	1.
1)控制器位置不准	1)触头末接触，注意操作
2)电源没接通或熔断器烧断	2)检查或更换熔断器
3)线路接触器线圈烧坏或触头接触不良	3)更换线圈或用砂布打光触头或更换触头
4)过电流继电器常闭触头接触不良	4)修理或更换触头
5)起动调速电阻烧坏	5)重绕或退一匝临时应用。
2. 操纵控制器，电动机只向一个方向转动，另一个方向不转	2.
1)相应方向接触器主触头接触不良或线圈烧坏	1)修理或更换触头、线圈
2)互锁触头接触不良	2)用砂布打光
3)控制器相应触头烧坏或接触不良	3)修理触头
3. 电动机起动电流大，但能起动运转	3.
1)电磁制动器不完全释放或摩擦片安装间隙不符合要求	1)检修或对电磁制动器进行调整
2)电机电刷不在中性线上	2)检查调整
3)直流电机错接成差复励	3)检查后重新改接
4. 电动机起动电流大，不能起动	4.
1)电磁制动器没有释放或不动作	1)检查制动器线圈是否烧坏或串联电阻烧坏
2)电动机单相运行	2)检查修理
3)传动轴与机壳锈死	3)修理
4)电动机电枢短路或错接成差复励	4)重绕电机或更换或调整励磁绕组接头
5. 加负载后过电流继电器易动作	5. 过电流继电器动作值整定较小，应调整到电动机额定电流的 2～2.5 倍动作
6. 制动器摩擦片摩损大	6.
1)摩擦片间隙太小或摩擦片耐磨性能差	1)调整间隙
2)制动器因发热变形	2)经济电阻太小或串入过迟
7. 电动机接线盒处易锈蚀和损坏	7. 加强该部分保养

4　起锚和系泊装置的晶闸管(可控硅)控制线路

某些工程船舶的锚机容量较大，近年来采用直流晶闸管的拖动控制系统已经用在一些船上。其中有两种类型，一类是有触点的反电枢可逆系统，另一类是具有正、反组晶闸管整流装置的反电枢可逆系统。后一种适用于电动机功率更大的场合。

4.1　直流晶闸管锚机(绞缆机)控制线路

原理线路及方框图如图 8.3.7—18 所示。此线路为采用有触点的反电枢可逆系统。晶闸管整流装置的整流电压为 440v。正、反转控制电路是对称的，由主令控制器操纵，正、反向各有五档。第一档至第四档是改变电动机的电压实现调速，此时保持电动机的励磁电流不变。第五档时是保持电动机的端电压不变，而改变励磁电流来调速。

在主晶闸管的控制磁放大器 CFK 的给定绕组(GQ—CFK)中串有电阻和主令控制器的触头 LK_3～LK_{10}，改变给定绕组的电流值，就改变了晶闸管整流装置的输出电压，从而实现变压调速。

2 ZK
1 ZK
B
L_d
LH
DJZ
FCF
CFK
KZ
LWZ
CFH
DJ
U_d
3 ZK
HJ
LK
1 ZC
2 FC
1 FC
2 ZC
DJZ
SOJ
LQ—CFK
GLJ
D
LQ—CFL
QLJ
TQ
YQ—CFK
YQ—CFK
KZL
FCFL
CFL

a）

图 8.3.7—18

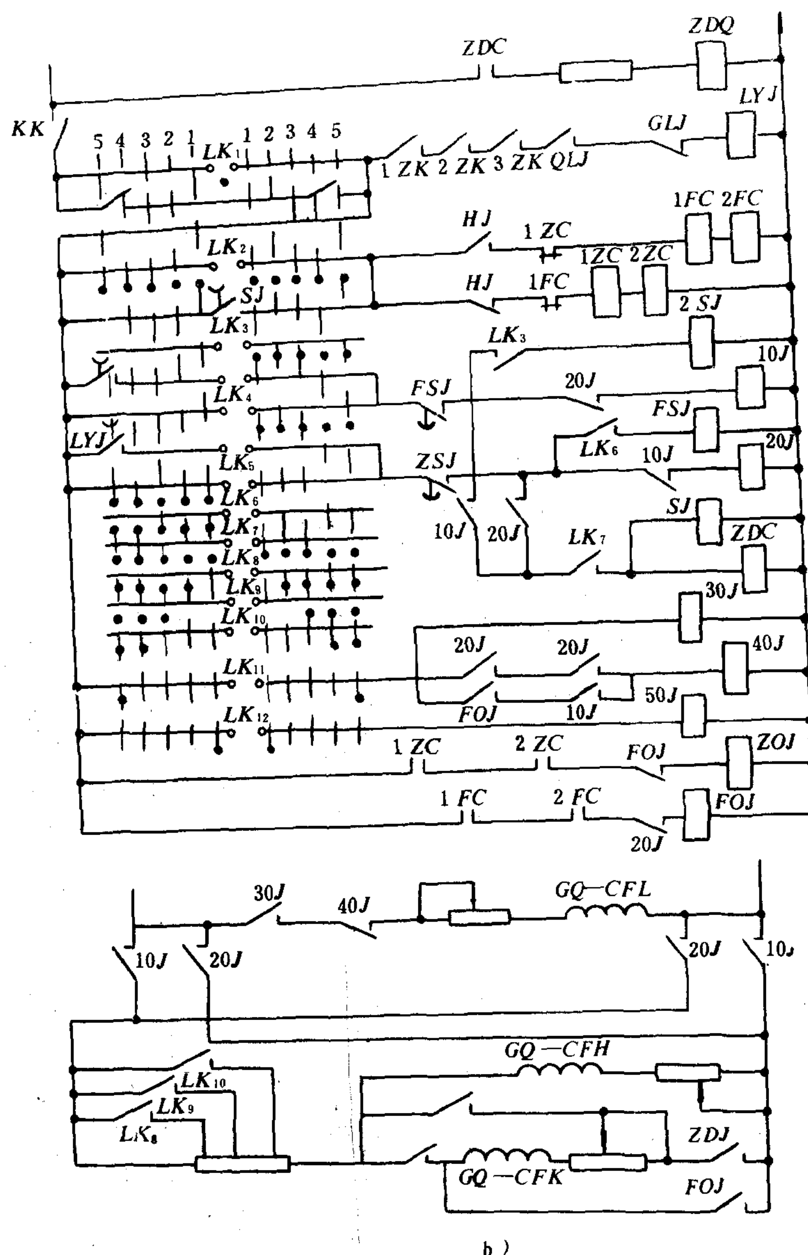


图 8.3.7－18　直流晶闸管锚机（绞缆机）原理及方框图

D－拖动电动机；TQ－电动机他励绕组；DJ－电流检测装置；DJZ－电流截止装置；FCF－触发系统；FCFL－励磁晶闸管触发系统；CFK－主晶闸管控制磁放大器；CFH－逻辑用磁放大器；CFL－控制励磁的磁放大器；LWZ－逻辑换接装置；LQ－CFK－主晶闸管控制用磁放大器电流反馈绕组；YQ－CFK－主晶闸管控制用磁放大器电压反馈绕组；LQ－CFL－励磁用磁放大器电流反馈绕组；YQ－CFH－逻辑用磁放大器电压反馈绕组；GLJ－过电流继电器；QLJ－断磁保护同欠电流继电器；LYJ－电压继电器

电动机的励磁由晶闸管整流装置 KZL 供电，其整流电压由励磁用磁放大器 CFL 控制。从第一档至第四档，只有电流负反馈绕组 LQ－CFL 起作用。当负载电流增加，励磁电流也增加，使转速下降。第五档时，经主令控制器触头 LK11、中间继电器 30J 接入给定绕组 GQ－CFL，

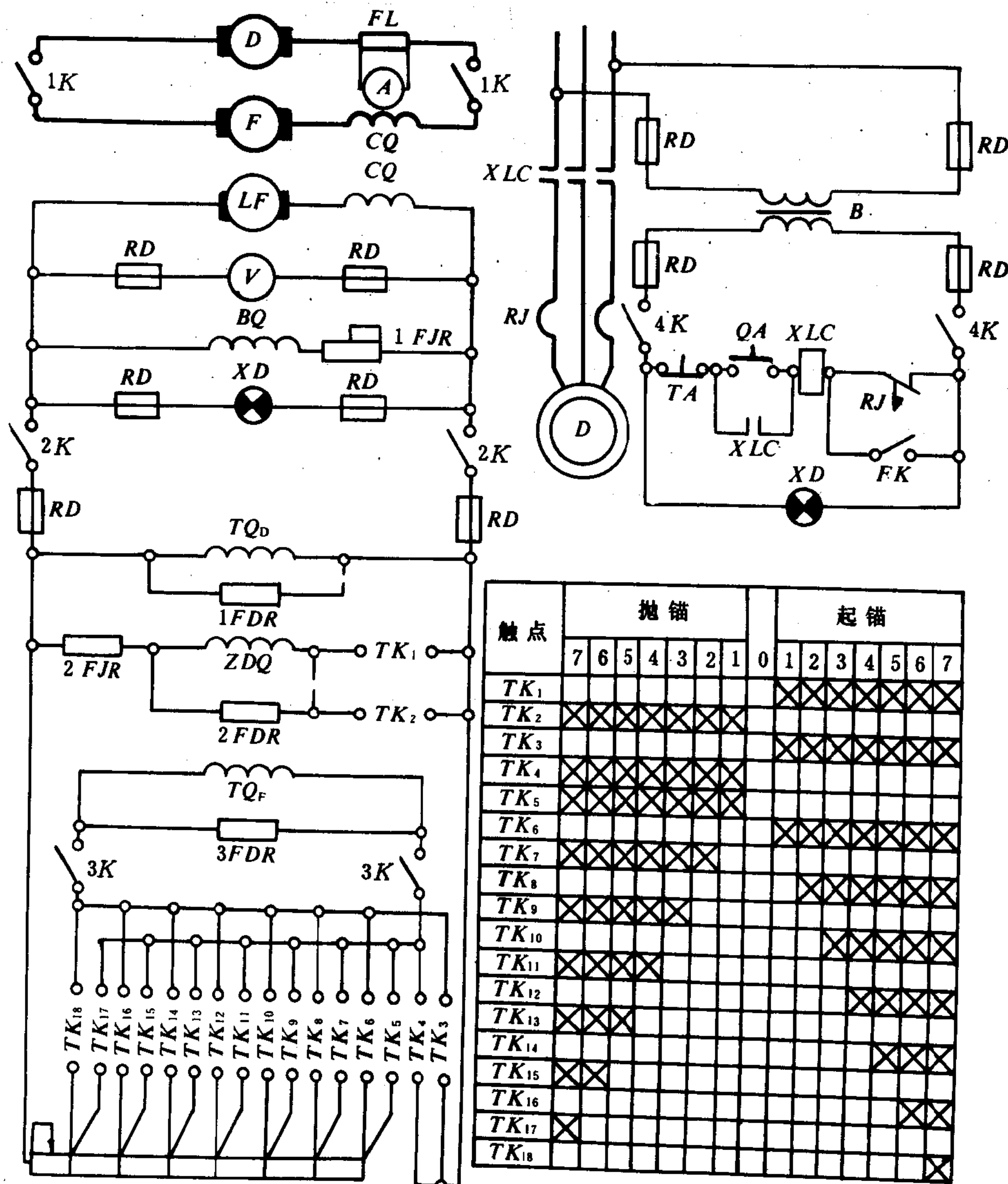
使电动机励磁电流减少，转速升高。

此线路在抛锚过程中能实现再生制动，另外还有电磁制动器。线路设有短路、过载保护、过流保护、零压保护和电动机失磁保护等环节。

另外有一种晶闸管—发电机—电动机系统（DDW—350E 型拖览/起锚绞车）的拖缆机（可作起抛锚用），请参看本篇第十章。

5　起锚和系泊装置的几种控制参考原理图

目前在船舶上使用的起锚和系泊装置各种线路很多，除前面介绍的某些系列产品外，下面仍按直流系统与交流系统列出几种原理电路图。



触点	抛锚							0	起锚						
	7	6	5	4	3	2	1		1	2	3	4	5	6	7
TK_1									×	×	×	×	×	×	×
TK_2	×	×	×	×	×	×	×								
TK_3									×	×	×	×	×	×	×
TK_4	×	×	×	×	×	×	×								
TK_5	×	×	×	×	×	×	×								
TK_6									×	×	×	×	×	×	×
TK_7	×	×	×	×	×	×									
TK_8										×	×	×	×	×	×
TK_9	×	×	×	×	×										
TK_{10}											×	×	×	×	×
TK_{11}	×	×	×	×											
TK_{12}												×	×	×	×
TK_{13}	×	×	×												
TK_{14}													×	×	×
TK_{15}	×	×													
TK_{16}														×	×
TK_{17}	×														
TK_{18}															×

图 8.3.7—19　发电机—电动机系统起锚机原理图

5.1 直流系统

1)发电机一电动机系统控制线路

发电机与励磁机由交流鼠笼式电动机拖动，采用调节发电机他励绕组电流的办法来调节电动机的速度。控制器分起锚和抛锚各7档，有交流电动机的过勒保护及控制电路的短路保护。当过载时，用脚踏开关EK闭合热继电器的触点，使线路仍工作一段时间。控制原理图见图8.3.7—19所示。

2)直流锚机控制线路

原理线路见图8.3.7—20。该线路用按钮控制，正反转各有两级加速，电动机为直流220V、9.5kW、复励电动机。采用能耗动与电磁制动器相结合的刹车装置，有过电流保护及短路保护等。

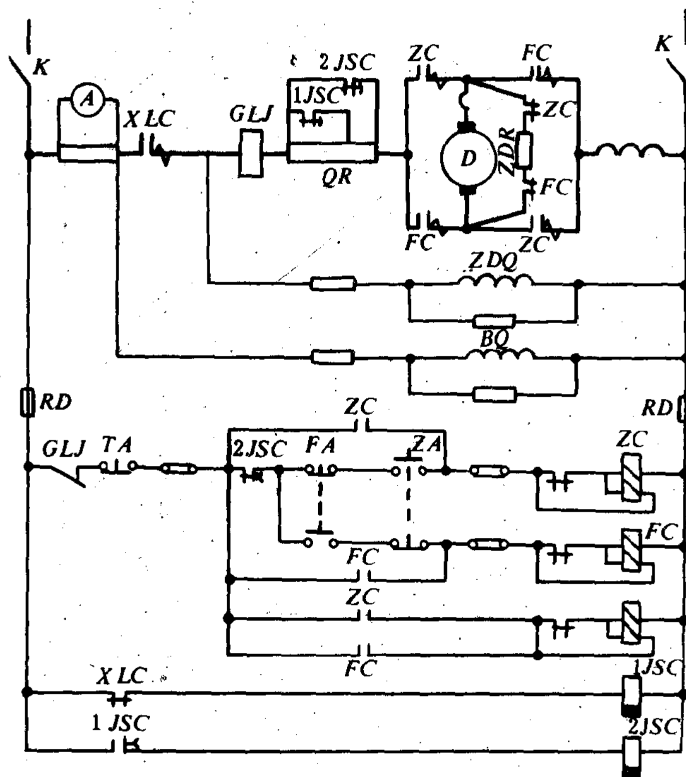


图8.3.7—20 直流起锚机控制原理图

3)直流深水抛锚控制线路

由于水深，一般需电动抛锚，且因重力关系，为限制抛锚速度，电动机工作在制动状态。此线路为正反转不对称电路。见图8.3.7—21。起锚是按时间原则起动由电枢分路至逐级切除电阻加速。而抛锚是逐级增加电枢分路的电阻，以得到较平稳的下降速度。因抛锚长期工作在制动状态，故电阻上的热损耗较大。

图 8.3.7—21　深水抛锚控制原理图

5.2　交流系统

5.2.1　电动液压锚机电气控制部分原理图

介绍两种类型的线路图：

1)电气原理线路见图 8.3.7—22。该线路由按钮控制，电动机为 380V、75kW，用星形——三角形法起动。起动过程由时间继电器控制，线路中有短路、过载等保护。而制动装置、调速等与电气无关。

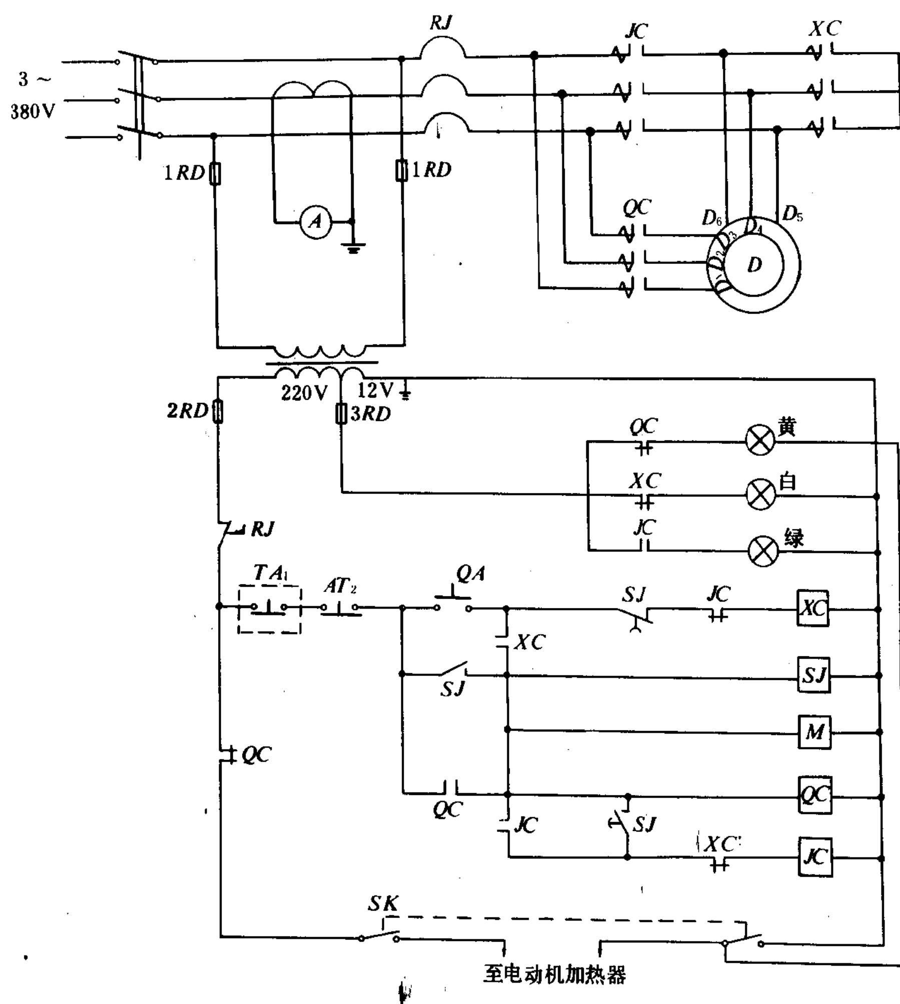


图 8.3.7－22　电动液压锚机电气控制原理图例之一

2)电气原理线路见图 8.3.7－23。该锚机执行机构是液压传动，而控制部分是电动的。由控制室或锚机旁的手柄控制，手柄在零位时，锚机不工作。起锚(收缆)时，手柄扳向一边，液压系统工作，TF_1(TF_2)转动，有信号加至伺服电动机的 AB 绕组上，伺服电动机正转，带动伺服阀运动，以改变油马达的转速，即控制了起锚速度。当接收器与发送器的转子转角相等时，系统即按所需速度起锚。如手柄扳向另一边为抛锚(放缆)，此时伺服电动机反转，带动伺服阀反向运动，接收器反转，则系统以一定速度抛锚。

此线路为某钻井平台锚机电气原理部分，其发送器与接收器实质为一单相电动机。

5.2.2　交流双速锚机(绞缆机)控制线路

见图 8.3.7－24。此原理线路为三相双速鼠笼电动机的线路，该电动机功率为 11/5.5kW，380V、极数为 6/12。靠改变定子绕组($U_1V_1W_1$、$U_2V_2W_2$)接法而获得不同的速度，由主控制器操纵，采用直流电磁制动器，线路设有过载、短路等保护环节。

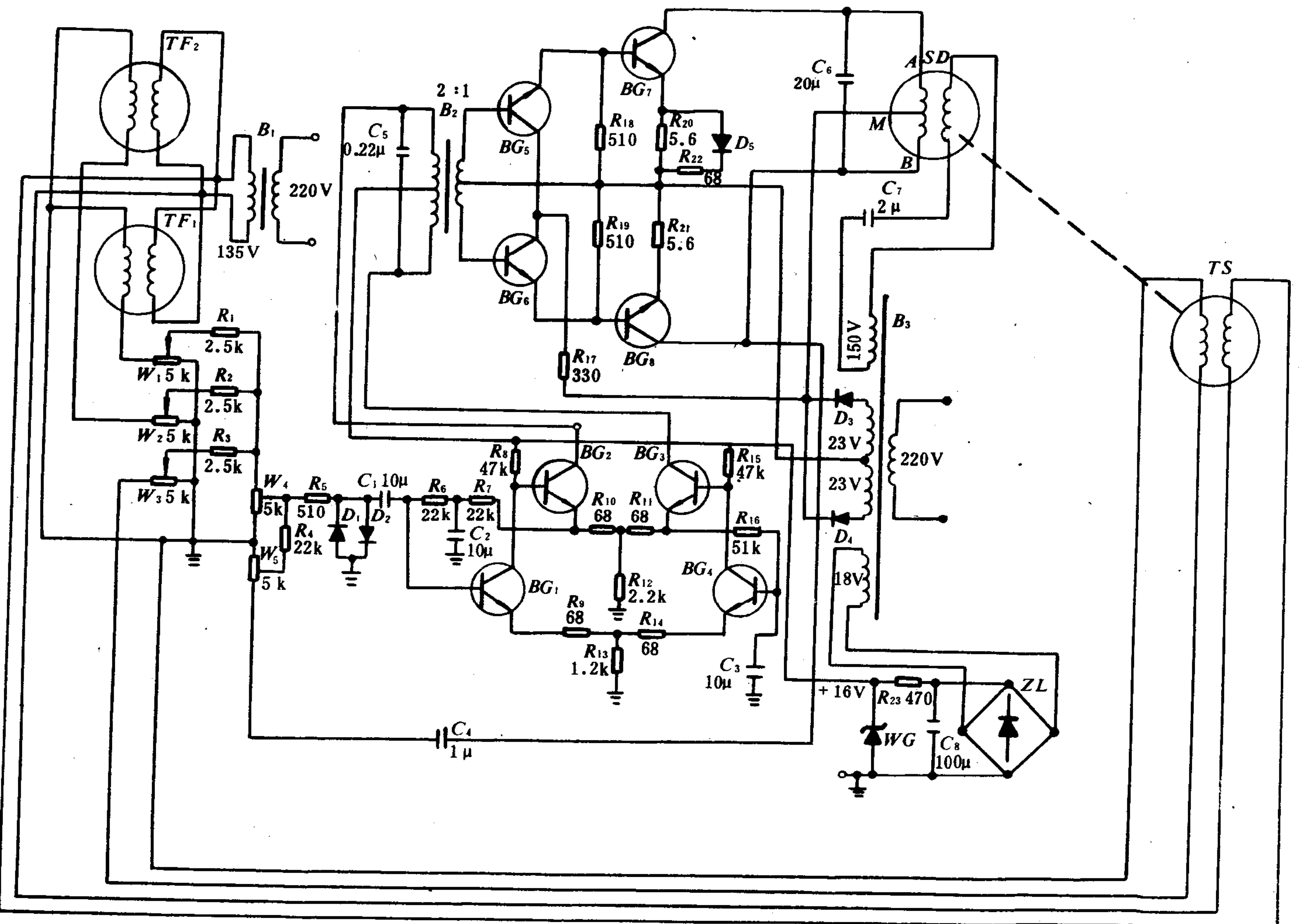


图 8.3.7－23　电动液压锚机电气控制原理图例之二

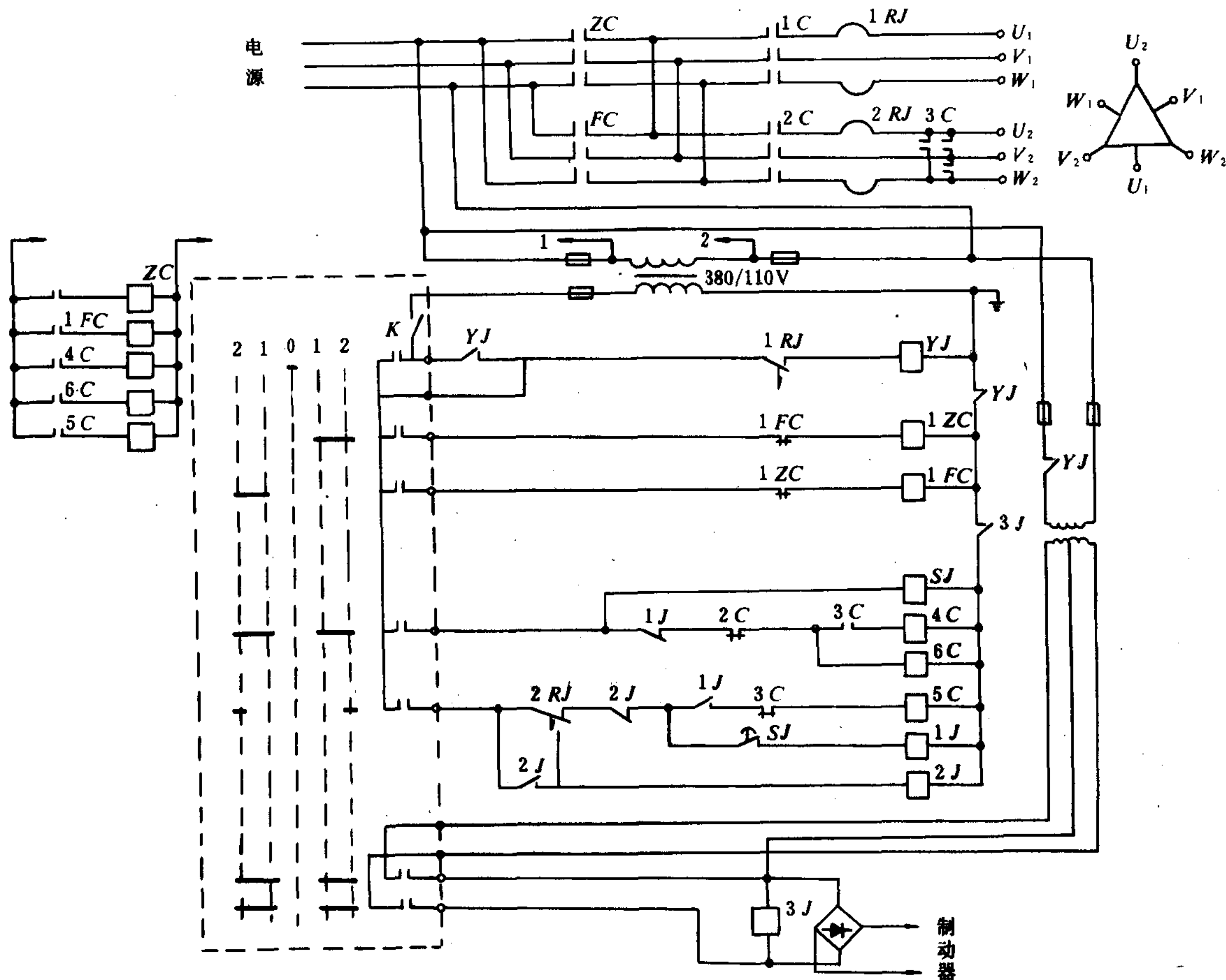


图 8.3.7－24　双速锚机电气控制原理图

参 考 文 献

［1］　船舶设计实用手册编写组编:船舶设计实用手册第五分册电气装置,国防工业出版社,1973年

［2］　上海航道局编:船舶电工手册,上海人民出版社,1975年

［3］　七〇八所“船舶科技简明手册”编写组编:国防工业出版社,1977年3月

［4］　阎永阁、梁继昌、费千编:船舶辅机,人民交通出版社,1985年

［5］　大连海运学院冒天诚编:船舶电力拖动自动控制系统,人民交通出版社1981年

［6］　武汉河运专科学校等四校编:船舶电气设备,人民交通出版社,1986年

［7］　麦崇裔、刘贵全编:船舶机械拖动自动控制,国防工业出版社,1987年6月

第8章　船舶起货机电力拖动控制系统

1　对船舶起货机电力拖动的基本要求

本章介绍船舶电力起货机的电力拖动控制系统。在吊杆式和回转式两大类起货机中，近代应用的拖动控制方式有：变极调速、F－D系统和晶闸管可控硅调速系统。对这些电力拖动的基本要求是：

1)为了提高生产率，必须有较大的调速范围，以便得到较高的空钩速度和较低的"着陆"速度。

2)在下放重物时，必须具有稳定的制动下放速度；对于放下空钩时，则要求电动下降特性。

3)对位能性负载，系统工作应保证安全可靠，必须具有可靠的制动环节。按海船电气设备规范要求，起货机在负担额定负荷以每分钟V米的速度下降时制动，其制动滑程不应大于V/100米，以及凡采用再生制动的起货机的电力拖动装置，应有限制再生电流超过允许值的措施。

4)由于工作非常频繁，要求起动、调速、制动有较好的平滑性，以改善对电网的冲击程度。

5)运行的经济性。在有起货机的货船上，这是影响电站容量的因素之一。

2　交流变极调速起货机控制线路

2.1　船用恒转矩变极变速起货机控制线路

1)变极变速起货机的驱动方式，有恒功率和恒转矩二种。所谓恒功率，实际上是仅在中速至高速这一段取恒功率，使轻负载或空钩时高速运行，恒功率方式须有可靠的过载继电器保护，使负载时只能在中速处运行，否则若重载时在高速处运行，造成电动机负载而烧毁。此外在双杆工作时，因两台电动机负荷不同，易造成一台在中速，另一台在高速运行的缺点。若用恒转矩方式驱动时，则高速档亦可在重载下运行，提高了起货机运行速度和效率；在双杆工作时，能按操作要求不出现两台不同速度运行的问题。尽管采用恒转矩方式会增加电动机在高速时的功率，但考虑上述优点，除日本有两种驱动方式的起货机外，所有欧洲国家都采用恒转矩驱动方式。

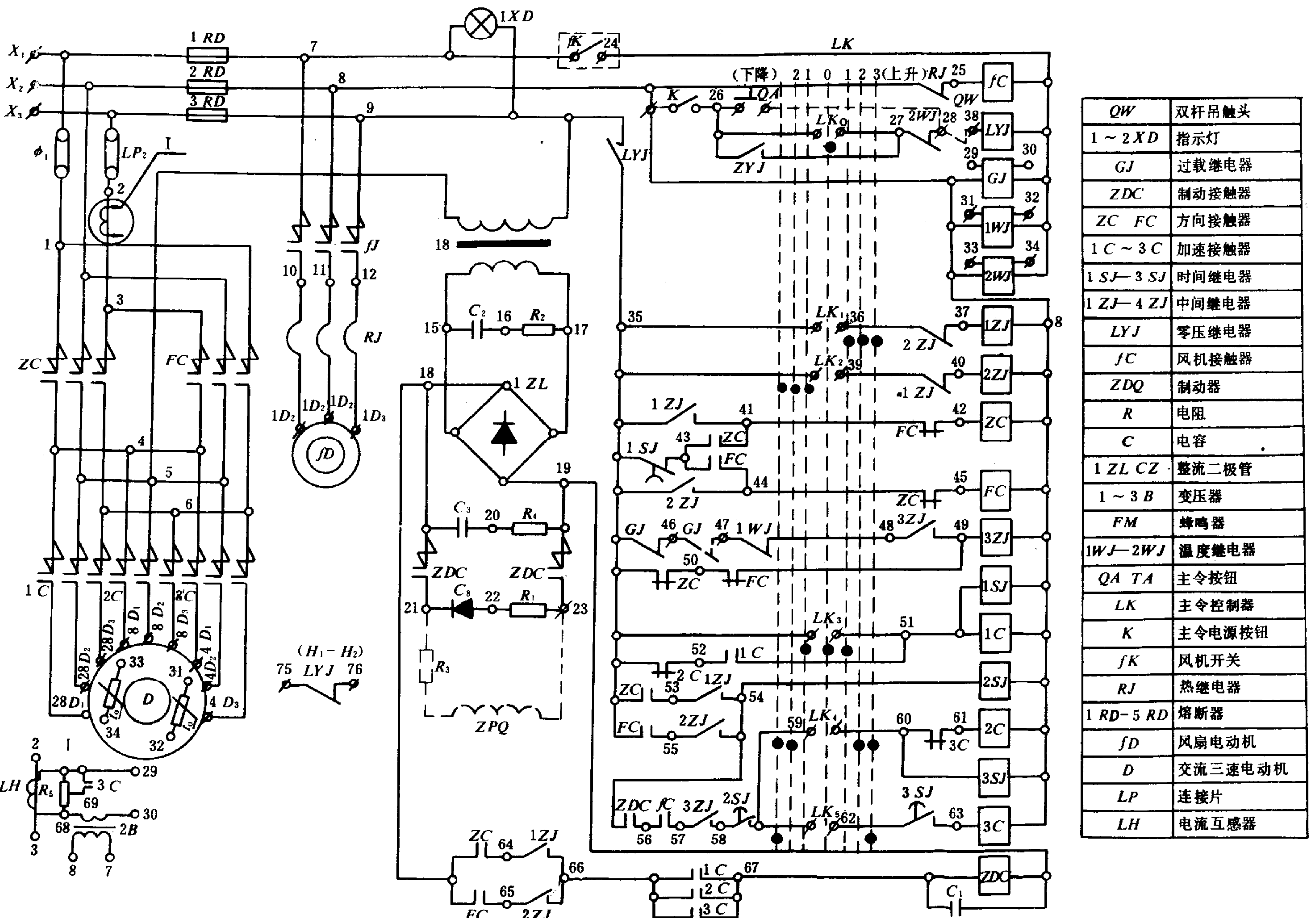
基于上述原因，下面仅介绍国产交流100A起货机控制线路。

2)交流100A起货机拖动控制系统

本系统适用于3/5吨单杆、双杆起货机，系统配套设备及主要技术参数如表8.3.8—1。

3)控制线路特点

恒转矩变极变速起货机控制屏原理图如图8.3.8—1所示



QW	双杆吊触头
1～2XD	指示灯
GJ	过载继电器
ZDC	制动接触器
ZC FC	方向接触器
1C～3C	加速接触器
1SJ—3SJ	时间继电器
1ZJ—4ZJ	中间继电器
LYJ	零压继电器
fC	风机接触器
ZDQ	制动器
R	电阻
C	电容
1ZL CZ	整流二极管
1～3B	变压器
FM	蜂鸣器
1WJ—2WJ	温度继电器
QA TA	主令按钮
LK	主令控制器
K	主令电源按钮
fK	风机开关
RJ	热继电器
1RD—5RD	熔断器
fD	风扇电动机
D	交流三速电动机
LP	连接片
LH	电流互感器

图 8.3.8—1　HXK₁—100 型恒转矩变极变速起货机控制系统原理图

表 8.3.8—1 **主要技术参数**

配套电机				控制屏				主令控制器		
型　号	电机极数	功率(kW)	额定电流(A)	型　号	额定电压(V)	额定电流(A)	操作频率(次/小时)	型　号	额定电压(V)	额定电流(A)
YZHL—H	4/8/28	38/19/4.1	82/62/48	HXK_1—100	380	100	600	LK911—0.04A/F—0.04A/FZ	380	10

(1)保护形式

①应急切断通过主令控制器的开关K实现。当电动机低速绕组过热时,控制回路失电,若货物吊在半空,按应急按钮QA,便可强迫货物放下。

②风机冷却与过载保护:电路只有在风机鼓风后,主电机才能工作;当风机过载时,热继电器RJ使风机电源切断而停止,并切断中、高速接触器2C与3C的电源,使起货机只能在低速运行。

③零位保护:零电压继电器LYJ保证系统失压后,操作手柄先回到零位,才能重新起动。

④电动机过热和过载保护:当电动机因长期过载,绕组温度升高达到某一值时,温度继电器1WJ或2WJ动作,切断中、高速回路或低速回路。

当电动机在中速或高速过载时,即吊重超过1.25倍额定吊重时,GJ过载保护环节动作,切断中、高速回路。

热保护环节与过载保护环节的整定值,见表8.3.8—2。

表 8.3.8—2 **保护环节的动作值**

代　号	名　　称	动　作　值	说　　明
1WJ 2WJ	热保护环节	2.2K±10%	
GJ	过载保护环节	12～14V	1. 当吊重为额定吊重的1.25倍时,GJ动作 2. GJ动作有2～3S延时,以躲过起动电流 3. R_5上的动触头应置中间,使高速与中速过载时,动作值皆12～14V

⑤制动接触器ZDC通电后,只有在触头(54—56)闭合后,中、高速档才能通电,因而不发生中、高速档的堵转。

此外,电路中还设有控制电路短路保护;正反转接触器间既有电气联锁,又有可靠的机械联锁;还有单相失压保护等环节。

(2)自动逐级延时起动

本线路三档位置对应高、中、低速。当主令控制器由0档直接拉到第3档时,低速时电动机有短时堵转(堵转时间为制动接触器ZDC和制动器ZDQ的动作时间),然后需经2SJ,3SJ延时,逐级起动,减少起动电流。2SJ与3SJ延时时间的整定值,如表8.3.8—3。

表 8.3.8—3　　自动逐级延时时间继电器整定值表

代号	名称	延时范围　(s)	整定值　(s)
1SJ	延时环节	0.15～1	0.2～0.3
2SJ	延时环节	0.15～1	0.2～0.4
3SJ	延时环节	0.15～1	0.4～0.6

(3)从第三档快速回零位时，自动实现先电气制动减速，后机械刹车低速制动停车，从而使制动迅速可靠，并减轻了制动器的负担。在操作手柄回零位后，因为1C吸合；而ZC(或FC)通过自身的辅触头和延时断开的触头1SJ(35—43)自锁维持吸合一段时间，实现电动机28极的再生制动，使电动机转速迅速下降，避免制动器高速刹车。再生制动过程的时间长短，通过整定1SJ的延时时间实现(见表8.3.8—3)；当电动机转速下降到500～200r/min左右时，ZDC由于电容C_1放电已不能维持吸合而释放，故ZDC延时断开它的触头(18—21)；(19—23)，则ZDQ断电，刹车线圈通过电阻R_1与R_3放电，延时后制动器抱闸使电动机停转。

(4)从上升三档迅速扳到下降三档(或相反)的逆转矩控制中，避免反接制动，不出现巨大的能量损耗和电流冲击。电路动作过程是先实现制动过程，再进行逐级加速(见说明3)与2)项)。

(5)换档时防止重物自由跌落

为此，本线路在起动时先接通电动机28极绕组，再将制动器松开。在换档过程中，为主令控制手柄在三档中间位置(甚至停在中间位置)时，由于自锁触头和联锁触头的作用，电动机总有一个绕组通电；另外由于电容C_1的作用，在换档时ZDC不会断电，也不会发生重物自由跌落。

2.2　恒转矩变极变速起货机的维修及常见故障

1)维护

(1)维修

①使用完毕后要切断电器设备电源(包括主令控制器开关K)。

②当控制屏发生故障时，需拆除连接片Lp，使主回路脱离电网。

③消除落在电器上的尘埃和脏物。

④经常检查电器元件的紧固件是否松动。

⑤检查电器元件触头有无烧毛或损坏，若发现接触器上有较大熔化物时，用油光锉将它消除，而不要破坏原接触面形状，且有较高光洁度，对镀银触头熏黑现象，需用汽油揩净。

⑥检查接触器、继电器元件有无损坏，如有损坏应及时修理或调换。

⑦检查电器有无交流声，若太大，则应校正消除。

(2)定期检查

①检查控制屏的绝缘电阻。

②检查接触器和继电器触头的超额行程，开距和接触压力。

③检查接触器和继电器的吸引和释放电压和电流值。

④检查半导体延时环节的延时时间，半导体热保护环节的动作电阻值，热继电器的整定

值。

⑤除去灭弧罩和线圈上的灰尘及脏物，并测定线圈的电阻。检查有无短路或断路现象。

2)常见故障

如表 8.3.8—4 所示

表 8.3.8- 4 **常 见 故 障**

故障现象	发生故障原因	处理方法
正倒车都不来	1. 无电源 2. 熔丝烧断 3. 刹车未打开 4. 主令控制器失控 5. 风门未开或风门开关未通 6. 2WJ 触头打开或接触不好 7. LYJ 触头打开或接触不好	1. 送电 2. 更换 3. 检查制动接触器，修复 4. 检修主令控制器 5. 检修风门开关 6. 检查 2WJ，使触头复位 7. 检查修复
有正车而无倒车(或相反)	1. 方向接触器的线圈断路或短路 2. 方向接触器的主副触头接触不良 3. 主令控制器 LK_3(或从 K_2) 触头接触不良	检查修复
只有低速而没有中速与高速	1. 主令控制器 LK_4LK_5 触头接触不良 2. 风扇接触器副触头不通 3. 时间继电器 2SJ 触头未接通 4. 电动机中速或高速过热或过载	检查修复
主令控制器手柄从高速回零后，电动机低速堵转	1. 时间继电器 1SJ 触头不能打开	检查修复
滑程太大	1SJ 延时太长	调整 1SJ 延时时间
电磁制动器打不开，慢动机堵转	1. 电磁制动器线圈断路、短路、接地 2 制动接触器 ZDC 吸不上	检查修复
电磁制动器不释放(制动)	1. 刹车片卡死 2. ZC 或 FC、1C、2C、3C 副触头不断开 3. ZDC 触头不能闭合	1. 调整刹车片 2. 检查修复 3. 检查修复
电磁制动器温升太高、刹车片磨损快	1. 刹车线圈短路 2. 磨擦片间隙太小或间隙不均匀 3. 再生制动时间太短 4. 磨擦片材料耐磨性差	1. 检查修复 2. 调整间隙 3. 调整 1SJ 延时时间 4. 换新
刹车刹不住重物	1. 电磁制动器反作用弹簧力不强或断裂 2. 磨擦片太光滑、没有摩擦力 3. 间隙太大	1. 调整反作用力或换新 2. 换新 3. 调整间隙

3 直流F—D系统起货机

3.1 多输出直流发电机的F—D控制系统

这里介绍的三输出直流发电机的F—D系统，是我国自行设计制造的。它适用于船舶旋转起货机。三输出直流发电机ZF有三个独立的输出，分别向三台直流电动机(1D、2D、3D)供电，并分别驱动旋转起货机起升、旋转和变幅机构。显然，这种系统不仅具有一般F—D系统的优点，而且具有体积小，重量轻的特点。

1)XHHZ1系列船舶旋转起货机的三输出发电机—电动机控制系统原理图及技术数据

原理图如图8.3.8—2所示。

三输出发电机配套的电动机如表8.3.8—5所示。

表8.3.8—5　**三输出发电机配套电动机**

电动机名称	型　　号	额定功率	额定电流	额定电压	起动电流
驱动三输出发电机的交流电动机　(JD)	ZFB355	60kW	110A	～380V	≤600A
起升电动机　(1D)	ZZ－250L－H	40kW	163A	＝270V	≤300A
旋转电动机　(2D)	ZZ－225M－H	15kW	53.2A	＝320A	
变幅电动机　(3D)	ZZ－225M－H	15kW	53.2A	＝320V	

控制元件数据如表8.3.8—6。

表8.3.8—6　**控制元件型号、规格表**

名　　称	型　　　　号	规　　格	数　　量
接触器	CJ914－20 CJ914－150	～24V ～24V	26 1
电流继电器	JL911－01	25A 100A 150A	2 2 1
电压继电器	JT913－22/10	175～320V	1
自动开关	DJ 91－200A/330		1
温度继电器	WJ_2	自配	1
热继电器	JR90－20	11A	1
电　　阻	ZG11－50A ZG11－50A ZG11－50A	1.2K 1.5K 1.2K	1 1 5
熔　断　器	RL913－20/15 RL 913/20/20 RL 913－60/30	15A 20A 30A	3 6 4
变压器	380V/310V，　25V		1

2)控制系统工作状态

(1)主令控制器各档工作状态(如表8.3.8—7所示)

表 8.3.8－7　　　　　　　　　　　　**控制系统工作状态表**

主令控制器位置		电器元件工作状态	发电机磁场电阻	电动机磁场电阻	工作特性
起升机构 1LK 起升(或下放)	1	1ZC(1FC),1FLC，1C1，1ZDC 动作	$R_{101}+R_{102}+R_{103}+R_{105}$	短接 R_{112} (额定激磁)	1
	2	1ZC(1FC)1FLC,1C1,1ZDC,1CZ 动作	$R_{102}+R_{103}+R_{105}$	短接 R_{112}	2
	3	1ZC (1FC),1C1,1FLC,1ZDC,1C2,1C3 动作	$R_{103}+R_{105}$	短接 R_{112}	3
	4	1ZC(1FC),1FLC 1C1 ,1ZDC,1C2 1C3,1C4 动作	R_{105}	短接 R_{112}	4
	5	1ZC(1FC),1ZDC,1C1,1C2,1C3,1C4 动作,1FLC 释放	R_{105}	R_{112}串入 (弱磁)	5
旋转机构 2LK(左右旋)	1	2ZC (2FC),2ZDC 动作	$R_{201}+R_{202}+R_{203}+R_{204}$	额定激磁	1
	2	2ZC(2FC),2ZDC,2C1 动作	$R_{202}+R_{203}+R_{204}$	额定激磁	2
		2ZC(2FC),2ZDC,2C1,2C2 动作	$R_{203}+R_{204}$	额定激磁	3
		2ZC(2FC),1ZDC,2C1,2C2,2C3 动作	R_{204}	额定激磁	4
变幅机构 3LK 缩(伸)幅	1	3ZC (3FC)3ZDC,3C1 ,3GFC 动作	$R_{301}+R_{302}+R_{303}+R_{304}$	额定激磁	1
	2	3ZC(3FC),3ZDC,3GFC,3C1,3C2 动作	$R_{302}+R_{303}+E_{304}$	额定激磁	2
	3	3ZC (3FC),3ZDC,3GFC,3C1,3C2,3C3 动作	$R_{303}+R_{304}$	额定激磁	3
	4	3ZC (3FC) 3ZDC,3GFC,3C1,3C2,3C3,3C4 动作		额定激磁	4

(2)限位开关的功能(见表 8.3.8—8)

表 8.3.8—8　　　　　　　　　　　　**限位开关的功能表**

代号		功能	系统工况
旋转机构	ZXK YXK	当起货机左旋到某一极限位置时,切断 2ZC 电源。 当起货机右旋到某一极限位置时,切断 2FC 电源。	停止
提升机构	XXK	绳索卷筒放出的吊索到达最大允许长度时切断 1FC 电源	下放自动停止
	SXK	当卷筒吊索绕满时,切断 1ZC 电源	1XWK 断开;
	1XWK	当吊钩高于甲板平面时,1XWK 断开	1XWK,2XWK,断开切断 1ZC 提升自动停止
	2XWK	当吊钩接近于吊杆顶部时,2XWK 断开	提升自动停止
	ZCK	当吊钩绳索处于松驰状态时断开 1FC,断电	吊钩下放自动停止

续上表

代号		功能	系统工况
变幅机构	3XWK	当吊杆最小跨距时断开，3ZC 断电	吊杆缩幅停止
	6XWK	当吊杆达最大跨距时断开，3ZC 断电	吊杆伸幅停止
	4XWK	当吊钩低于货舱舱口时断开；	4XWK，5XWK 断开后，3ZC 失电，吊杆缩幅停止
	5XWK	当吊杆跨距靠近货舱舱口避时断开；	
	7XWK	当吊杆高于货舱舱口时断开；	7XWK，8XWK 断开后，3FC 失电吊杆伸幅停止
	8XWK	当吊钩接近于吊杆顶部时断开	
	9XWK	当吊杆接近于最大(小)位置时，3GFC 失电	在变幅特性 2 上运行
钥匙或按钮 3QA		为了便于更换绳索及收放吊杆的特殊工况下操作	

(3)继电器整定值和功能(如表 8.3.8—9 所示)

表 8.3.8—9　**继电器整定值与功能表**

代号	名称	型号	调整值	功能
ZDJ	电压继电器	JT913—22/0	175～880V	1LK 回零时，先进行再生制动避免高速刹车
$1QLJ_1$	电流继电器	JL—911	48～50A	在提升第 5 档运行时，若重物＞30％额定重量 $1QLJ_1$ 动作，使 1FLC 吸合，短接 R112，系统由弱磁特性 5 自动返回到额定磁通的特性 4 上工作
$1QLJ_2$	电流继电器	JL—911	40～41A	在下放第 5 档时，若重物＞25％的额定重量，1QLJ2 动作，短接 $R11_2$，使电动机在额定磁通下工作(由特性 5 返回到特性 4)，避免重载高速下放
1GLJ	电流继电器	JL—911	300A	起升装置过流时，只能工作在下降状态
2GLJ	电流继电器	JL—911	100A	旋转装置过流时，旋转控制电路失电，自动停止
3GLJ	电流继电器	JL—911	100A	变幅装置过流时，只能工作在伸幅状态。
GFK	超重保护装置	石英晶体负荷限制器		当提升的重物超重时，或变幅绳索达到最大张力时，代替 1GLJ 或 3GLJ 的作用。

3.2　磁放大器 F—D 系统

1)带有磁放大器的起货机控制线路。

用磁放大器控制的 F—D 系统线路如图8.3.8—3所示。

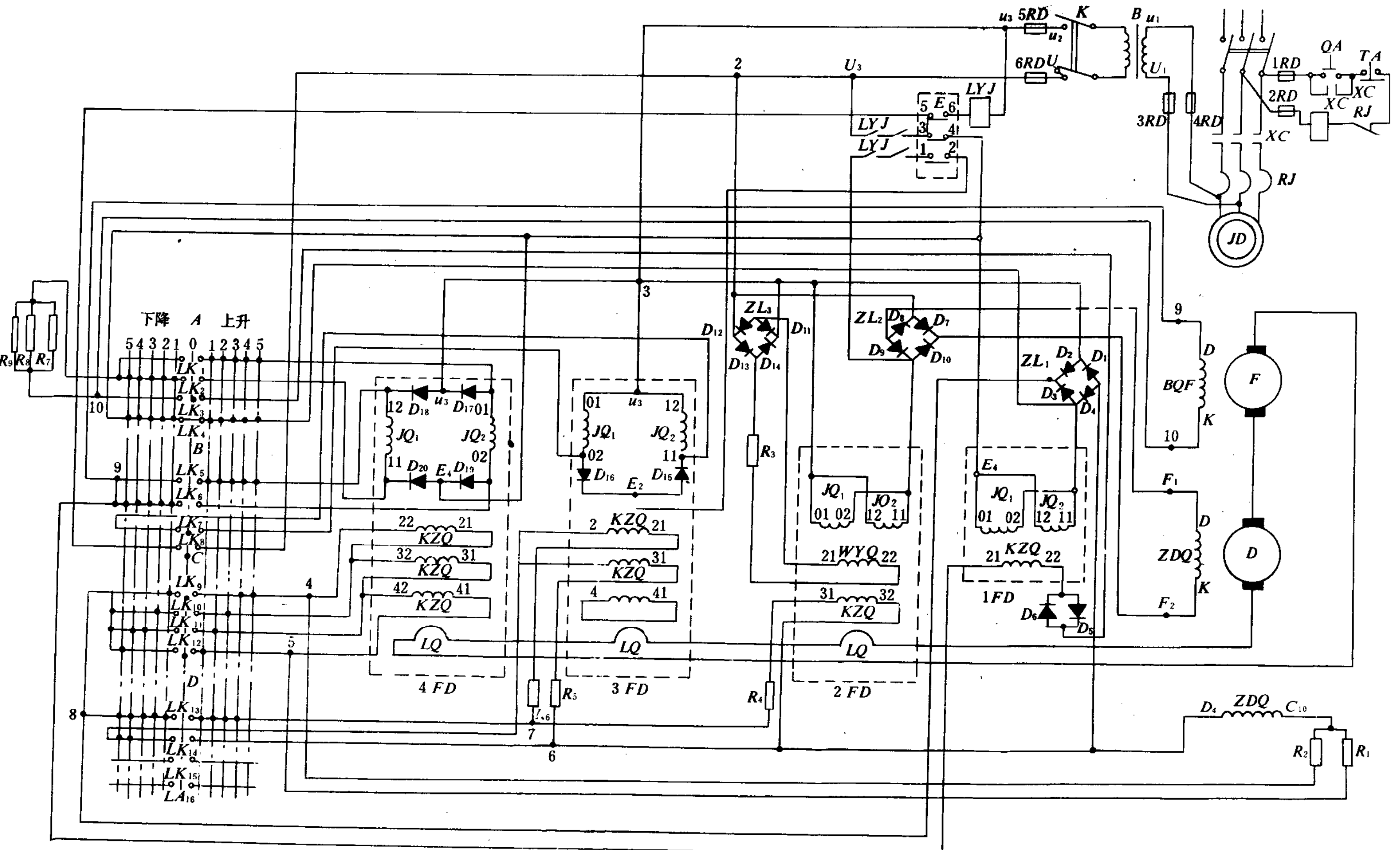


图 8.3.8—3 用磁放大器控制的 F－D 系统原理图

图中元件符号含义如表 8.3.8—10 所示

表 8.3.8—10 符号含义

元件符号	符号含义
JD	拖动直流发电机的交流电动机
F	直流发电机
D	直流电动机
BQF	直流发电机 F 的激磁绕组
BQD	直流电动机 D 的激磁绕组
ZDQ	电磁刹车 线圈
1FD—4FD	磁放大器
JQ_1、JQ_2	磁放大器的交流绕组或工作绕组
WYQ	磁放大器的位移绕组
KZQ	磁放大器的控制绕组
ZQ	磁放大器的电流负反馈绕组
B	变压器
ZL_1—ZL_3	整流器
LK_1—LK_{16}	主令控制器触头
E	装在主令控制器上的应急开关
LYJ	零电压继电器
RJ	热继电器
R_1—R_9	电阻
1RD—6RD	熔断器

图中共有四个磁放大器。1FD 是扼流式磁放大器，它是作为停车制动时控制电磁刹车线圈用的。2FD 是带位移绕组的磁放大器，是控制电动机磁场的。3FD 是交流输出的内反馈磁放大器，也是控制电动机磁场用的，4FD 是直流输出的内反馈磁放大器，用于控制发电机磁场。这四个磁放大器是通过主令控制器控制的。

2）系统工作情况

合上电源开关后，按起动按钮 QA，交流接触器 XC 得电吸合，交流异步电动机 JD 起动。合上控制电路开关 K，控制电源接通 ，其它电器工作情况的说明，详见表 8.3.8—11。

表 8.3.8—11

系 统 工 况

主令控制器位置	元件代号	接 通 电 路	作 用 说 明
零位 LK_3、LK_7、LK_8、LK_9、LK_{12}、接通	LYJ	电源 U_3→LYJ→LK_8→电源 V_3	控制系统零位保护环节
	IKD	KZQ(21)→9→BQF→LK_3→D_6(D5)→KZQ(22)	将控制绕组 KZQ 与发电机激磁绕组 BQF 接成回路。 当主令控制器从运行档回零时；BQF 对 KZQ 放电，则制动器继续吸合一段时间，以便电动机进行再生制动，避免高速刹车
	IKD	V_3→LYJ(1—3)→E(3—4)→JQ_1 与 JQ_2 → JL_1 → 8 → { LK_9→4→R_2 LK_{12}→5→R_1 } ZDQ→JL_1→U_3	交流绕组 JQ_1 与 JQ_2 经 ZL_1 带磁放大器的负载刹车线圈 ZDQ 后接至电源。 因控制绕组无电流，故无输出。
	2FD	V_3→ZL_2→BQD→ZL_2→JQ_1 与 JQ_2→U_3 V_3→ZL_3→R_3→WYQ→ZL_3→U_3	交流绕组 JQ_1 与 JQ_2 经 ZL_2 带负载 BQD 后接至电源 位移绕组 WYQ 有电流，所以交流绕组有一定的电流输出，电流流入 BQD，使电动机处于半激磁作好起动准备
	3FD	V_3→ZL_2→BQD→ZL_2→LYJ→E(1—2)→D_{15}→ { JQ_2 LK_7→JQ_1 } →U_3	3FD 为内反馈磁放大器连接，由于 LK_7 短接 02 与 11 两点，接成无反馈磁放大器，又因控制绕组无电流，故对 BQD 无输出。
上升第一档 LK_1、LK_4、LK_5、LK_12、LK_13、闭合	ZDQ	V_3→LYJ(1—3)→E(3—4)→LK_4→ZL_1→8→LK_{12}→5→R_1→ZDQ→ZL_1→3→U_3	刹车线圈直接通电源松闸
	2FD	ZL_1(+)→8→LK_13→7→R_4→KLQ(31→32)→6→ZL_1(−)	2FD 的 KZQ 有电流流过，使磁路饱和，交流绕组 JQ_1、JQ_2 的阻抗急剧下降则增加了电动机激磁绕组 BQD 的激磁电流
	3FD	ZL_1(+)→8→LK_{13}→7→R_6→KZQ(21—22)→KZQ(32—31)→R_5→6→ZL_1(−)	因 KZQ(21—22)与 KZQ(32—31)内电流相反，故合成磁通为零，但因 LK_7 断开，接成为反馈线路，所以也增加了 BQD 的激磁电流，达额定激磁
	4FD	ZL_1(+)→8→LK_{12}→KZQ(41—42)→KZQ(31—32)→KZQ(21—22)→4→R_2→ZDQ→ZL(−)	4FD 的三个控制绕组串联同 ZDQ 一起接至电源。
	4FD	V_3→LYJ(1—3)→E(3—4)→2→E_4→D_{20}→JQ_1→LK_5→9→BQF→10→R_7 ‖ R_8 ‖ R_9→LK_1→D_{17}→U_3(负半周 JQ_2 工作)	4FD 接成内反馈放大器，流过半波脉动直流，产生反馈磁通，与三个控制绕组产生的合成磁通方向相反，故输出至 BQF 的激磁电流也最小，使发电机产生一个比较低的电压电动机在低速运转

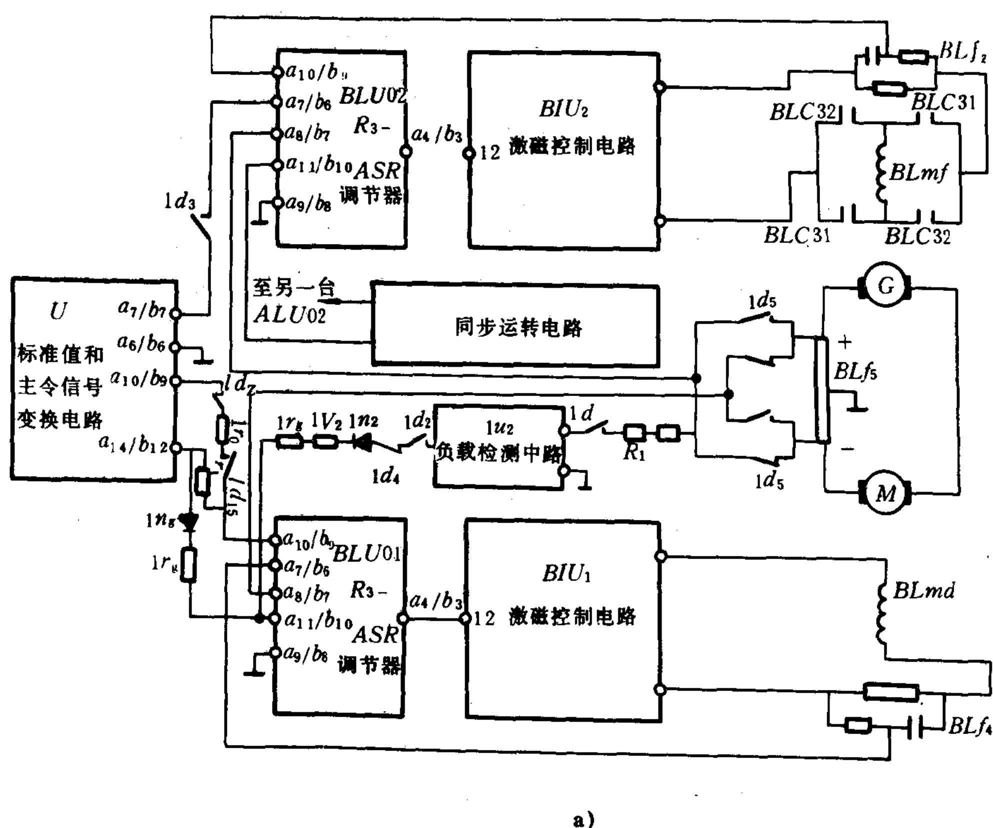
续上表

主令控制器位置	元件代号	接通电路	作用说明
上升第二档 LK_1LK_4、LK_5、LK_{11}、LK_{13}闭合	1FD 2FD 3FD 4FD	工作情况与上升第一档相同，仅1FD、2FD、3FD、4FD控制绕组的连接方式发生变化，具体如下：ZL_1(＋)→8→LK_{11}→{LZQ(31—32)→KZQ(21—22) / KZQ(42—41)}→5→R_1→ZDQ→ZL(－)	因4FD三个控制绕组的电流方向有一个反向了，所以控制绕组的合成磁通减小2/3，它与反向相反的反馈磁通合成后，则总合成磁通增加，4FD饱合程度增加，对BQF的输出增加从而发电机电势升高，电动机的转速随之上升。
上升第三档 LK_1、LK_4、LK_5、LK_{10}、LK_{13}闭合	1FD 2FD 3FD 4FD	1FD、2FD、3FD的工作情况仍如上同，仅4FD控制绕组的连接方式再次发生变化即：ZL(＋)→8→LK_{10}→{KZQ(21—22) / KZQ(32—31)→KZQ(42—41}→5→R_1→ZDQ→ZL_1(－)	4FD的三个控制绕组，其中有两个方向反向3，合成控制磁通为－1/3，与反馈磁通同方向。从而磁放大器的输出进一步增加，发电机电压也进一步升高，电动机转速升高到第三档速度
上升第四档 LK_1、LK_4、LK_5、LK_9、LK_{13}闭合	1FD 2FD 3FD 4FD	1FD、2FD、3FD 的工作情况仍如上同，由于LK_{10}断开，LK_9闭合，则4FD的三个控制绕组产生的磁通方向全反了	合成控制磁通与反馈磁通方向一致，而且最大发电机激磁电流达额定值，电动机转速上升至第四档速度
上升第五档 LK_1、LK_4、LK_5、LK_9闭合	1FD 2FD 3FD 4FD	因LK_{13}断开3FD、2FD的控制绕组失电1FD与4FD工作情况同上	对3FD无影响，对2FD来说，由于控制绕组失电，对BQD的输出减小，即电动机在全压下 进行弱磁，转速上升至第五档
下降1、2、3档	1FD 2FD 3FD 4FD	与上升的1－3档相类似不同之处在于4FD控制绕组中的电流方向改变，则输出的电流方向也改变了	因此流过发电机激磁绕组BQF中的电流方向也政变，故发电机电压极 性和电动机的转向，也随之改变。
下降第四档 LK_2、LK_4、LK_6、LK_{11}、LK_{13}、LK_{14}闭合	1FD 2FD 3FD 4FD	由于LK_{14}闭合，3FD的控制绕组KZQ(31—32)被短接1FD、2FD、4FD工作情况与上同	合成按制磁通大，但与反馈磁通方向相反，故总合成磁通减小，3FD输出电流也减小，即电动机弱磁升速至下放第四档速度
下降第五档 LK_2、LK_4、LK_6、LK_{12}、LK_{14}闭合	1FD 2FD 3FD 4FD	LK_{14}继续闭合，短接KZQ(31—32)。 由于LK_{11}断开、4FD的三个控制绕组电流全部为正方向 1FD、2FD、3FD工作同上	电动机继续弱磁 因控制磁通与反馈磁通方向一致，合成磁通最大，4FD输出电流最大，发电机为额定电压 即电动机在全压下弱磁达最高速度

3.3 船用AEG型双旋转(克令)吊电子调速系统

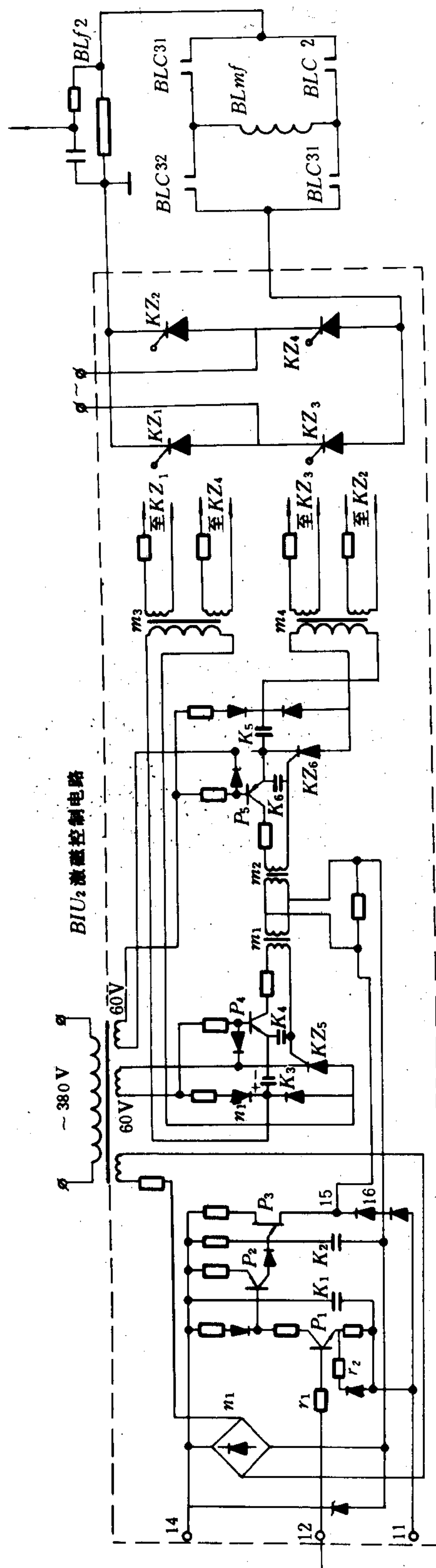
船用AEG型双克令吊电子调速系统,拖动方案采用晶闸管(可控硅)控制激磁的F—D(G—M)系统。它在克令吊中应用于重物升降,变幅、旋转机构。不仅适合一台克令吊单独运行,也适用于两台克令吊联用。

由于重物升降,变幅与旋转的控制电路相同,图8.3.8—4中仅给出3A、B两克令吊中B克令吊的起升机构的电气方块原理图。图中将实际电路进行了简化,仅绘出与调速有关的主要单元的联接。

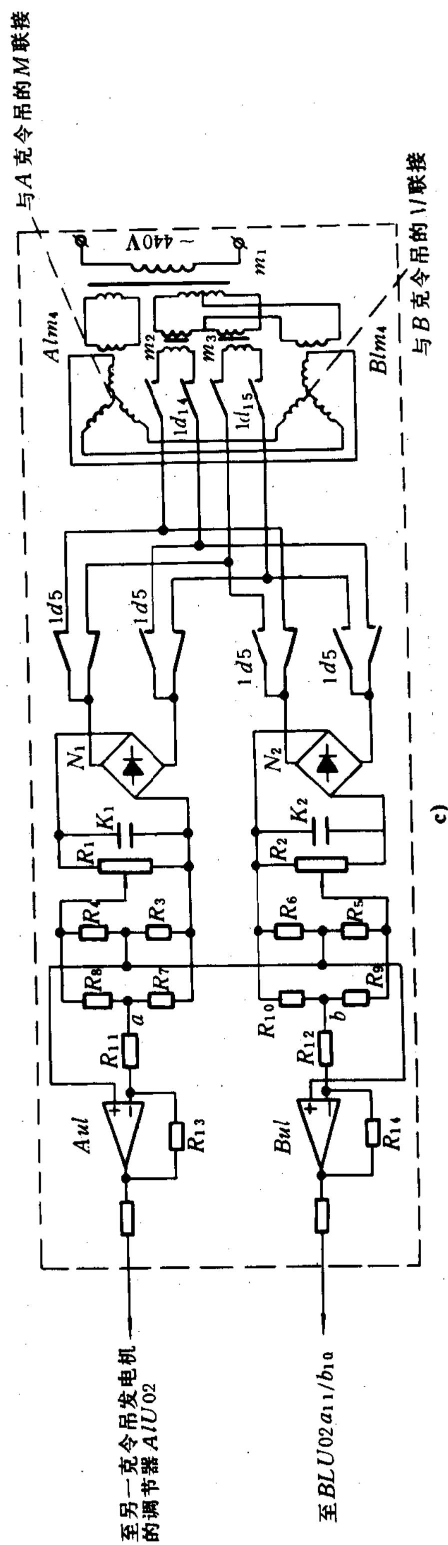


a)

图 8.3.8—4


BIU_2激磁控制电路
~380 V
60V
60V
$BLf2$
$BLC31$
$BLmf$
$BLC\ 2$
$BLC32$
$BLC31$
KZ_1
KZ_2
KZ_3
KZ_4
KZ_5
KZ_6
至KZ_1
至KZ_4
至KZ_3
至KZ_2
m_1
m_2
m_3
m_4
n_1
r_1
r_2
P_1
P_2
P_3
P_4
P_5
K_1
K_2
K_3
K_4
K_5
K_6
14
12
11
15
16

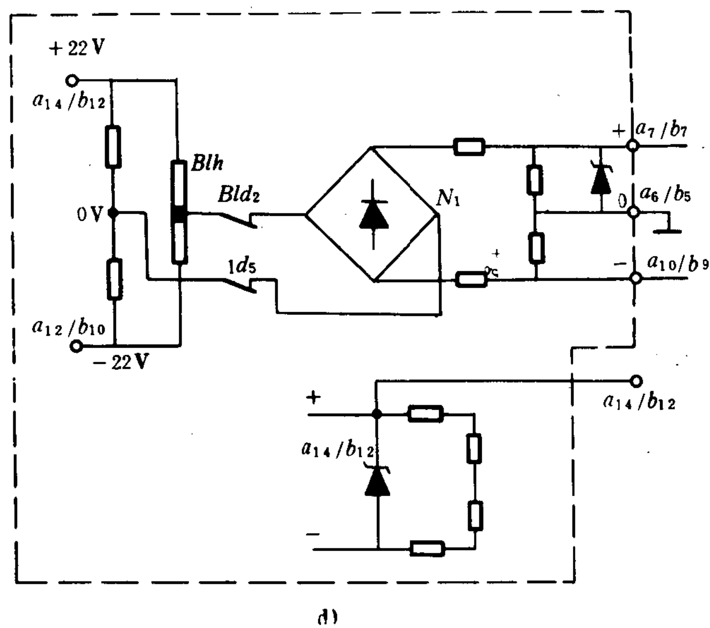
b)


与A克令吊的M联接
与B克令吊的W联接
~440V
m_1
m_2
m_3
Alm_4
Blm_4
$1d_{14}$
$1d_{15}$
1d5
N_1
N_2
K_1
K_2
R_1
R_2
R_3
R_4
R_5
R_6
R_7
R_8
R_9
R_{10}
R_{11}
R_{12}
R_{13}
R_{14}
a
b
Aul
Bul
至另一克令吊发电机的调节器$AIU02$
至$BLU02a_{11}/b_{10}$

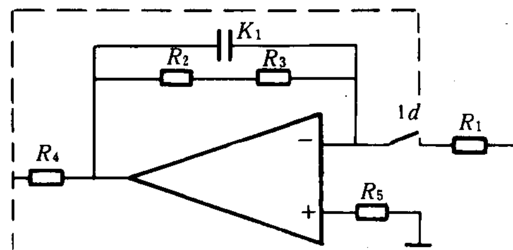
c)

图 8.3.8—4

U标准值和主令信号变换电路



d)



e)

图 8.3.8—4　船用 AEG 型双克令吊电子调速系统

1)单元电路

AEG 型双克令吊电子调速系统，由标准值和主令信号变换电路 U。R_3－ASR 调节器、励磁控制电路 BIU、负载测量电路 LU_2 和 A、B 克令吊同步运转电路等主要单元电路构成。

(1)标准值及主令信号变换电路其功能主要有：

① 经整流、滤波稳压后，将交流变为稳定直流电源，供电动机激磁调节器的标准值和各个电子单元的电源；

②将主令电位器输出的正、负方向的主令信号变换为单方向的信号。

(2)R_3—ASR 调节器。

它的主要作用是：

①接收主令信号，控制发电机和电动机的励磁实现调速；

②接收负载信号，按负载电流的大小调整电动机的转速；

③两克令吊联用时，接收速度差值信号，调整两克令吊发电机的励磁电流，使两克令吊的电动机同步运行；

④接收励磁负反馈信号，使发电机与电动机的励磁稳定。

(3)励磁控制电路

励磁控制电路是由晶闸管整流电路和触发电路组成。发电机励磁控制电路(BIU_2)与电动机励磁控制电路(BIU_1)相同。

可控整流电路为单相桥式可控整流电路。其触发脉冲由单结晶体管触发电路产生，由于脉冲窄，平均功率小，故在电路中设置了由 m_1、m_2、P_4、P_5 和 KZ_5、KZ_6……等组成的脉冲放大电路。电路左右部分对称。就左面的电路而言，当电源为正半波时，电容器 K_3 经 n_7 充电，三极管 P_4 的射极电位低于基极电位，P_4 截止。从触发电路 15、16 端来的脉冲信号不能通过 m_1 的副边触发晶闸管 KZ_5，从而是阻断状态。当电源电压负半波时，由于 P_4 的基极电位变低而使其导通。这样电容 K_3 就通过变压器 m_3 及晶闸管 KZ_5 放电，从而在该变压器的副边感应出较强的脉冲信号来控制可控硅 KZ_1 与 KZ_4

(4)负载测量电路

它是为了在下次操纵中按负载电流的大小来控制电动机激磁的减弱程度而设置的。电路主要由一个积分调节器 u_1 和一个继电器 1d 组成(继电器在图中未绘出)，这个继电器只有在下放时才能吸合，使负载信号输入。从测量电路输出端输出的正极性信号送到 R_3－ASR 调节器。

2)系统的工作原理

(1)电动机的起动过程

当主令电位器 B1h 零位时，标准值(＋)，由 a_{14}/b_{12}已接入电动机励磁调节器 Blu01 的 a_{10}/b_9 和 a_{11}/b_{10}端，由于 Blu01 的 a_7/b_6 端已接入发电机励磁电流负反馈，使电动机励磁逐步上升至满磁。

当主令电位器 BLh 置于上升位置时，发电机的励磁调节器 Blu02 的 a_7/b_6 端送入了主令信号(＋)，由于 Blu02 的 a_{10}/b_9 和 a_8/b_7 端分别接入发电机励磁电流负反馈和主电流的负反馈，因此励磁电流也按指数曲线上升，随着发电机电势的逐步增加，电动机在满磁下升压升速时，主电流也是逐步上升，而不超过允许值。

在电动机升速的过程中，由于负的主令信号引入调节器，它与正的标准值比较，使 Blu01 的 a_{10}/b_9 端的正信号减小，电动机由满磁向额定励磁方向减小，直到电动机加速到与主令信号

相对应的转速为止。

显然，当主令信号上升到一定值时，电动机将在弱磁下运行，以适应轻载高速的需要。

(2)运行时的特点

运行时有两个值得注意的特点：

①系统运行的速度，可根据负载的大小而自动调节。

由图 8.3.8—4 可知，通过 Blf5 引入的主电流负反馈，对发电机的励磁调节器 Blu02 始终为负值；而对电动机的励磁调节器 Blu01 总为正值。这样，当负载增加时，即主电流增加，发电机励磁电流则相应减少；而电动机的励磁电流相应增加，即重载时电动机低速 运行。反之，轻载时，电动机在较高速度下运行。

②下放负载时防止弱磁高速

前面已述，负载测量电路由一个积分调节器 u_1 和一个继电器 1d 所组成。当主令电位器放到下放位置时，1d 先维护吸合 1s 后断开、$1d_2$ 在 1s 后吸合。这样，依靠积分调节器 u_1 的电容器 K_1 的记忆作用，将正信号送入电动机励磁调节器 Blu01 的 a_{11}/b_{10}端，从而加大了电动机励磁，速度下降，实现了缓慢下放负载的目的。

(3)两克令吊联工作时的平稳调节

电路见图 8.3.8—4 中的同步运转电路，自整角机 BLm_4 的转子与 B 克令吊的机轴机械联接；ALm_4 的转子与 A 克令吊的机轴机械联接。ALm_4 的定子单相绕组由变压器 m_1 供电产生激磁，而 BLm_4 的单相定子绕组作为输出绕组。

当两克令吊的速度相等时，两自整角机转子的位置相同，输出绕组无输出电压。m_1 和 m_3 的次级绕组的感应电势相等，a，b 两点的电位也必然相等，即给 A 克令吊发电机调节器的信号等于给 B 克令吊发电机调节器的信号。

当两克令吊的速度不同时，输出绕组产生输出电压，m_1 和 m_3 的次极感应的电势也就不同，a 与 b 两点的电位必然一高一低，结果送入两克令吊发电机调节器的信号不同，便速度慢的克令吊加速，而速度快的令吊减速，直到相同就得到稳定平衡。

4　晶闸管控制的电动起货机

4.1　晶闸管控制交流绕线式异步电动机的起货机

1)Thyridrive A 系统

该系统为法国 BLM 公司的专利，克令吊的三个运动，即提升，变幅和旋转的驱动都采用这种系统。

它的基本工作原理是：用晶闸管调压装置改变交流绕线式电动机的定子电压；用附加电阻来改变转子电路的等效电阻，并引入转速和电流负反馈，加装电子设备将其联系组合成完整的逻辑自动调节控制系统，即 Thyridrive A 系统。

它的最大特点是：实现交流绕线式异步电动机的转速从零到额定速度的无级调速。并具有选定速度的自动调整维持速度恒定，起动和停车的自动加速控制。系统还具有起动电流。过负荷限制的功能。

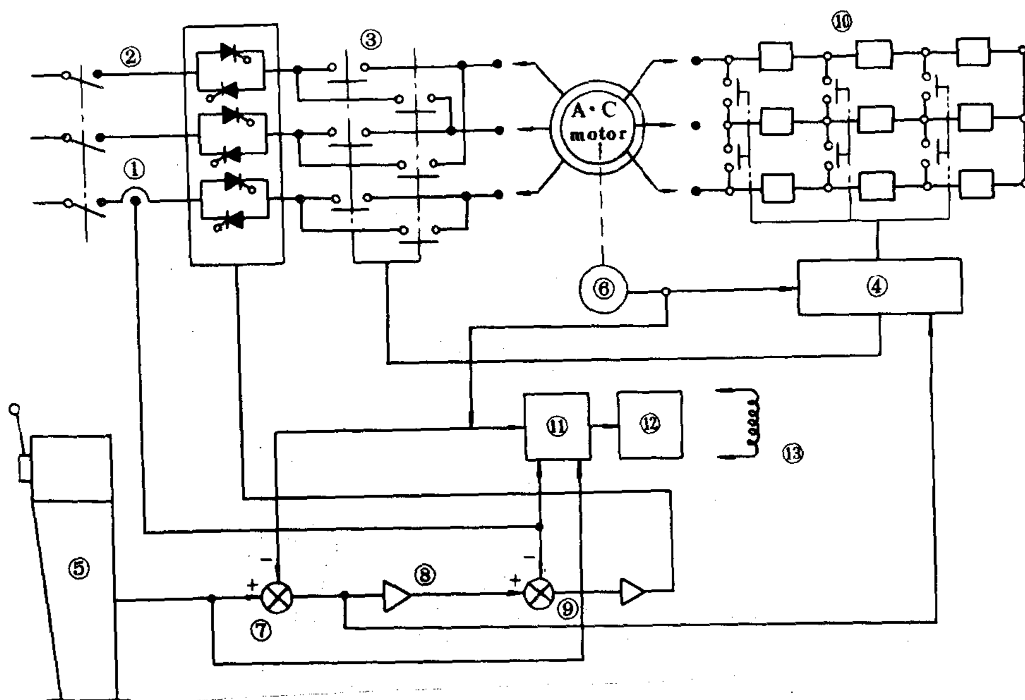


图 8.3.8—5　ThyridriveA 系统方块图

图 8.3.8—5 中，当主令控制器⑤给出给定速度后，首先与测速发电机⑥测得的速度负反馈比较⑦，得到 Δn 信号作为加速或减速指令；第二路速度负反馈信号，直接送到转子回路电阻控制逻辑装置④中，根据实际速度 n 进行附加电阻加速逻辑控制，以保证按最大加速力矩进行加速；第三路速度负反馈信号送到制动逻辑装置⑪中，保证只有在转速 n<300r/min 时电磁圆盘刹车⑫才能投入工作，以便尽量减小圆盘刹车磨损。电流负反馈信号从电流互感器取得后，送入比较器⑨，与速度调节器⑧的输出信号综合，产生转矩控制指令，相应改变晶闸管的导通角达到调压和转矩控制的目的。无论是起动还是电磁制动和过载等情况下，电动机电流都不超过额定电流的 2.5 倍。电流负反馈信号还有一路送入刹车逻辑装置⑪，保证电动机在产生转矩（0.8 倍额定电流）后，才松开刹车装置。

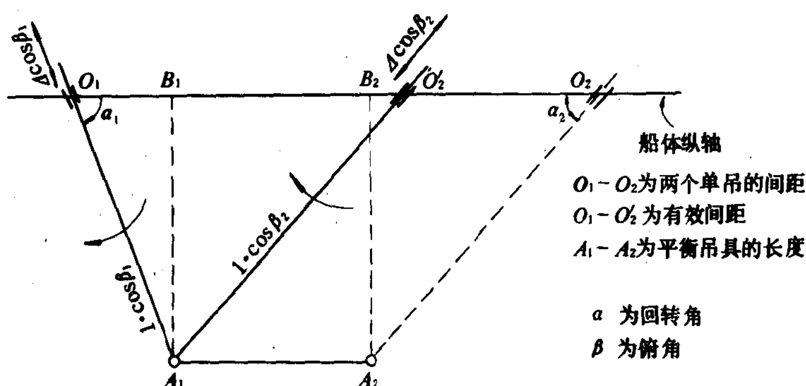


图 8.3.8—6　联吊同步分析图

电动机的正反转，是根据 Δn 的正或负通过逻辑装置④控制正反向接触器③实现的。

2）双联系统的同步装置分析

双联同步装置为 BLM 克令吊的附件，当两台克令吊联用时，本装置仅装在主动吊车上，能与从动吊车随时方便地解脱或联用，这样双联吊在联合同步工作时，只需一名吊车驾驶员在主吊车上，象操作单台吊车时一样。所以同步装置应保证：①主吊和从吊在任何情况下不

会相互干扰和碰撞；②平衡吊具的纵轴永远和初始状态即船体纵轴相平行。

图 8.3.8—6 为联吊同步分析图，一般可认为吊臂长度等于两吊的间距，如：

O_1O_2——表示吊臂长度，令 $O_1O_2=1$；

O_1A_1——表示主吊臂在水平面上的投影长度；

O_2A_2——表示从吊臂在水平面上的投影长度；

α_1、α_2——回转角；

β_1、β_2——俯角。

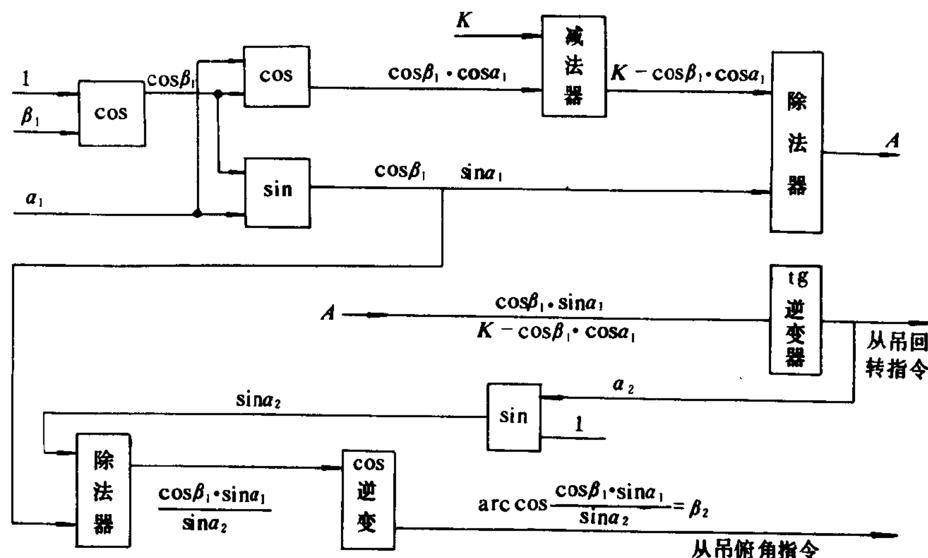


图 8.3.8—7　同步装置电路组成方块图

由图可知

① 平行移动的条件是：$A_1B_1 \equiv A_2B_2$

即：$\cos\beta_1 \cdot \sin\alpha_1=\cos\beta_2 \cdot \sin\alpha_2$　　(1)

②吊杆不相碰撞的条件是：

$$O_1B_1+B_1O'_2 \equiv K<1$$

即：$\cos\beta_1 \cdot \cos\alpha_1+\cos\beta_2 \cdot \cos\alpha_2=K$　　(2)

解(1)与(2)式得：

$$\alpha_2=\mathrm{arctg}\frac{\cos\beta_1.\sin\alpha_1}{K-\cos\beta_1.\cos\alpha_1} \tag{3}$$

式中： K 是与初始条件有关的小于 1 的某值

$$k=\cos\beta_{10}.\cos\alpha_{10}+\cos\beta_{20}.\cos\alpha_{2}0 \quad \beta_2=\mathrm{arc}\quad\cos\frac{\cos\beta_1.\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2} \tag{4}$$

根据(3)与(4)式，可实现的电路方块图，如图 8.3.8—7 所示。

4.2　晶闸管—电动机的直流电动起货机

1)工作原理

本系统拖动方案采用调节直流他励电动机电枢电压和励磁两种形式。电枢电压控制区为恒转矩区，而磁场电流控制区为恒功率区。本控制系统用电枢电 压控制达到电动机的基速，所谓基速是电动机电枢电压为额定值时获得的速度。当转速超过基速时，电压控制转换为磁场电流控制，而电枢电压在一固定值，磁场电流自动削弱，电枢电流到额定电流，因而提高了电动机

的转速。

调压调 速部分，一般是人们熟悉的典型的双环系统，不作详述。这里仅介绍电动机弱磁控制部分。图 8.3.8—8 是它的方块图。

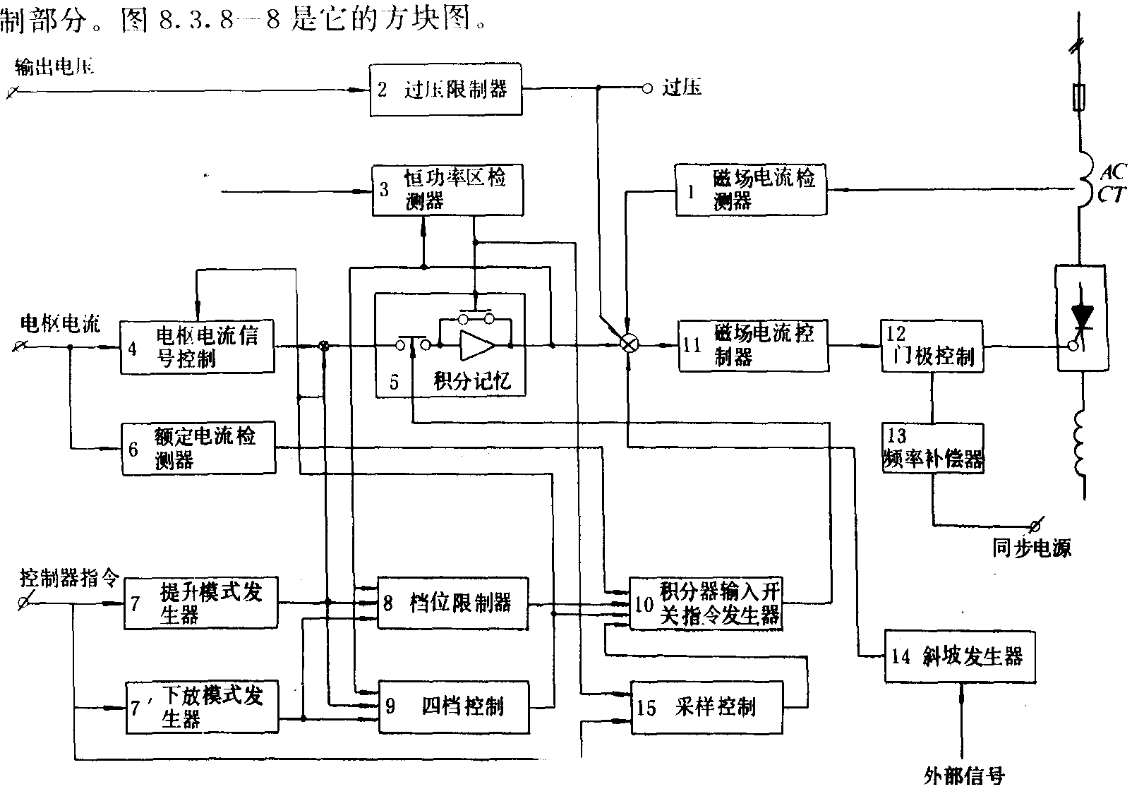


图 8.3.8—8　自动弱磁控制系统方块图

2)控制系统单元电路功能的说明

(1)磁场电流检测电路

本电路通过交流互感器 ACCT 检测磁场晶闸管交流侧电流，经整流后把它送到磁场电流控制器 11；作为磁场电流反馈信号。

(2)过压限制电路

①该电路平常把恒转矩区的磁场电流信号送到磁场电流控制器 11。维持电动机激磁电流为额定值。

②过压时，输出信号使电枢电压下降不超过给定值。

(3)恒功率区检测电路

该电路检测电枢电压出现额定值的时刻，同时解除积分记忆器 5 上的箝位。

(4)电枢电流信号控制电路

①该电路将电枢电流同给定值进行比较，经比例运算送到积分记忆器 5，当电流接近额定值时，使积分斜率小。

②在下放回档状态时，本电路对电枢电 流信号箝位。

(5)积分记忆电路

①本电路输出信号与过压限制电路及产生的磁场电流指令的极性相反，在恒功率范围内减小磁场电流增加电动机转速。

②当电枢电流达到额定值或电动机转速同控制器的指令一致时，该电路停止积分作用，维持积分记忆值。

(6)额定电流检测电路

本电路检测出现额定电枢电流值时，输出电平信号送到积分记忆器开关指令发生电路10，停止积分记忆器5的积分作用。

(7)提升与下放模式发生电路

这些电路根据控制器档的信号产生提升和下放模式指令，调节恒功率区的速率。

(8)档位限制电路

本电路检测到控制器档的指令与积分记忆器5的输出(速度指令，相同时，把信号送到积分记忆开关指令发生电路10，停止积分记忆作用，以防止电动机的转速超出控制器位置相应的转速。

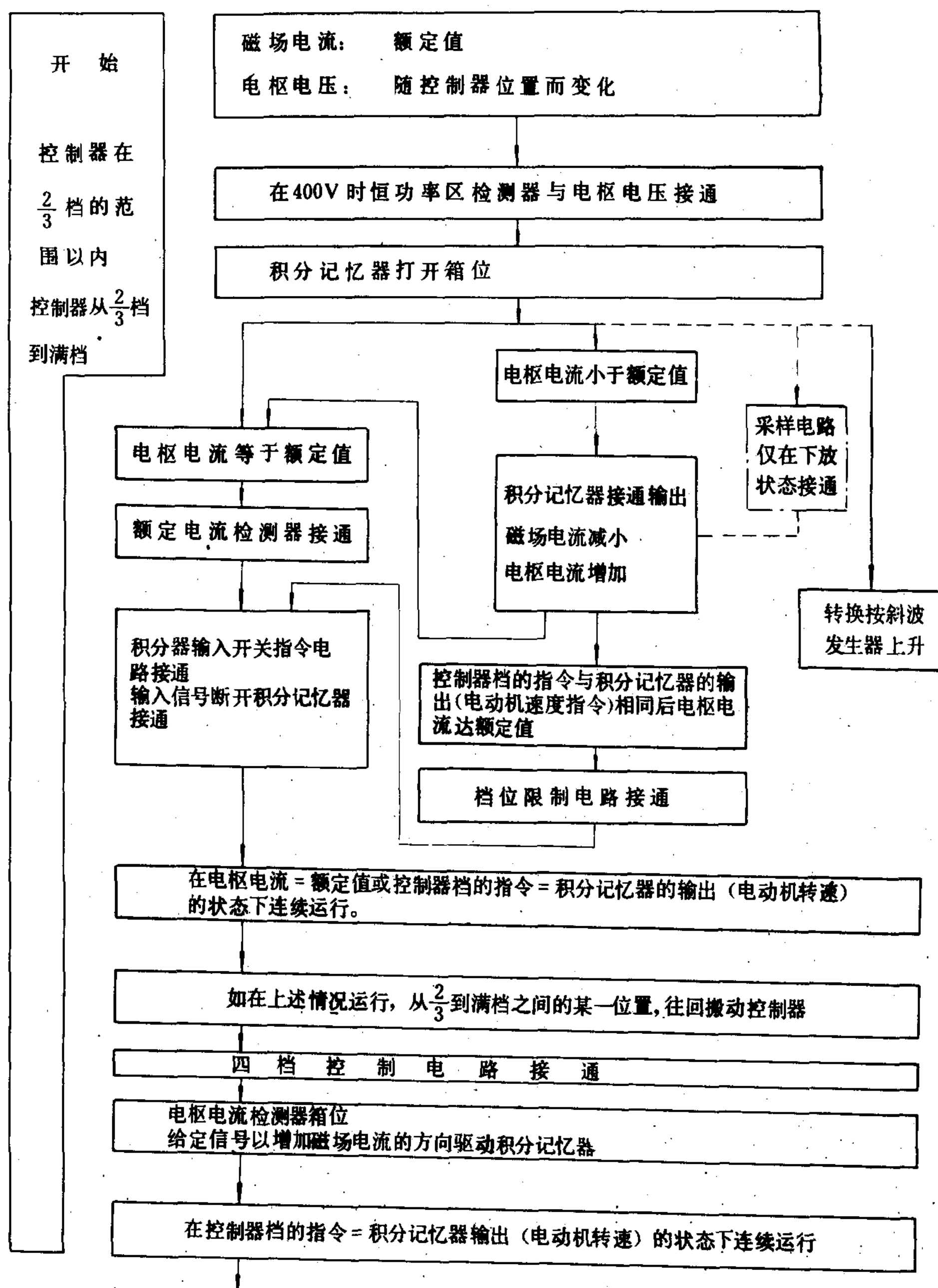


图8.3.8—9　自动弱磁控制的操作图

(9)回档控制电路

本电路在恒功率区允许控制器一档一档的退回。以增加磁场电流指令的方向驱动积分记忆器,从而减小电动机的转速直到与控制器档位的指令一致。

(10)积分器输入开关指令发生器

本电路根据来自额定电流检测电路6,档位限制电路8,回档控制电路9和采样控制电路15的信号接通或断开积分记忆器5的输入信号。

(11)磁场电流控制器

本电路采用来自过压限制电路2和积分记忆器5的信号作为设定值,而把磁场电流检测器1的输出作为反馈信号,实现比例积分调节,输出信号送至门极控制电路12。

(12)门极控制电路

该电路把磁场电流控制器11的输出转换为晶闸管的脉冲移相信号。

(13)频率补偿电路

本电路自动维持脉冲相位随电源频率而改变。

(14)弱磁斜坡发生器

外部信号由继电器接通时引入,由斜坡发生器慢慢地削弱磁场电流成为最小电流。

(15)采样控制电路

本电路以采样控制方法,在恒功率范围内实现下放的自动弱磁控制。更确切地说,本电路在监视电枢电流的同时,以较小的间隔驱动积分记忆器5。

3)自动弱磁控制的操作图(见图8.3.8—9)

参考文献

[1] 船用恒转矩变极变速起货机控制屏,上海电器厂

[2] XHHZ1系列船舶回转起货机三输出发电机—电动机控制系统,大连电机厂

[3] 大连海运学院:船舶电力拖动自动控制系统,人民交通出版社

[4] 船电技术(1986.3),船电技术编辑室

[5] 武汉造船(1982.2),武汉造船工程学会

第 9 章　船舶舵机电力拖动自动控制系统

1 概　述

舵机是改变船舶航向，或维持船舶按已定的航向航行的重要设备 。目前，船舶上广泛地应用电力拖动的舵机及自动操舵装置(俗称自动舵)。电动舵机具有体积小、动作快、适合于远距离操作等优点。舵机电力拖动的控制有自动、随动、非随动三种。有的船舶上还装有遥控操舵。自动舵是用来自动保持船舶在给定航向上航行的一种自动装置，其实质是一种航向自动控制系统，其被控量是航向。

2 对电动舵机的要求

2.1 工作安全可靠

2.1.1 供电可靠

从主配电板到舵机舱应当用两路分离较远的馈电线供电。在客轮上，一般馈电线中之一应接至应急配电板上，此时，应急配电板应以电缆与主配电板相连接。

2.1.2 电动机运行可靠

要求执行电动机具有软特性，并有足够的过载能力。当舵叶偏转时有一个垂直于它的力产生，偏舵角越大，此力越大。要使舵叶偏转，电动机产生的力矩必须克服舵杆上的阻力矩和传动机构的摩擦力矩，舵机满舵时阻力矩很大，冲击负载时舵叶可能被卡住，此时电动机发生堵转。采用硬机械特性的电动机，堵转力矩很大可能烧坏电机。为此，要求电动机有软的机械特性，使堵转力矩限制在过载能力所允许的数值内，并在带电下堵转 1min 电机不被烧坏。表 8.3.9—1 为采用不同拖动系统时电动机所获得的软机械特性曲线。

表 8.3.9—1　**不同拖动系统舵机电动机的软特性**

系统种类	直流复激电动机转子串电阻	F—D 系统发电机差激绕组	转速负反馈调速系统	带电流截止的转速负反馈系统	转速电流双闭环调速系统
机械特性曲线	n, o, M	n, o, M	n, o, M	n, o, M	n, o, M

此外，对电动机的工作制也有一定的要求。由于船舶在航行中，舵叶偏转十分频繁，舵机执

行电动机是重复短期工作制的，每小时工作可达400～600次，因此要求用JC＝15％或JC＝25％的重复短期工作制的电动机，也可用半小时或一小时 工作制的短期电动机。

2.1.3 控制可靠

1）舵机电力拖动装置至少有两个控制站（驾驶室和舵机室）。控制站之间应有转换开关，以防同时操舵。在电力拖动系统不能进行时，能迅速地转换到人工操舵。在驾驶室应设有自动、随动和非随动三种操舵方式。

2）舵叶从一舷至另一舷控制系统应设有限位开关。

3）舵机馈电线及电动机控制电路中只允许设短路保护和过载报警装置，该装置的额定值应不小于所保护的电动机或电路的满载电流的两倍，且应允许通过电动机的起动电流。

4）当操舵装置及控制系统的电源发生故障时，应在驾驶室内有声光报警信号。

2.2 要求有一定的偏舵速度

按我国规范规定舵叶从一舷满舵至另一舷满舵的转舵时间为28s。

3 非随动（应急）操舵系统

3.1 非随动操舵系统方块图

近代船舶上都装有非随动操舵装置。它是开环控制系统。系统的主要环节用方块图表明，见图8.3.9—1。它主要包括下列环节：

1）手柄：发出操舵信号的指令元件；

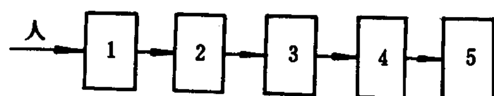


图8.3.9—1 非随动操舵系统的方块图

2）放大器：用来放大指令信号，供给执行机构。目前多采用半导体放大器，电气—液压放大器，磁放大器和电机放大机等。

3）执行机构：用来推动舵转动的装置。一般用电动机或电动液压装置。

4）传动装置：将执行机构的角位移传给舵。

3.2 非随动操舵的特点

非随动操舵的特点是：手扳舵转，手放舵停；左舵左扳；回舵右扳；右舵右扳，回舵左扳（见图8.3.9—2）。

进行非随动操舵，操舵人员必须经常观察罗经上的航向指示及舵角指示器，再根据操舵要求扳动操舵手柄，发出操舵信号。每转舵一次，扳动操舵手柄两次（一次发出信号使舵偏转，一次消除信号使舵停转）。因此，这种操舵系统虽简单；但操舵人员劳动强度大。

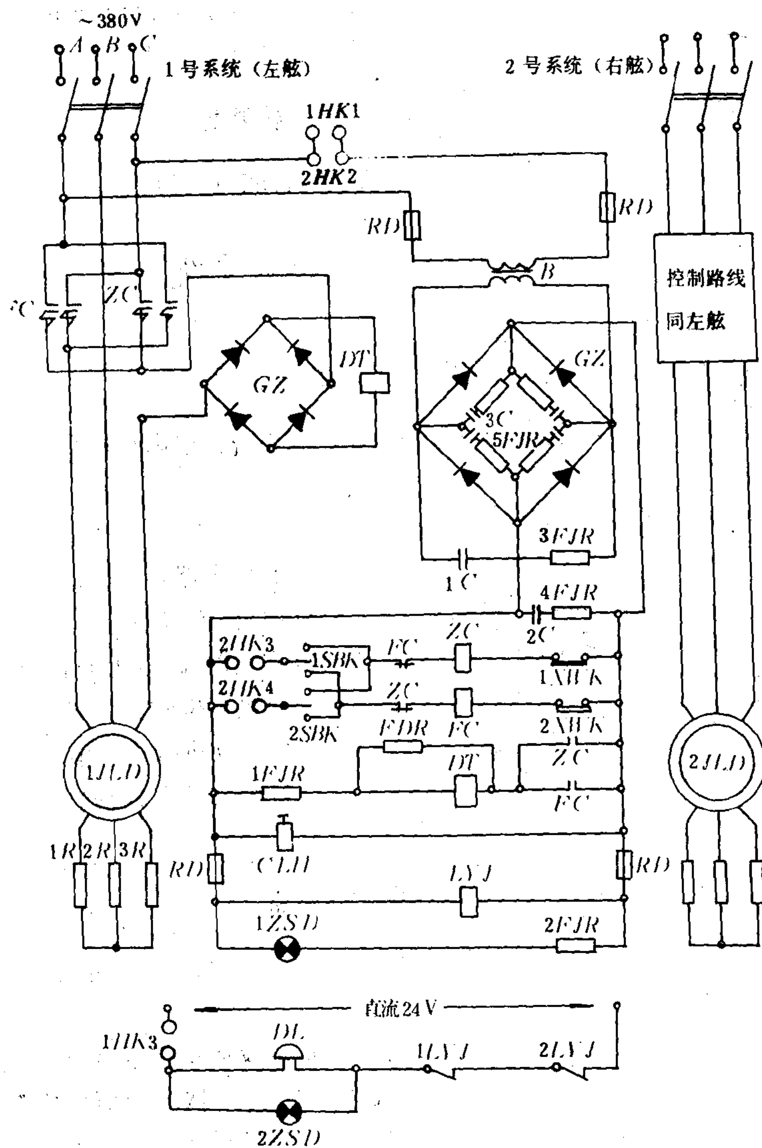


图 8.3.9—2 六百吨级船舶舵机原理图

4　随动操舵系统

4.1　随动操舵系统方块图

随动操舵系统方块图如图 8.3.9—3 所示。它是由指令机构、比较机构、测量机构和调节

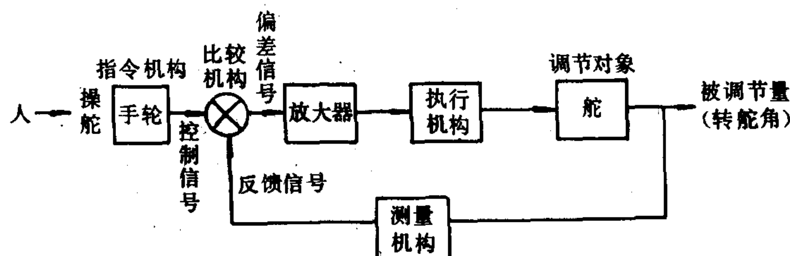


图 8.3.9—3　随动操舵系统方块图

对象环节所组成。以此实现被调量的自动调节作用。在系统中，被调量是舵角，调节对象是舵。

4.2　随动操舵电路

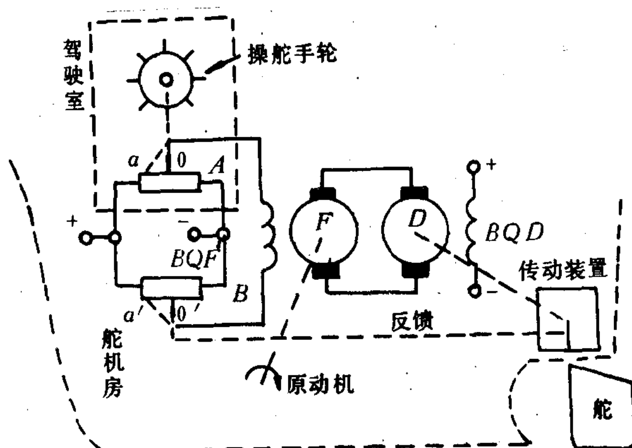


图 8.3.9—4　随动操舵电气原理图

图 8.3.9—4 为随动操舵电路图，指令机构是操舵手轮和它所带动的电位器 A（它的作用是产生控制信号）；测量机构是由舵带动的电位器 B（它的作用是用来测量被调量的大小）；比较机构是由电位器 A 和 B 所组成的电桥（它的作用是将控制信号和反馈信号相比较发生偏差信号）；执行机构是执行电动机 D（它的作用是根据偏差信号的大小对被调节对象进行调节或控制作用）；放大器是发电机 F（放大偏差信号送给电动机）。

4.3　随动操舵的特点

随动操舵的特点是：操舵手轮向某舷转某一指令航角，舵叶就跟随手轮的方向转某一舵角。操舵手轮转到零位，舵叶也跟随转到首尾线上停下来。总之，随动操舵时舵叶的偏转角度与操舵手轮的指令角度总是完全一致的。

5　自动操舵系统

自动操舵系统和自动操舵的基本原理见图 8.3.9—5。

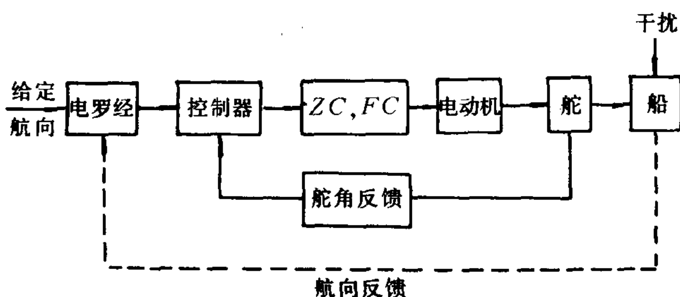


图 8.3.9—5　自动操舵系统方块图

自动舵的调节对象是船，被调量是航向。自动操舵系统包括随动系统(即图 8.3.9—3 中的环节)。自动操舵是由罗经作为敏感元件来代替人工发出操舵信号，使船回到给定航向。图中的控制器是自动舵的主要部件。给定航向与反馈信号之差就是航向偏差信号，此信号经自动舵中 PID 调节器及放大器至舵机电力拖动系统，其中 ZC、FC 是使电动机正反转的控制环节。自动操舵系统必须具备舵角反馈和航向反馈，两者缺一不可。如果没有舵角反馈，它是一个结构不稳定的系统；如果没有航向反馈，它就不能自动地保持在给定的航向上。

6　自动舵的分类

自动舵的种类很多，一般可按调节规律，检测元件的类型及放大器的种类来分。表 8.3.9—2 是按照调节规律分类的情况

表 8.3.9—2　**自动舵按调节规律分类情况**

种　类	操舵规律	特　点
比例舵	$\delta=-K_1\psi$	偏舵角与偏航角成比例，结构简单，精度较差，船舶运行不经济
比例一微分舵	$\delta=-(K_1\psi+K_2\frac{d\psi}{Dt})$	加快给舵速度，更好克服船舶回转惯性，提高精度
比例一微分一积分舵	$\delta=-(K_1\psi+K_2\frac{d\psi}{dT}+K_3\int\psi Dt)$	可消除船舶不对称偏航，结构复杂，不易调整

注：δ—偏舵角；ψ—偏航角；K_1—比例系数；K_2—微分系数；K_3—积分系数；

上述的是常用分类方法。除此之外，还有完成特殊使命的自动舵。如利用测深仪进行操纵，使船舶按等深线航行的自动舵(渔船用)；使船舶按一定的下潜深度航行的自动舵(潜艇用)，按给定航迹航行的自动舵和自动避碰的自动舵等。

7　对自动舵的基本要求

1)自动操舵性能良好

(1)具有一定的灵敏度。当船舶偏离航向达一定完角度(一般规定 0.2°～0.5°)时，自动舵应能立即动作，并能以一定的舵角(即一次偏舵角)，使船舶返回到给定航向上。

(2)能够产生二次偏舵角。当一次偏舵不足以使船舶返回正航向时，自动舵应能再次偏舵，一直促使船舶回到给定航向为止。

(3)能产生稳舵角(亦称反舵角)。船舶在舵的作用下返回给定航向时，由于船舶的惯性可能向另一方向偏航，为了使船舶恰好回到给定航向而不超过，此时舵必须向另一舷转过一个小

角度以抵抗船舶的惯性。

(4)能产生压舵角。由于船舶在航行中受到不对称的外界干扰(一舷的风浪,螺旋桨不对称,装载量不对称等)会产生一舷的持续力矩,船将产生不对称偏航。为此,必须使舵偏离首尾线一个舵角来抵消一舷的持续力矩。

(5)能方便地改变航向。在自动操舵时,即能维持在给定的航向上,又能按需要使船在新的航向上航行。

2)具有必要的调节装置

(1)灵敏度调节。灵敏度是指系统开始投入工作时的最小偏航角。它是根据天气,海况进行调节。风平浪静时调高些,大风大浪时调低些。

(2)舵角比例调节。偏舵角与偏航角之比例关系为舵角比例。当舵角比例过小,就不能产生足够的转船力矩,回转性能不好;如果舵角比例过大,使船可能回转过头,稳定性能不好。因此,要根据船型,装载,航速等情况调节舵角比例,特别要注意,在大风大浪中航行时舵角比例不宜过大。

(3)反舵角调节。船舶在偏离正航向时,自动舵能使船舶恢复到原来的正航向上。在恢复过程中,作"S"形衰减振荡航行,为了使船尽快地恢复到正航向,必须具有微分环节,以得到需要的反舵角。其大小根据船型,装载及天气情况调节。

(4)压舵调节(也称偏航调节)。为了消除持续干扰力矩而给出一个舵角,此舵角可由人工给定或加积分环节产生。

(5)航向调节。即小角度改变航向调节,目前已可做到随意改变航向。

3)要设有随动,非随动操舵设备

在船舶进出港或遇到紧急情况从及自动舵失灵时能立即转换为随动操舵或非随动操舵。

8　自动舵的控制原理

8.1　自动舵的比例控制

8.1.1　比例舵角的变化规律

所谓比例舵控制就是按船舶偏航角 ψ 与偏舵角 δ 成正比的规律来控制。其比例关系为(见表 8.3.9—2)。

$$\delta = -K_1\psi \tag{8.3.9—1}$$

偏航角的变化规律为:

$$\psi = \psi_0 \cos\sqrt{\frac{KK_1V^2}{J}}t \tag{8.3.9—2}$$

偏舵角的变化规律为:

$$\delta = -K_1\psi_0 \cos\sqrt{\frac{KK_1V^2}{J}}t \tag{8.3.9—3}$$

式中:ψ_0,K 为计算时的常数,V 为航速,J 为船舶回转时的转动惯量。

ψ,δ 随时间的变化曲线如图 8.3.9—6 所示的余弦变化规律,其周期为:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{KK_1V^2}} \quad (8.3.9—4)$$

8.1.2 比例控制的作用

由式(8.3.9—4)可见，K_1 是可调的比例系数，一般根据船型、吃水、装载量来决定。但船舶载荷增加(J 加大)，而且航速变慢，使周期 T 变长。为了缩短周期使船舶偏航迅速消除，就得加大 K_1。

8.2 自动舵的比例—微分控制

8.2.1 比例—微分舵角的变化规律

这种控制的特点是除了比例舵角 $\delta_1 = K_1\psi$ 外，还增加了一个与船舶偏航速度成比例的微分舵角 $\delta_2 = -K_2\frac{d\psi}{dt}$。

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = -(K_1\psi + K_2\frac{d\psi}{dt}) \quad (8.3.9—5)$$

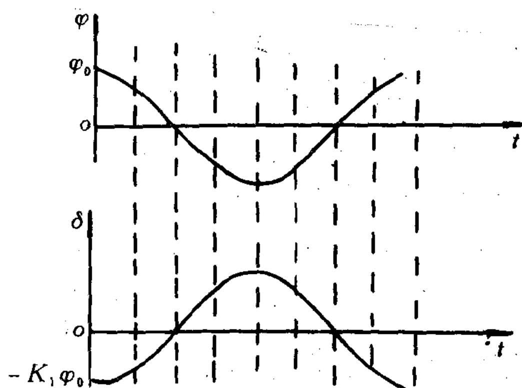


图 8.3.9—6 偏航角与偏航角随时间的变化规律

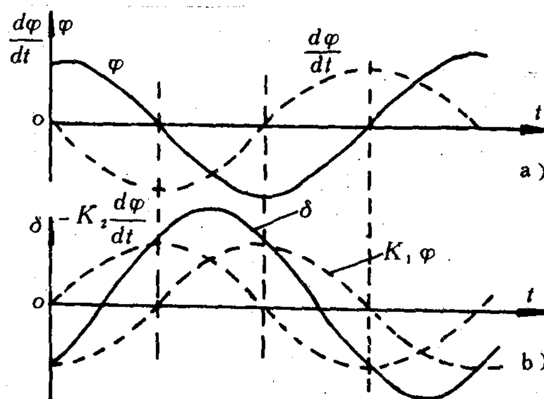


图 8.3.9—7 比例—微分舵的作用

8.2.2 比例—微分舵的作用(见图 8.3.9—7)

如果船舶偏航速度大，产生的 $-K_2\frac{d\psi}{dt}$ 也大，则舵角 δ 增加。

船舶回航时 $\frac{d\varphi}{dt}$ 变号，使回舵角增加。

船舶回至正航向时，便产生足够大的反舵角，克服船舶由于惯性向另一侧偏航。

增加微分环节可使船舶较快的稳定在正航向上。

8.3 自动舵的积分控制

当船舶一舷受到某种持续力矩的作用时，自动舵的积分环节可自动地使舵叶从首尾线偏转一个角度，从而产生一个恒定的转船力矩，此力矩的大小恰能抵消外界的恒定持续力矩的作用。自动舵中的积分元件开始是用二相感应电动机，它旋转的角度就反映了积累偏航角微分的作用。为了使二相电动机的输出转角突成电 的信号，它往往再转动一个旋转变压器或电位器。目前常用运算放大器作为积分元件。

8.4 自动操舵时船与舵的关系

从图 8.3.9—8 可见。在无风浪，流的干扰下 a：$\psi=0$，$\delta=0$ 船舶在给定航向上；b：船右偏，舵左转，ψ 信号电压＞δ 信号电压；C：ψ 和 δ 都为最大值；d：回航，回舵。ψ 信号电压＜δ 信号电压；e：船接近正航向，舵向另一舷偏 $\Delta\delta$ 角(稳舵角)；f：船回到给定航向，舵叶也回到零位，$\psi=0$，$\delta=0$。

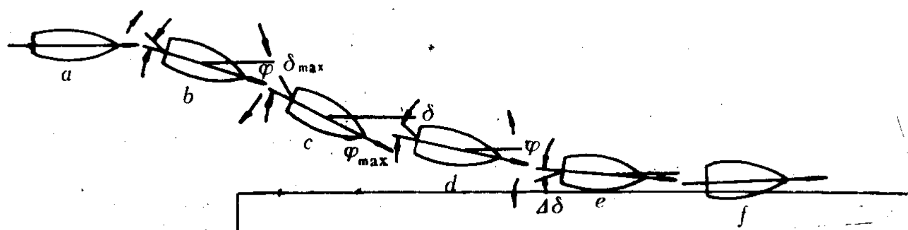


图 8.3.9—8 自动操舵时船与舵的关系

9 常规自动舵的几种类型

9.1 HQ—4 型自动舵(方块图见图 8.3.9—9)

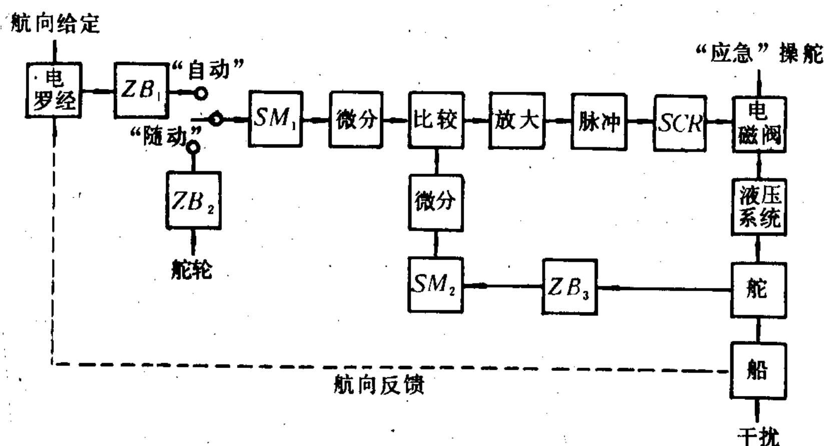


图 8.3.9—9 HQ—4 型自动舵方块图

它是比例—微分类型的自动舵。有自动，随动和应急三种操舵方式。此系统的执行机构为液压系统，由电磁阀控制。具备比例调节、微分调节、航向调节、灵敏度及压舵调节。

9.2 51 型自动舵(方块图见图 8.3.9—10)

该系统是属于比例—微分—积分类型的自动舵。可实现自动、随动和应急操舵方式。它设有比例调节、微分调节、灵敏度调节等调节旋钮。

9.3 "向阳"—3 型自动舵(方块图见图 8.3.9—11)

这种类型的自动舵是比例—微分操舵系统。设置自动、跟踪和应急三种操舵方式。可实现

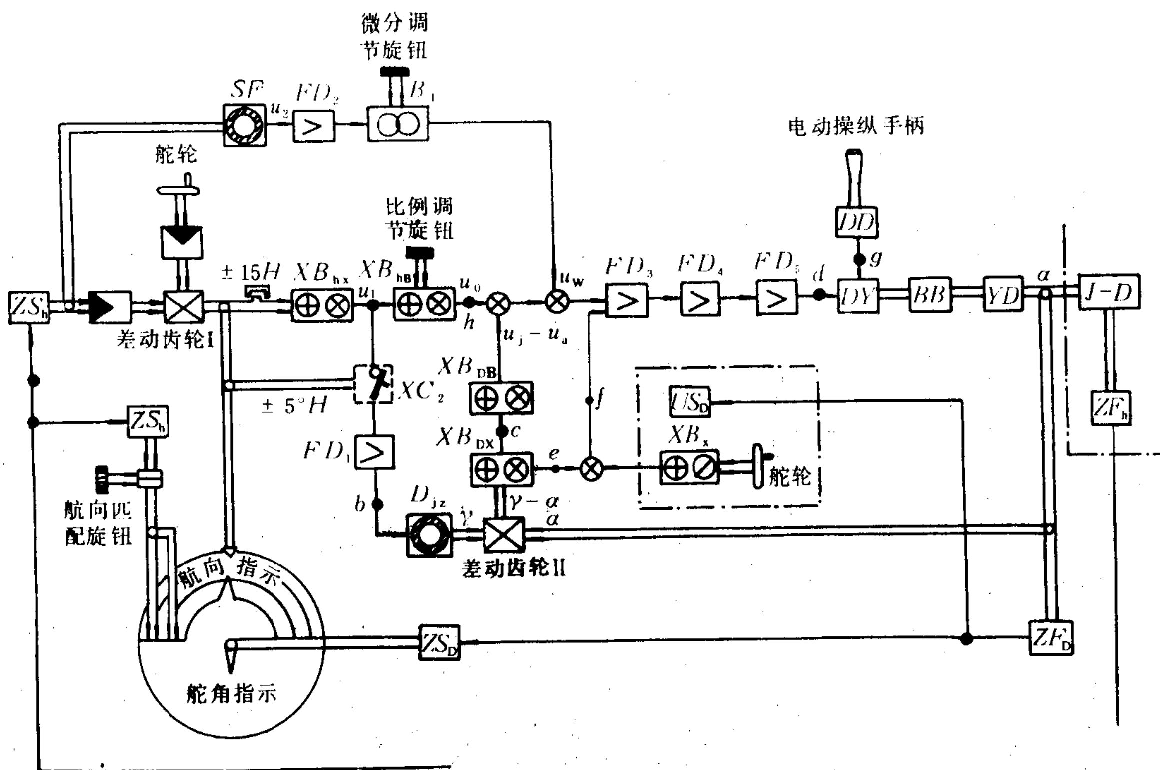


图 8.3.9—10 51 型自动舵结构

ZF_h—航向自整角发送器(分罗经);ZF_h—航向自整角接收机;SF—测速发电机(交流);B—微分调节变压器;xB_{hx}—航向线性旋转变压器;XB_{hB}—航向比例旋转变压器;ZF_D—舵角自整角变压器;ZS_D—舵角自整角接收机;US_D—舵角指示器;XB_{DX}—舵角线性旋转变压器;XB_{DB}—舵角比例旋转变压器;D_{JZ}—各分电动机(交流伺服电动机);Fd_1—积分放大器;FD_2—微分放大器;FD_3—综合放大器;FD_4—相敏放大器;FD_5—差动放大器;DD—直流电源(应急操舵用);DY—电液伺服阀;BB 变量泵;YD 液压舵机;J—D—船—舵

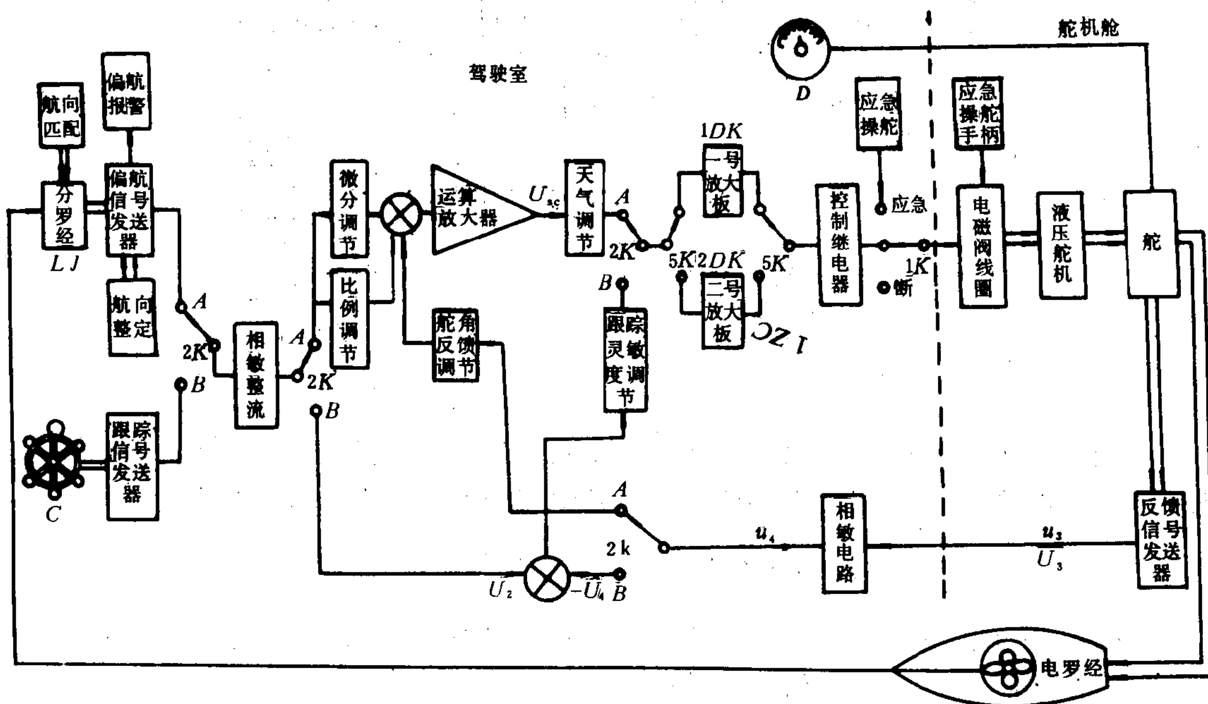


图 8.3.9 11 向阳—3 型自动舵系统结构图

A—自动位置;B—跟踪位置;C—舵轮;D—舵角指示器;1K—电源通断和应急开关;

2k—自动跟踪转换开关;5K—转换开关;1DK～2DK—转换开关;⇄机械联接;→电气联接

微分调节、比例调节、灵敏度调节、压舵调节、航向调节等。另外还设有偏航报警及电源故障报警。

9.4 斯帕利 MK1 型自动舵(见图 8.3.9—12)

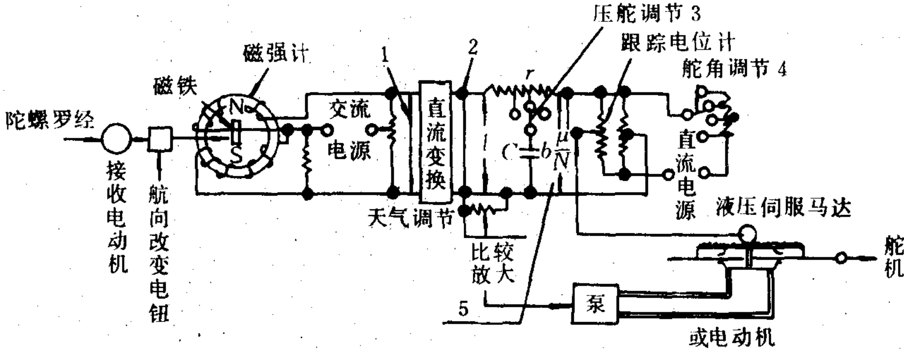


图 8.3.9—12 斯帕利 MK1 型自动舵原理图

1—交流航向信号;2—直流航向信号;3—压舵调节;4—舵角调节;5—比例调节后的输出信号

这种自动操舵系统较简单,是属于比例类型的自动舵设有比例调节,天气调节及航向改变调节。

9.5 东京计器 GLT—200 型自动舵(见图 8.3.9—13)

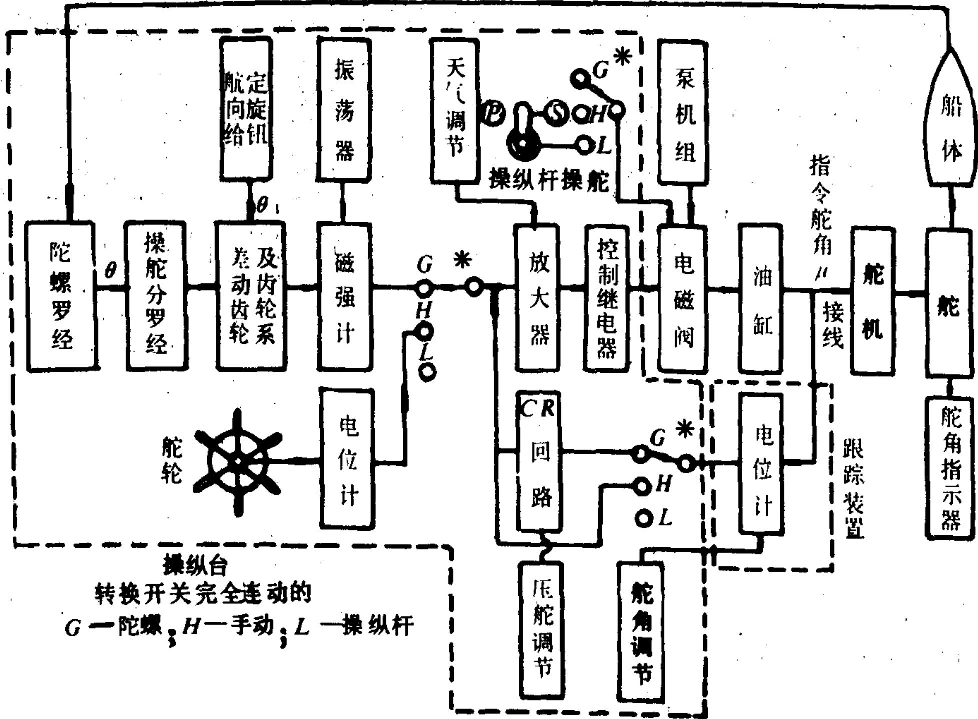


图 8.3.9—13 东京计器 GLT—200 自动舵工作系统图

自动舵的控制系统由磁强计,放大器,控制继电器,原机组,动力机组,跟踪电位计,CR 运算回路等组成。

系统设有自动,随动和手动三种操舵方式。

9.6 东京计器双装置型自动舵(见图 8.3.9—14 及 15)

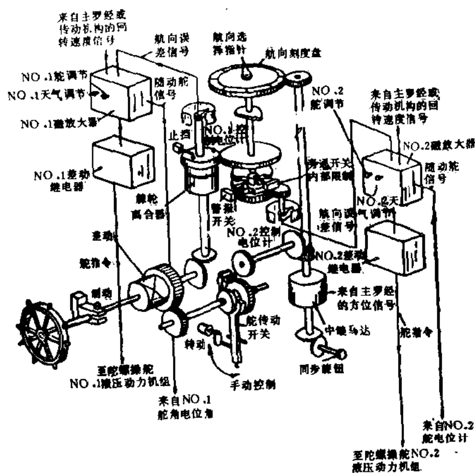


图 8.3.9—14　东京计器双装置型自动舵系统

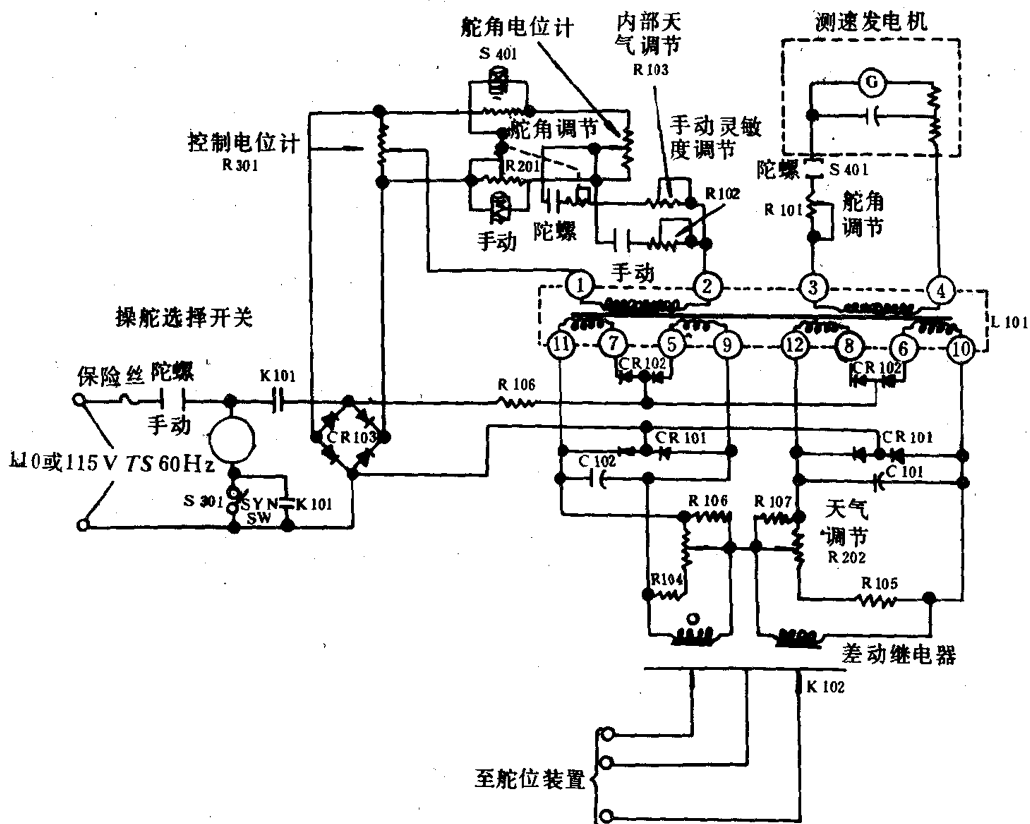


图 8.3.9—15　东京计器双装置型自动舵控制系统

该装置是双陀螺操舵仪(双套角速度陀螺操舵仪);因而提高了准确性和可靠性。电气系统设置了两组,可随意转换操舵。

该装置能进行自动,随动和应急操舵。

9.7 HSH 型自动舵(见图 8.3.9—16 和 17)

此种自动舵是比例—微分—积分控制型式。它的最后级放大器是采用磁放大器,将信号综合并加以放大。执行机构设置两套。

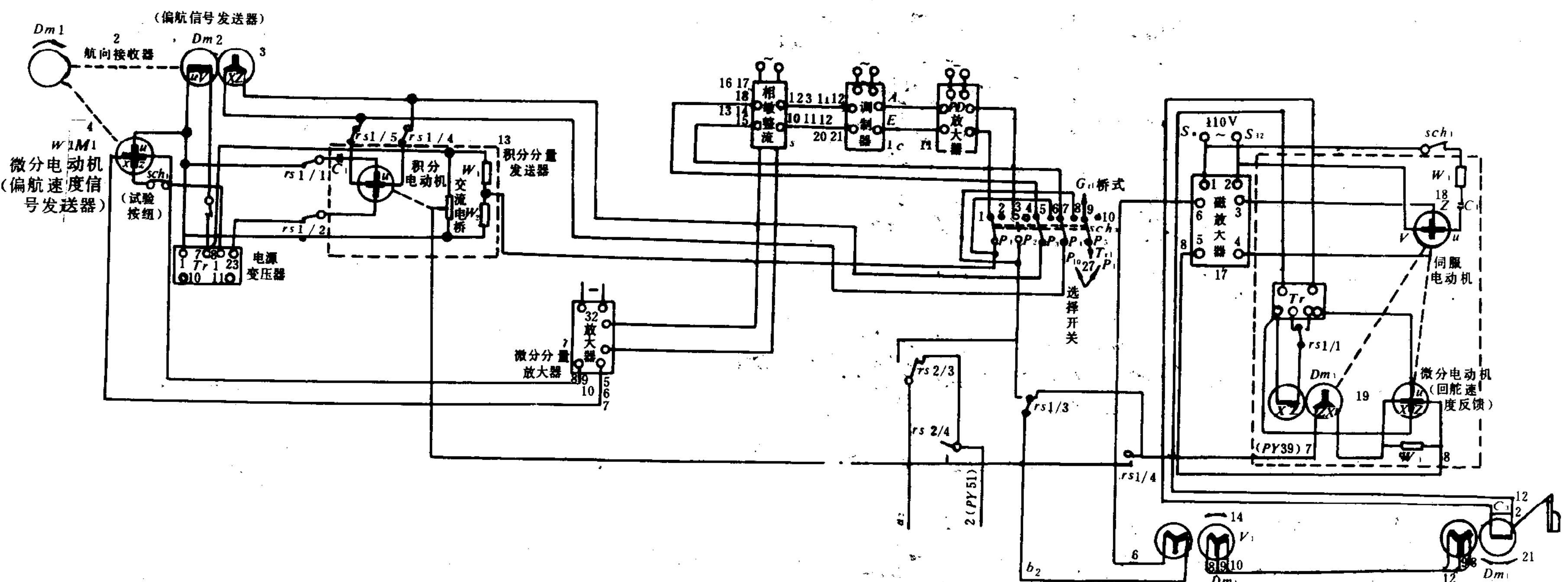


图 8.3.9—16 HSH 型自动舵系统图

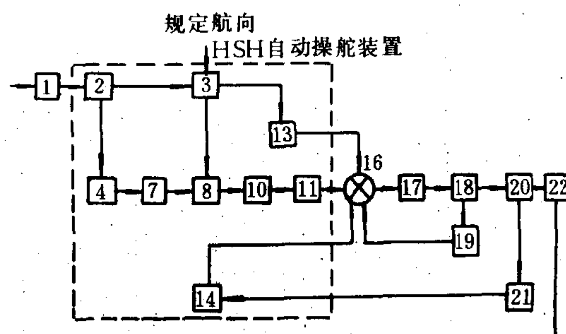


图 8.3.9—17　HSH 型自动舵 PID 调节系统方块图

1—电罗经；2—航向接收器；3—偏航信号发送器；4—微分分量发生器；7—微分分量放大器；8—相敏整流器；10—调制器；11—比例、微分分量放大器；13—积分分量发送器；16—比较环节；17—磁放大器；18—伺服电机；19—比例、微分反馈信号发送器；20—舵叶；21、14—舵角反馈；22—船舶

10　自动舵的控制线路

10.1　HQ—4 型自动舵的控制线路(见图 8.3.9—18)

10.1.1　概述

HQ—4 型自动舵是采用半导体无触点元件控制，属于比例—微分控制系统。它是与航海—2 型罗经配套使用的。通过电磁阀来控制定量泵的液压舵机。它有自动，随动和简单三种操舵方式。

10.1.2　HQ—4 型自动舵的工作原理

从罗经来的偏航信号通过自整角机 ZS_h 带动自整角变压器 ZB_1 和微分电路(R_{15},C_1)进入比较环节，经放大的航向信号触发晶闸管，使电磁阀动作，液压推动舵转。舵转带动舵角反馈自整角机 ZB_3，并产生一个相应的交流电压，经相敏整流器 SM_2 和微分电路(R_{128},C_{20},C_{21},C_{22})进入比较环节，而舵角反馈信号与偏航信号方向相反，当二者大小相等时，舵叶停止在某一角度上，使船回转。船舶回航时，偏航信号开始变小，此时反馈信号大于偏航信号，放大器输入相反，其输出信号使另一晶闸管导通，另一电磁阀动作，改变油路使舵回转。船舶接近正航向时，舵叶由于反馈回路的积分环节作用向另一舷转一小舵角。

随动操舵是由舵轮带动自整角机变压器 SB_2 来实现的。

应急持舵是由操纵手柄直接操纵左右舵电磁阀来实现的。

10.1.3　HQ—4 型自动舵的调节装置

1)压舵调节(R_{32})；

2)比例调节(R_{35}～R_{39})；

3)微分调节(C_1,R_{15}和 R_{128},C_{20},C_{21},C_{22})；

4)灵敏度调节(R_{51})。

图 8.3.9—18　HQ—4　型自动舵控制线路

10.2　HD—5L 型自动舵控制线路

HD—5L 型自动舵是属于比例一微分一积分自动操舵系统，它具有自动，随动和非随动三种操舵方式。系统的电气原理图如图 8.3.9—19a)b)所示。

10.2.1　系统的有关环节

1)信号发送器

XB_1：自动操舵信号发送器；XB_2：随动操舵信号发送器；XB_3：舵角反馈信号发送器。

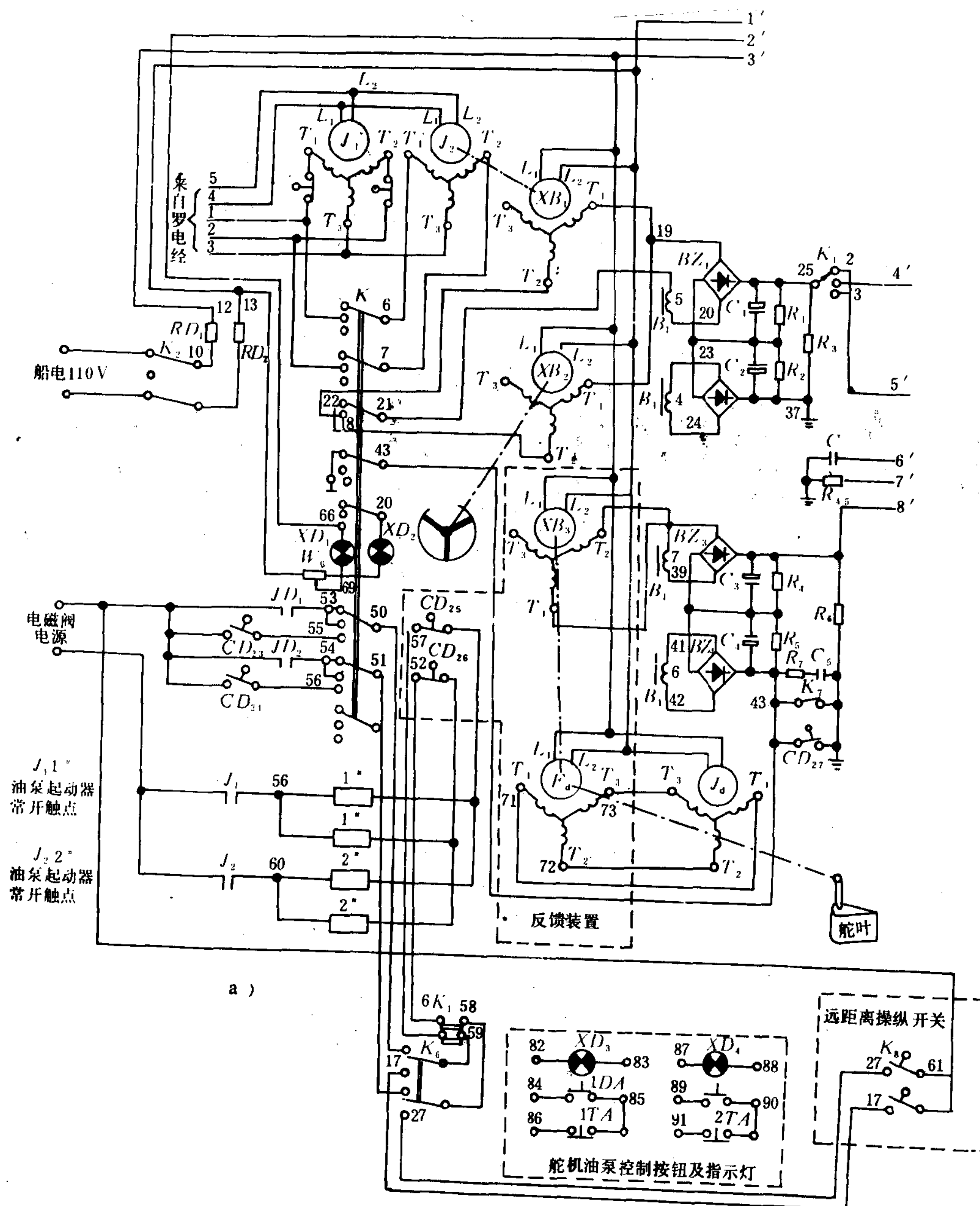


图　8.3.9—19

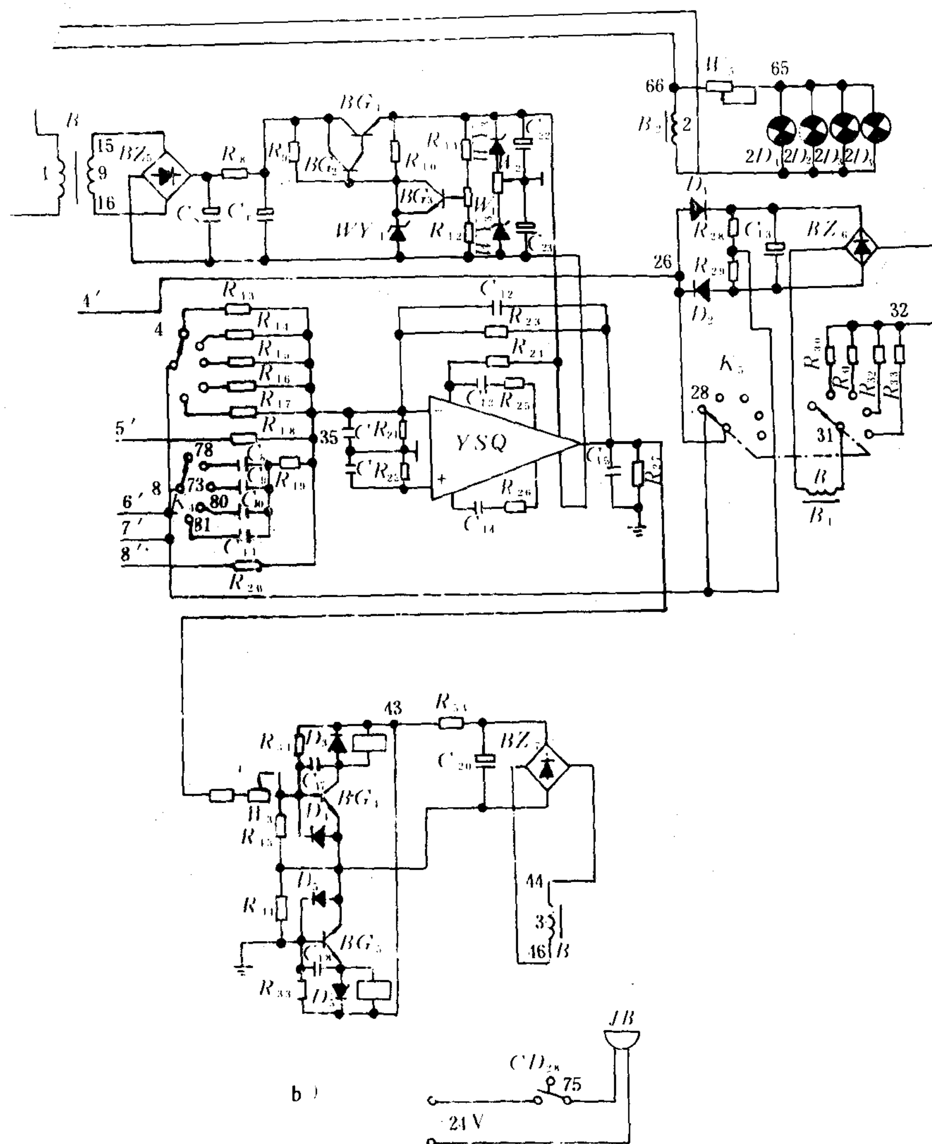


图 8.3.9—19　HD—5L 型自动舵控制系统

它们均是自整角机变压器，输出交流信号送给相敏整流器。

2)相敏整流器

HD－5L 型自动舵共用两组相敏整流器，一组供自动操舵和随动操舵信号用，另一组供舵角反馈信号用。它们是由 BZ_1 和 BZ_2(BZ_3 和 BZ_4)整流桥，电阻 R_1 和 R_2(R_4 和 R_3)所组成。

3)天气调节(灵敏度调节)

它是通过开关 K_5 改变附加死区来实现的。它由整流桥 BZ_6，电阻 R_{30}～R_{33}，R_{23}，R_{29}及二极管 D_1，D_2 等组成。当 K_5 在第一档时，偏航信号不附加死区，直接加至运算电路里，此时灵敏度最高。当 K_5 在其它各档时，偏航信号先克服 D_1 和 D_2 的闭锁电压及 R_{28}，R_{29}上的电压降之后才能送入运算电路里。可控制灵敏度的高低。

4)左右舵继电器

随动操舵和自动操舵时，用左右舵继电器 JD_1，JD_2 的触头来接通或断开左右舵电磁阀线圈 DCF_1 和 DCF_2。

5)舵角指示器

J_d：舵角接收器；

F_d：舵角发送器；

F_d 和 J_d 组成同步传动系统。

10.2.2 操舵原理

1）应急操舵

由操舵手轮控制触点 CD_{23}，CD_{24} 直接通断左右舵电磁阀 DCF_1 和 DCF_2。

2）随动操舵

操纵舵轮，XB_2 的交流信号经相敏整流，通过 R_3 加到 YSQ 的输入端；XB_3 的反馈信号经相敏整流，通过 R_{20} 也加到 YSQ 的输入端。其输出加到开关电路的输入端，控制继电器工作。

3）自动操舵

自动操舵时，XB_1 输出交流信号，经过相敏整流，天气调节环节，比例微分电路至放大器 YSQ，而舵角反馈信号通过相敏整流，C_5 微分至 YSQ，对两信号综合运算，其输出信号加到开关电路输入端，控制左右继电器工作。

10.3 “安修斯”型自动舵控制线路（见图 8.3.9—20a、b、c）

“安修斯”型自动舵也是一种比例—微分—积分自动操舵系统。它有自动和随动两种操舵方式，而无应急操舵。为了保证操纵系统的可靠性，两种操舵系统各自独立，各有自己的通道。

10.3.1 系统的主要环节

1）相敏整流电路

相敏整流电路由二极管 D_{13}～D_{16}，电阻 R_{35}～R_{38}，负载电阻 R_{39} 和变压器 B_1 的次级绕组所组成。

2）灵敏度调节

它是由一个波段开关 $K_{灵}$ 控制电阻 R_{44}～R_{52}，闭锁环节 D_{17}，D_{18}，R_{41}，R_{42} 所组成。其工作原理同 10.2 线路。

3）舵角反馈装置

舵角反馈信号由舵角反馈电桥电路产生。电桥的两臂由电位器 R_{18} 通过滑键分开，电桥的另外两臂分别由电阻 R_{60}，R_{63} 和 R_{62}，R_{64} 所组成。滑键处于中心位置时，电桥平衡，输出电压为零。当滑键离开中心位置，失去平衡，有信号输出。

反馈电路中装有电容 C_{33} 电阻 R_{65}，R_{57}，R_{70} 对偏航信号起积分作用。

4）放大电路

由晶体管 BG_9～BG_{15} 等组成具有开关特性的功率放大电路。其输出控制继电器 CJ_5 和 CJ_6 从而通断电磁阀 T_1 和 T_2。

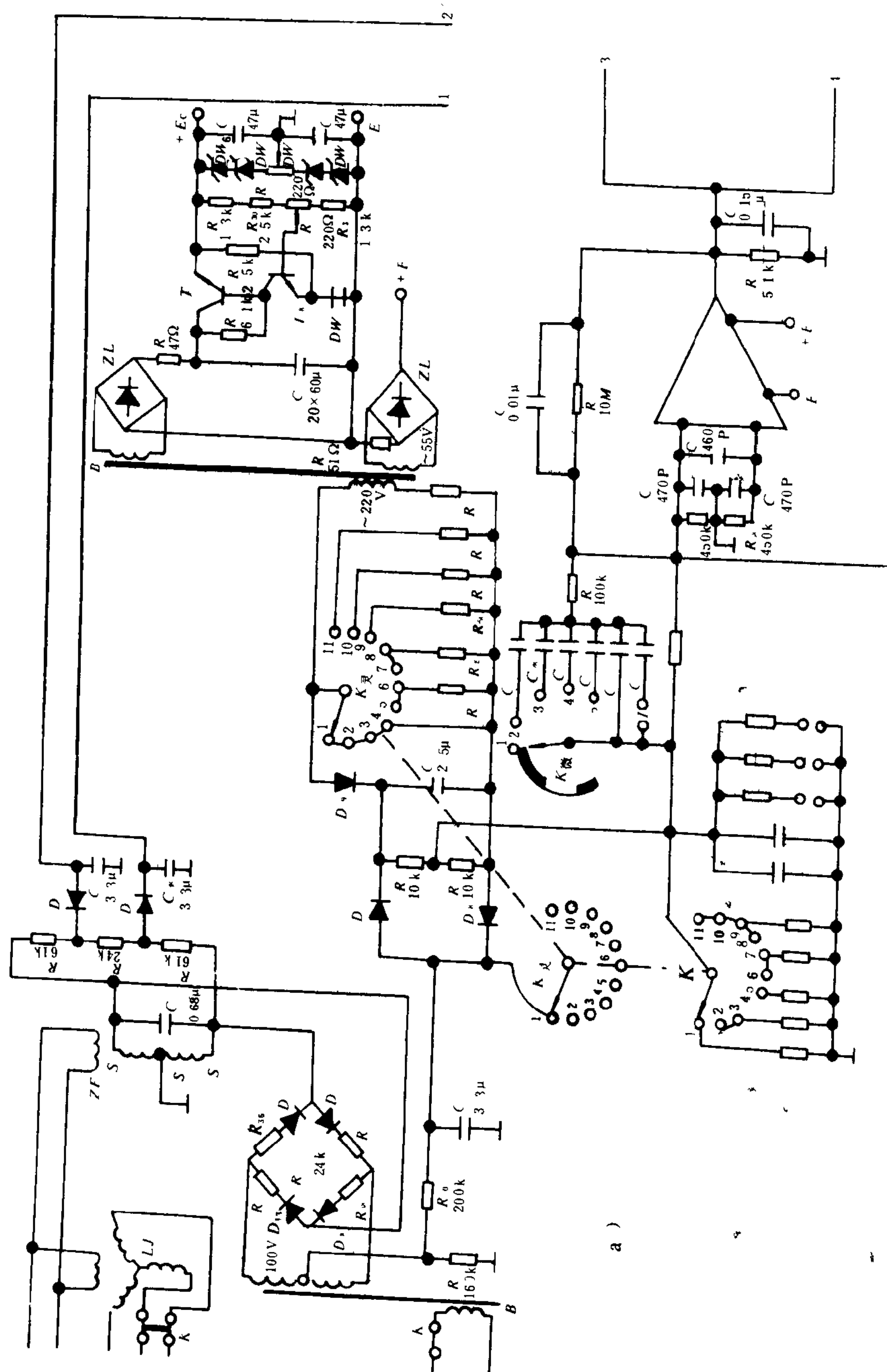
10.3.2 随动系统的组成

1）操纵方式开关 K_1 打到手动位置，自动信号发送器的航向接收机 J_1 与罗经的电路断开，舵角反馈电位器 R_{18} 与自动操舵的电路断开，改接到随动电路上。R_{18} 与 R_{17} 组成电桥，并将直流电源改为交流电源供电。

2）灵敏度调节电路由整流器 ZL_1，电阻 R_2，R_3，二极管 D_1，D_2 和电位器 R_4 组成。

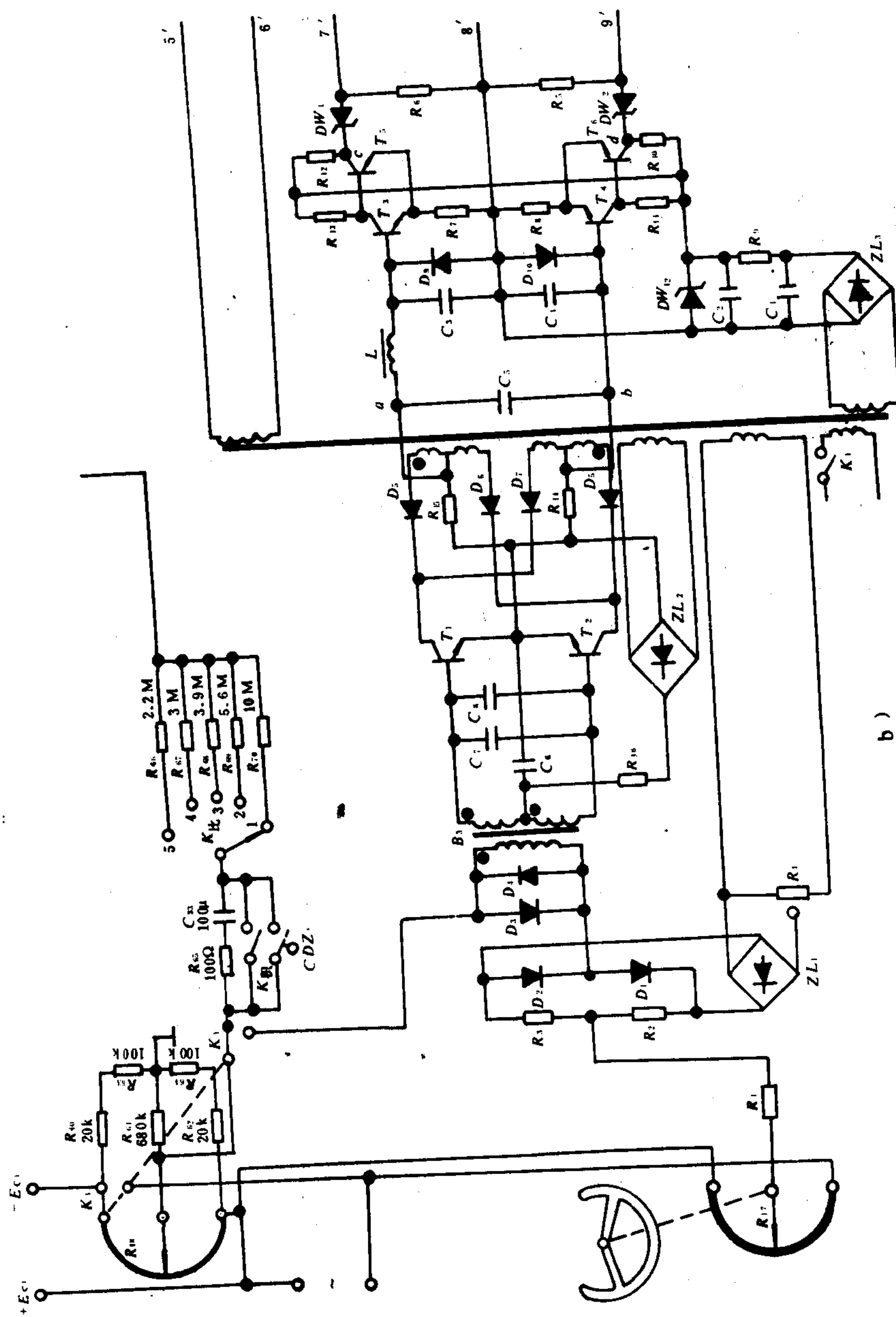
3）相敏放大电路由晶体管 BG_1，BG_2 等组成，B_2 副边供给交流电压。

4）开关电路由晶体管 BG_3～BG_6，晶闸管 SCR_1，SCR_2，整流器 ZL_3，ZL_4 组成。整流器 ZL_3 提供给晶体管电源电压，ZL_4 提供给晶闸管主电源。



a)

图 8 3 9 20



b)

图 8.3.9—20

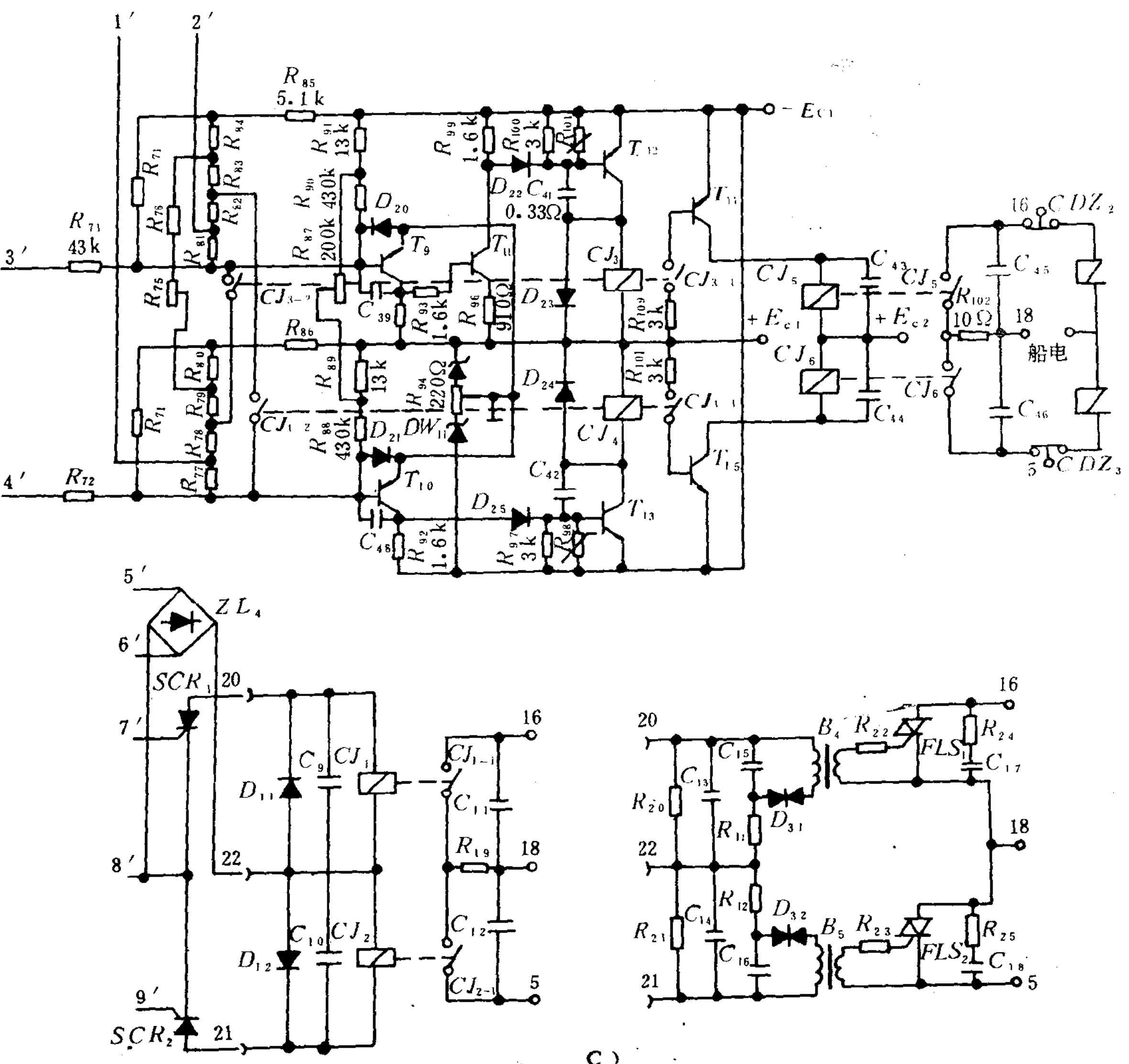


图 8.3.9—20 安修斯自动舵控制线路

10.4 SPERRY S·S·C 型自动舵

SPERRY S·S·C 型自动舵是借助于 SPERRY 型电罗经进行工作的。它是属于比例—微分—积分(PID)无触点控制系统。见图 8.3.9—21。

10.4.1 组成

SPERRY S·S·C 型自动舵系统由操舵仪,电动液压系统,舵角反馈装置等三部分组成的。

自动操舵时,转舵是通过自动控制同步系统、晶体管放大器、晶闸管组件、电磁阀、液压系统和舵角反馈装置来实现的。舵角反馈发讯器和自动控制同步发讯器是成对连接的,其输出信号间存在一定比例关系。方块图见图 8.3.9—22 所示。

10.4.2 工作过程

船舶的偏航由电罗经来检测,通过主罗经发送器把偏航角按 1/6 度逐级传送给罗经复示器电机,即主罗经发送器每转 1/6 度,复示器电机转动 1 度。

当船舶偏航产生一个航向误差信号时,经放大后加到晶闸管组件上。由此,依据偏航信号与电源是同相位或反相位接通相应的电磁阀。电磁阀工作后,液压传动系统工作,实现转舵。在舵的作用下,船舶将向原航向返回。与此同时,由于舵角反馈发讯器是和伺服油缸的的液压传动杆机械相连的,自动控制同步发讯器和舵角反馈发讯器之间的角度误差便消除了。

该自动舵的舵角量与偏航角之间的比例关系为 3 比 1。

10.4.2 工作过程

船舶的偏航由电罗经来检测,通过主罗经发送器把偏航角按 1/6 度逐级传送给罗经复示器电机,即主罗经发送器每转 1/6 度,复示器电机转动 1 度。

当船舶偏航产生一个航向误差信号时,经放大后加到晶闸管组件上。由此,依据偏航信号与电源是同相位或反相位接通相应的电磁阀。电磁阀工作后,液压传动系统工作,实现转舵。在舵的作用下,船舶将向原航向返回。与此同时,由于舵角反馈发讯器是和伺服油缸的的液压传动杆机械相连的,自动控制同步发讯器和舵角反馈发讯器之间的角度误差便消除了。

该自动舵的舵角量与偏航角之间的比例关系为 3 比 1。

10.4.3 调节旋钮

SPERRY S·S·C 型自动舵有以下几种旋钮,参照图 8.3.9—22 和图 8.3.9—23。

1)航向旋钮:调节该旋钮,可转动罗经复示器电机转子,从而带动了与其机械相连的自动控制同步发讯器转子,使其产生一个误差信号,指令转舵,船舶随之改变航向,罗经发出信号使复示器电机转子回至零位,此时舵回至对应的新航向的正中位置,船舶保持新航向。该旋钮只能在 11 度内逐度调节(航向微调)。

2)舵角调整旋钮:在不同海况和装载情况下应进行调节的。当船舶偏航时,来自自动控制同步发讯器的输出信号经放大使执行机构动作而指令一个舵角;同时来自"初始舵存贮放大器"的附加信号迭加到自动控制同步发讯器输出信号上,于是加大了偏舵速度,加大偏舵角。

图 8.3.9—21　SPERRY S・S・C 型自动舵系统图

1—手轮控制同步发送器；2—操舵复示器；3—舵角指示器；4—指令舵角；5—舵角调整；6—航向调整；7—天气调整；8—放大器与 SCR 触发发送器；9—电罗经复示器电动机；10—自动控制同步发送器；11—辅助控制器；12—辅助控制齿轮；13—离合器；14—控制开关；15—控制方式选择开关；16、17—电源转换开关；18、19—油泵电动机；20—浮动杆；21—随动杆；22—舵机；23—舵叶；24—舵角发送器；25—伺服油缸柱塞；26—反馈同步控制发送器

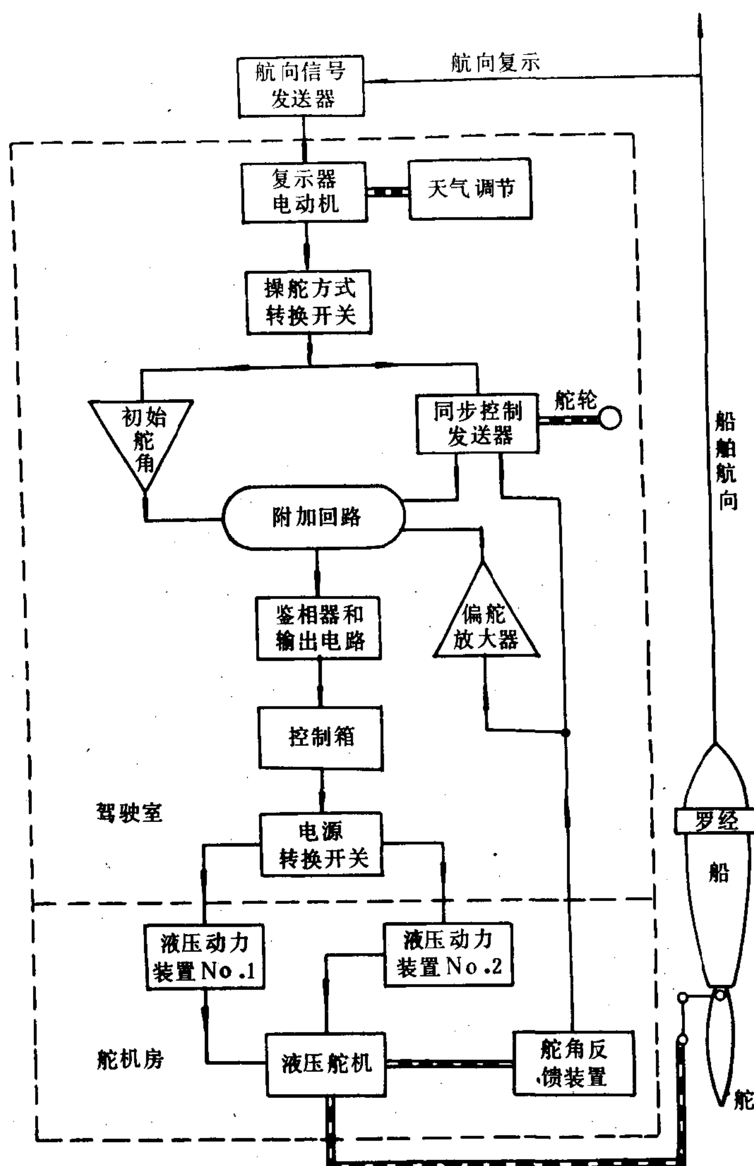


图 8.3.9—22　SPERRY S・S・C 型自动舵方块图

3)天气调节旋钮：它调节偏航角死区的大小，好天气死区调得小，坏天气为消除因恶劣天气引起船舶过大的偏摆，调节"天气调整"旋钮的位置，也就改变了位于罗经复示器电机定子上两个限位桩头与舌形齿条间的游隙大小，可调到 6 度范围的"死区"，即固定航向的±3 度范围内。

10.4.4 SPERRY S・S・C 型自动舵的使用

自动舵设有"自动"，"手动"，"辅助"三种操舵方式。

1)控制手柄在"自动"位置

(1)晶体管放大器，晶闸管电路接至电源；

(2)主罗经发送器和罗经复示器相接；

(3)舵角反馈同步发讯器转子接至电源；

(4)自动控制同步发讯器转子和放大器相连；

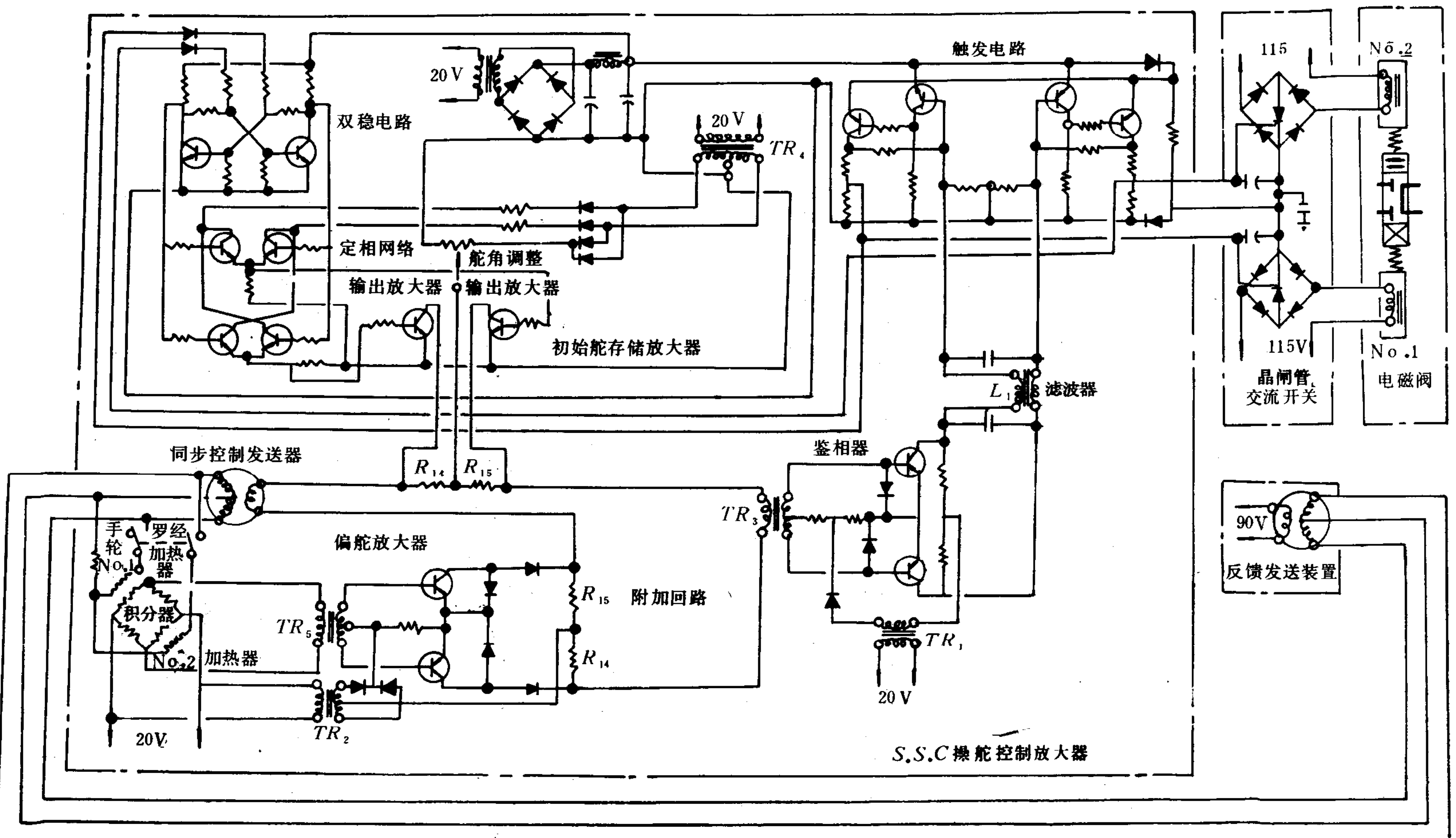


图 8.3.9—23 SPERRYS·S·C型自动舵原理图

(5)舵角反馈同步发讯器定子和自动控制同步发讯器定子相连；

(6)舵角调整电路、航向积分环节接至电源。

2)控制手柄在"手动"位置

(1)晶体管放大器、晶闸管电路接电源；

(2)舵角反馈同步发讯器转子接至电源；

(3)手动控制同步发讯器转子和放大器相连；

(4)舵角反馈同步发讯器定子和手动控制同步发讯器定子相连。

3)控制手柄在"辅助"位置

(1)放大器所有输入、输出电路断电；

(2)辅助控制器接至电源；

(3)离合器动作，使操舵手轮和辅助控制器通过齿轮连接起来；

(4)液压油泵投入工作。

11 自适应自动操舵装置及其控制线路

11.1 概 述

船舶自动操舵装置(简称自动舵)是船上进行船舶操纵的重要设备，它能使船舶自动保持于设定航向。目前它已从电子式常规自动舵发展到新一代的用微型计算机的具有自适应控制功能的自适应自动舵。

每艘船都有其自已固有的运动特性，其动态特性就是通常所称的船舶数学模型。船舶数学模型的参数是随船速、装载吃水差和海况等因素的变化而变化。常规自动舵不可能在不断变化着的运行环境下实时精确地辨识船舶数学模型的参数，也不可能随着模型参数的变化自动调节其参数而经常会偏离其最佳工作状态，这样就会造成动舵次数多，转舵角和偏航角大的后果。一般动舵次数越多，转舵角度越大，船舶在转舵时所受到的海水阻力也越大。阻力增大会加重船舶主机的负荷，导致主机转速下降，其调速器必须增加燃油供给来防止转速下降，使燃油消耗增大。此外阻力和偏航角的增大会降低船速，从而降低了船舶运营的生产率和经济效益。动舵次数多的另一恶果是会产生无效舵。当操舵频率超过船舶开始转向的极限操舵频率时，无论转多大舵角，船都不会转向，转舵成为无效舵，从节能的观点是不希望的。为提高船舶的操纵性能避免无效舵的发生，对常规自动舵历来是靠驾驶员的经验用手动方式调节 PID 旋钮来实现。但如果 PID 旋钮调节不当不仅会增加主机的燃料消耗和降低船速而且在遇到大风浪时会造成大角度的左右偏舵和大角度的左右偏航，这在大风浪中航行是危险的。显然上述缺点很难满足 1975 年国际海协(IMO)通过关于自动舵执行标准的建议案 A342 条的规定："(1)在有关船舶机动性范围内自动舵应使舵机以最小的动作来保持航向；(2)自动舵能适应船舶各种气候和负载情况下不同的操纵性和确保在各种条件下的可靠操纵"。

自适应自动舵根据可测量到的船舶现时状态的信息(如转舵角、船首向、偏航角和船速等)不断地实时辨识船舶模型和扰动模型的参数，或有效地滤除噪声，实施有效的控制使船舶能按设定的性能指标尽可能达到和接近最优控制。这样必然可以避免无效舵，在大风浪中航行时能自动限制转舵角实现节能和安全航行的目的。

自适应自动舵从 60 年代开始研制，目前已有各类产品投放市场。如原联邦德国 Anschütz

公司的 NAUTOPILOT A 型和 CPLATH 公司的 NAVIPILOTAD 型,日本 YEW 公司的 PT—21 型,东京计器公司的 PR—7000 型,三菱重工的 TONAC 型,英国 Recal—Decca 的 780 型,瑞典的 KADPIL 型和荷兰 Amerongen 教授设计的产品[7]等。我国对自适应操舵装置的研制虽起步较晚,但近年来无论在理论研究和产品研制方面都取得了一定的进展。

11.2 自适应自动操舵装置的表述

用微机控制具有自适应控制功能的自动舵称为自适应自动操舵装置。当船舶航行的条件为不确定或随机变化时(如风、浪、流外部干扰和船速、载重、吃水及转舵角的随机变化)船舶航向控制系统中的被控对象(船)和对船的扰动(风、浪、流等)的数学模型的参数(或状态)是随机变化的。自适应自动舵通过测量船舶现时状态的连续信息(舵角、船首向、船速等)不断实时辨识船舶和扰动模型的参数或根据当前系统性能与期望的性能进行比较作出使系统趋于最优的决策,并修正自动舵控制器的参数,对舵机实施有效的控制(这就是通常说的自适应算法),使得期望的性能指标尽可能接近和保持最优。

因此自适应自动舵涉及船舶和扰动的数学模型、模型的参数辨识、性能指标和自适应算法等一系列问题。

11.3 自适应自动操舵装置的分类

目前较流行的自适应控制分成两大类,即自校正控制和模型参考自适应控制。

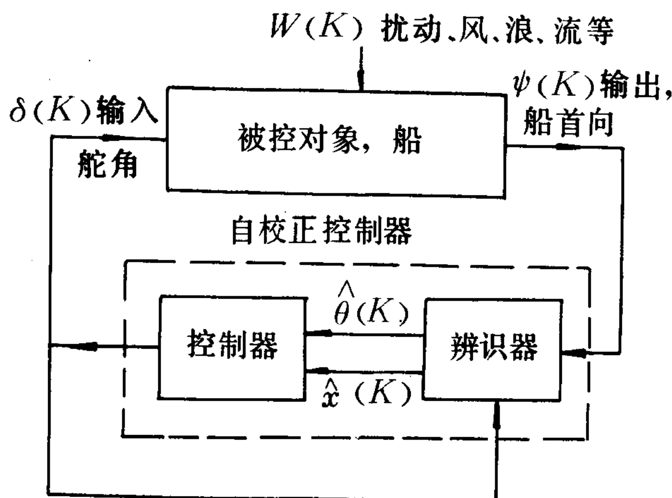


图 8.3.9—24 自校正控制的自适应自动舵系统框图

自校正控制的自适应自动舵系统框图如图 8.3.9—24 所示。它包括被控对象和自校正控制器两部分。当船舶和扰动数学模型的参数(或状态)随机变化时,辨识器根据测量到的输入(舵角等)和输出(船首向等)信号用某种辨识算法在线辨识船舶模型和扰动模型的参数 $\theta(K)$ 或状态 $x(K)$,控制器利用辨识得到的估值 $\theta(K)$(或 $X(K)$)与事先选定的性能指标通过控制算法对控制器的参数进行修正,再用修正后的参数和测得的输出量算出下一步应有的控制作用(即指令舵角)。随着运行过程的不断进行,自校正控制器不断地进行采样、估计、修正和控

制，使控制的性能指标接近最优。

模型参考自适应自动舵系统的框图见图 8.3.9—25。它包括参考模型、自适应机构和由被控对象与控制器组成的可调系统。参考模型对于给定的输入能够产生期望的输出响应。当被控对象(船)受到风浪等外界扰动时，可调系统 的输出和参考模型输出之间存在着偏差。自适应机构根据选定的性能指标 J，由控制器去修正可调系统的参数，使 J 为最小，以达到可调系统的特性接近于理想参考模型的特性。

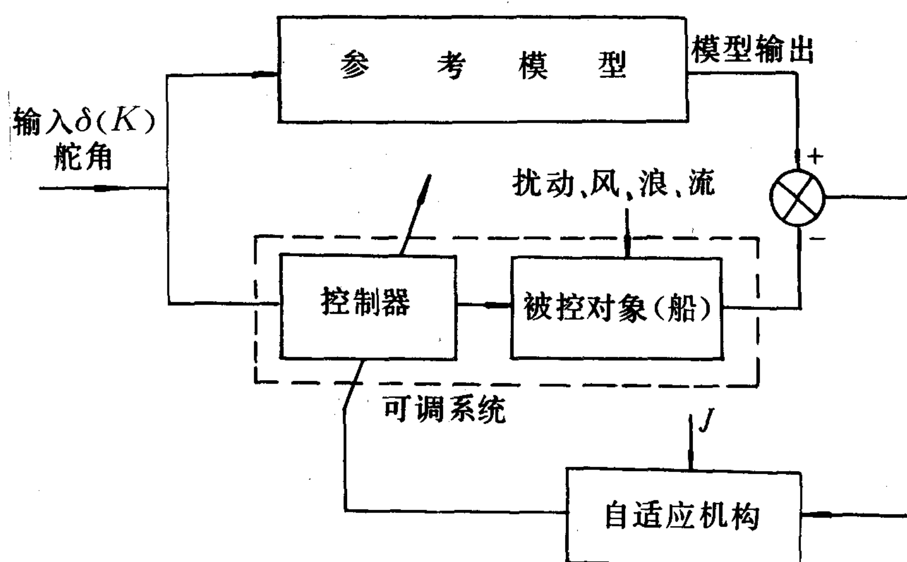


图 8.3.9—25 模型参考自适应自动舵系统框图

11.4 船舶数学模型和加于船上的扰动模型

比较常用的船舶模型是野本(Nomoto)二阶线性模型[13]：

$$T_1T_2\dddot{\psi}+(T_1+T_2)\ddot{\psi}+\dot{\psi}=K(T_3\dot{\delta}+\delta) \tag{8.3.9—6}$$

式中：ψ——船首向；

δ——舵角。

通常 $T_2 \ll T_1$，且 $T_2 \approx T_3$，所以式(8.3.9—6)可近似为一阶 Nomoto 模型：

$$T\ddot{\psi}+\dot{\psi}=K\delta \tag{8.3.9—7}$$

写成传递函数形式以上两式分别为：

$$G_{\psi\delta}(S)=\frac{K(T_3S+1)}{S(T_1S+1)(T_2S+1)}=\frac{b_1s+b_2}{s^3+a_1s^2+a_2s+a_3} \tag{8.3.9—8}$$

$$G_{\psi\delta}(S)=\frac{K}{S(TS+1)} \tag{8.3.9—9}$$

式中： $T \approx T_1+T_2-T_3$

由风浪引起作用在船上的扰动模型为：

$$G_{\psi f}(S)=\frac{\psi(S)}{f(S)}=\frac{k'(T_3S+1)}{S(T_1S+1)(T_2S+1)} \tag{8.3.9—10}$$

上式也可近似写成：

$$G_{\psi f}(S)=\frac{K'}{S(TS+1)} \qquad (8.3.9—11)$$

文献[14]指出，在航向自动控制系统中，$K\approx K'$，$T_3\approx T'_3$，因此 $G_{\psi\delta}\approx G_{\psi f}$。

既有控制作用又有扰动作用的船舶数学模型为：

$$\begin{aligned}\psi &=G_{\psi\delta}(S)\delta+G_{\psi f}(S)f\\ &=\frac{K}{S(TS+1)}\delta+\frac{K'}{S(TS+1)}f\end{aligned} \qquad (8.3.9—12)$$

上式可转为对应的离散模型：

$$\begin{aligned}y(k)&=a_1y(k-1)+\cdots\cdots+a_ny(k-n)+b_1u(k-1)+\cdots\cdots+b_nu(k-n)+\xi(k)\\ &+c_1\xi(k-1)+\cdots\cdots+c_n\xi(k-n)+d\end{aligned} \qquad (8.3.9—13)$$

$$y(k)=\psi(kT_3);u(k)=\delta(kT_3)$$

式中：T_3 ——采样周期；

$\xi(K)$ ——表征风浪等扰动和测量误差的零均值独立随机变量；

d ——侧面风流等恒定扰动量。

数学模型也可用状态方程的形式表示[15]：

$$d/dt\begin{bmatrix}v\\ r\\ \psi\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}a_{11} & a_{12} & a_{13}\\ a_{21} & a_{22} & a_{23}\\ 0 & 1 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}v\\ r\\ \psi\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}b_{11}\\ b_{21}\\ 0\end{bmatrix}\delta+\begin{bmatrix}f_1\\ f_2\\ 0\end{bmatrix} \qquad (8.3.9—14)$$

式中：f_1 和 f_2 ——扰动量；

v ——船舶横荡速度；

$r=\dot{\psi}$ ——偏航速度。

比较式(8.3.9—8)及式(8.3.9—14)，则：

$$\left.\begin{aligned}a_1&=-a_{11}-a_{12}\\ a_2&=-a_{12}a_{21}+a_{11}a_{22}-a_{23}\\ a_3&=-a_{13}a_{21}+a_{11}a_{23}\\ b_1&=b_{21}\\ b_2&=a_2b_{11}-a_{11}b_{21}\end{aligned}\right\} \qquad (8.3.9—15)$$

11.5 自适应控制的性能指标

对自适应自动舵性能指标的选择极为重要。比较常用的是 Norrbin 提出的旨在使转舵和偏航引起的附加阻力为最小的性能指标[16]：

$$J=\frac{1}{T}\int_0^T[(\triangle\psi)^2+\lambda\delta^2]dt \qquad (8.3.9—16)$$

式中：λ——加权系数。

Åström 在设计自校正航向保持的自动舵时，选用了以下的性能指标[17]：

$$J=\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}[\psi(t+k+11t)-\psi_{ref}]^2 \qquad (8.3.9—17)$$

式中：ψ_{ref}——参考船首向。

日本 TONAC 和 YEW 公司自适应自动舵选用的性能指标分别为：

$$J = E\{[y(t+k+1) - y_r]^2 + \lambda u^2(t)\} \qquad (8.3.9—18)$$

$$J = \int_0^T [\lambda_1 \Delta\varphi^2(t) + \lambda_2 \delta^2(t) + \lambda_3 \varphi^2(t)]dt \qquad (8.3.9—19)$$

式中：λ_1、λ_2 和 λ_3——加权系数。

11.6 分析自适应自动操舵装置线路的基本要领

自适应自动舵当前由于技术保密，生产厂往往只提供板面布置图及操作步骤等极不完整的资料，如何根据这些资料来分析其线路是管理人员需要解决的问题。

1)弄清与常规自动舵共有的基本装备，它们是：

(1)OFF—ON—NF(非随动) 主控开关；(2)操舵分罗经；(3)操舵手轮及手操舵舵角指示器；(4)非随动操舵用的操舵手柄；(5)操舵系统选择开关；(6)舵角指示器；(7)运行指示灯；(8)报警指示灯；(9)指示灯的亮度调节器；(10)电罗经航向匹配校正器；(11)舵角反馈装置；(12)航向设定开关等。

2)因自适应自动舵是用微机控制的，因此要弄清微机控制的基本装备，它们是：

(1)微处理机印刷电路板。它包括 CPU、ROM 或 EPROM、RAM、译码器等，一般从集成电路芯片的型号通过查手册就可知道芯片的名称、功能、片脚意义及接线图等。这样就可大致了解微机控制的基本结构。(2)输入输出印刷电路板，它一般包括模/数及数/模转换器、驱动器，D 触发器等。(3)微机专用抗干扰电源。(4)电罗经(或磁罗经)数字电路接口。(5)数字显示电路。(6)键盘等。(7)软件均固化于 ROM 或 EPROM 中，它一般包括系统辨识、自适应控制算法、显示和故障检测等程序。

3)弄清自适应控制原理

在资料不完整且没有线路图的情况下要弄清自适应控制原理是比较困难的。但以下几点可作为分析原理的参考。

有以下情况者多半是属于模型参考自适应控制：(1)自适应自动舵上设有参数整定开关，当它安装在船上时，制造厂要求提供该船的船舶要素(船长、型宽、吃水、排水量等)，并在安装时根据这些数据通过整定开关装入微机。(2)在满载/压载选择开关；(3)有船速选择开关。

自校正自适应自动舵一般不需要提供船舶要素，也不需要满载/压载选择开关，但为了快速辨识船舶运动数学模型的参数，往往需要在自适应操舵前先要手动操舵一段很短的时间，当显示"自适应操舵就绪(Ready)时，即可由手动操舵转到自适应自动操舵。

11.7 模型参考自适应自动舵线路分析

日本 YEW 生产的 PT—21 型自适应自动舵是属于模型参考自适应控制，其基本动作框图和功能框图见图 8.3.9—26 和 8.3.9—27。它具有自动、随动、遥控、外部计算机及非随动五种操舵方式。

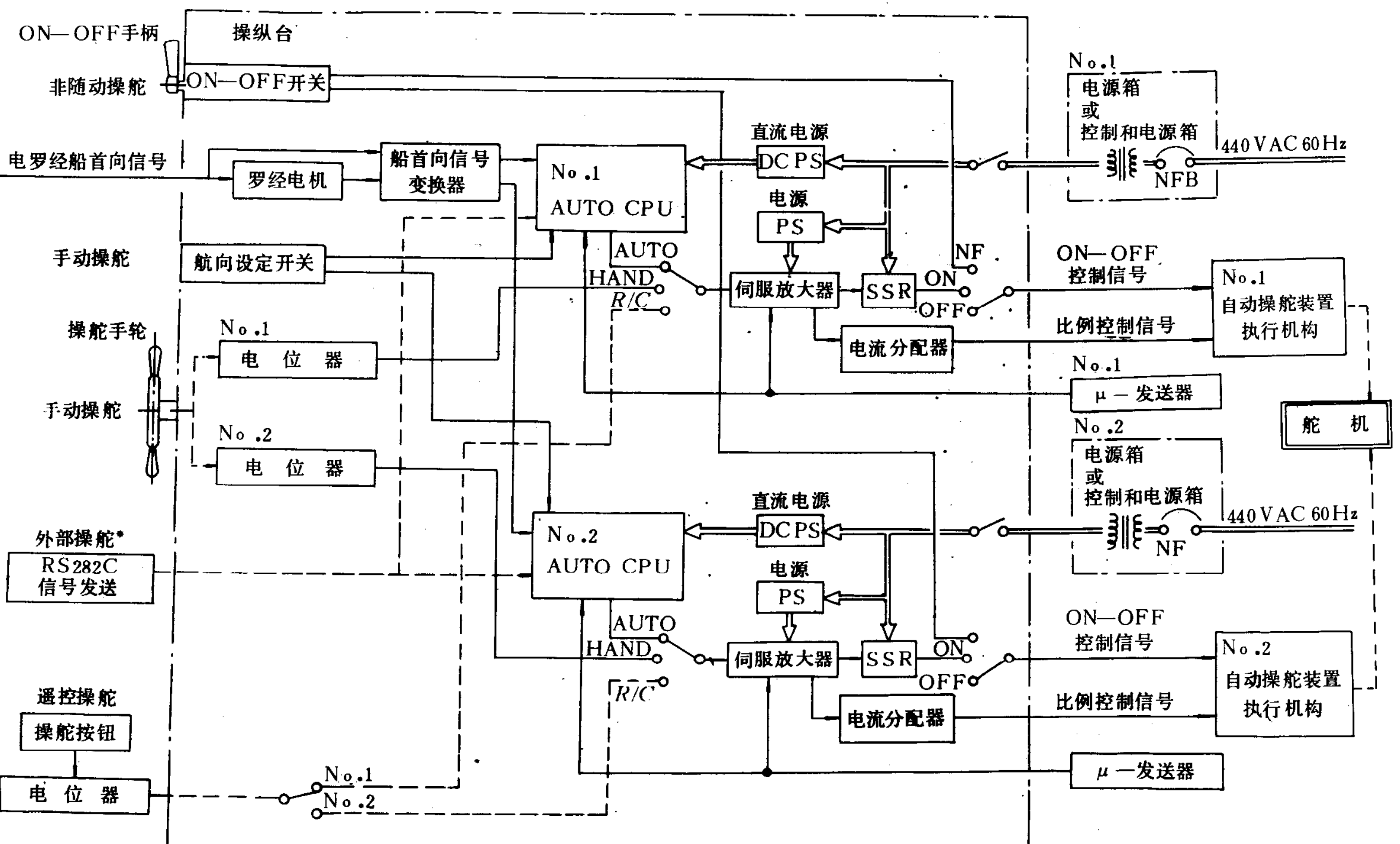


图 8.3.9—26 基本动作框图

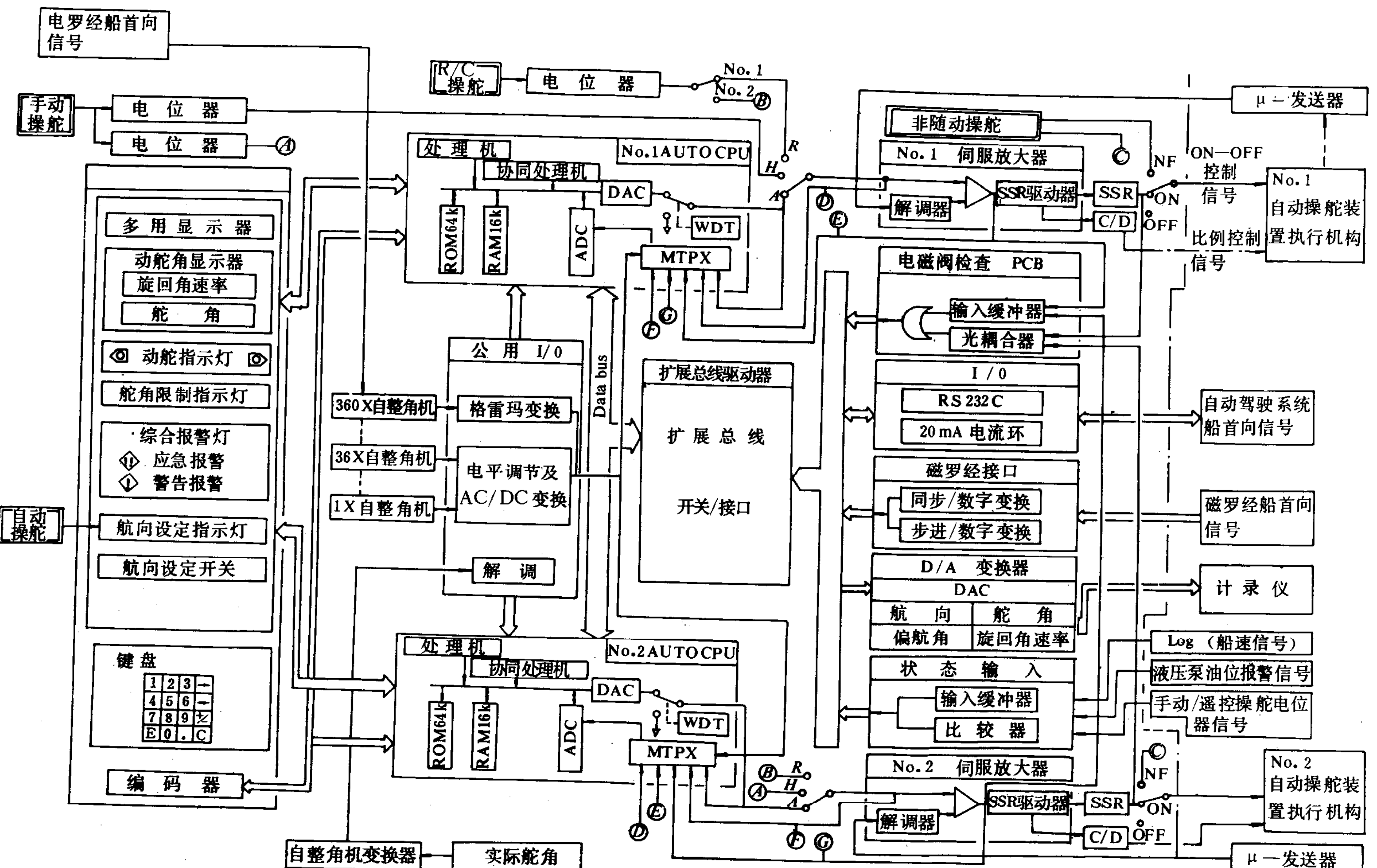


图 8.3.9—27　自动操舵装置功能方框图

图 8.3.9—28 自动操舵软件功能方框图

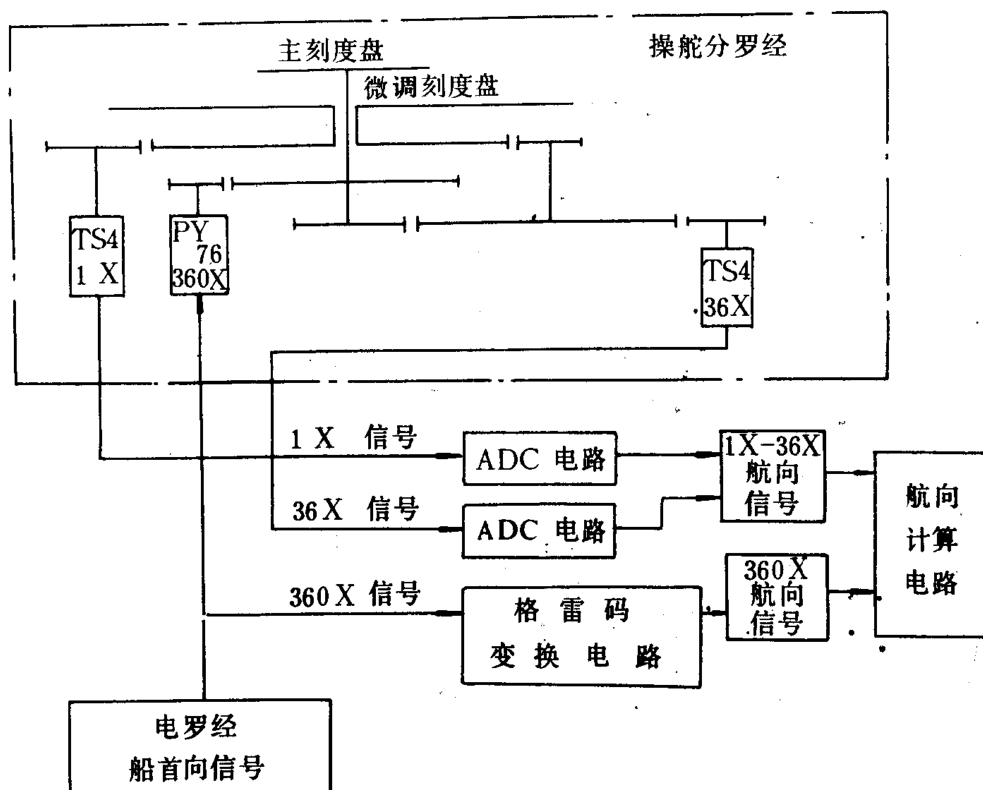


图 8.3.9-29 电罗经船首向信号的数字转换图

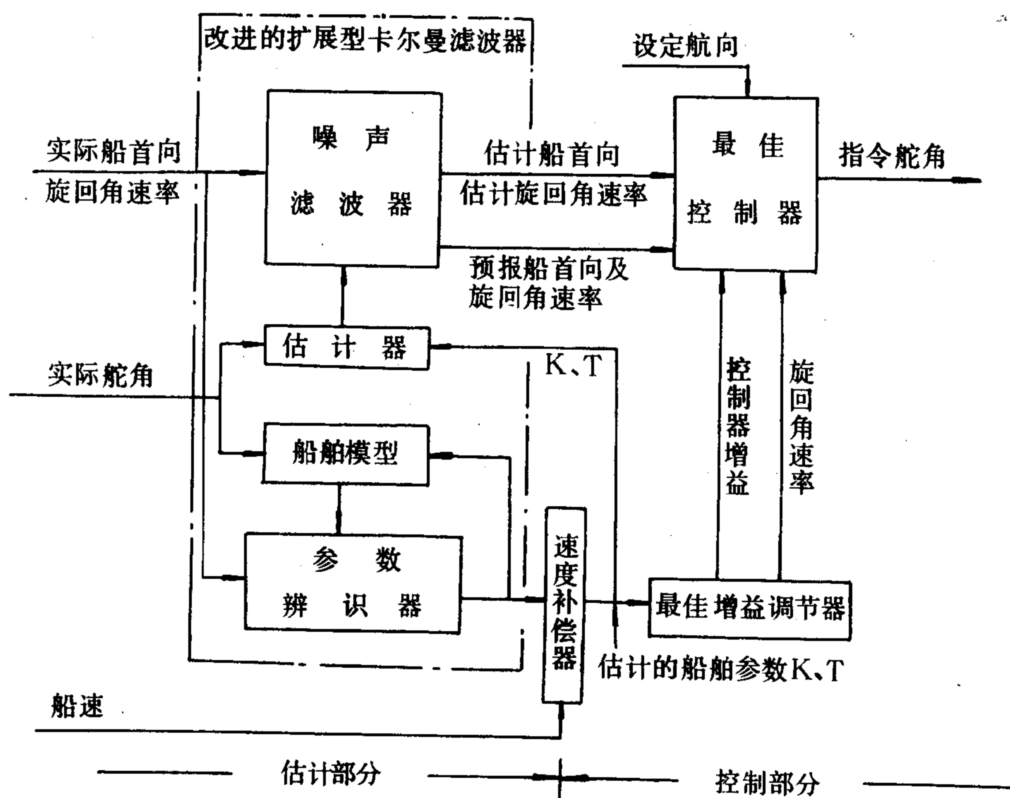


图 8.3.9-30 估计部分和控制部分功能图

1)自动操舵方式

自动操舵的软件功能方块图见图 8.3.9—28 所示，它包括：(1)电罗经船首向信号的数字转换，见图 8.3.9—29。电罗经船首向信号分成 1X、36X 和 360X 航向分量后，将变成数字信号输入到航向计算电路中。(2)自适应控制。它分两个主要部分：即估计部分和控制部分。估计部分采用改进的扩展型卡尔曼滤波器，它由噪声滤波器和船舶动态特性辨识器(辨识 K、T 指数，见式 8.3.9—6 至式 8.3.9—12)组成。控制器由最佳增益调节器和最佳控制器所组成。根据滤波器输出，预先规定性能指标 J(式 8.3.9—19)，自动调节控制器的增益，使 J 达到最小，而船舶数学模型为式(8.3.9—7)。根据算出的船首向和旋回角速率的偏差值以及最佳增益，确定指令舵 角。估计部分和控制部分的功能在于能适应天气、海况、装载状态及吃水差的随机变化来实现最佳操舵如图 8.3.9—30 所示。(3)经济航行与航向保持方式的转换。(4)满载和压载方式的转换。(5)舵角限制器。(6)初始参数整定开关。

2)手(随)动操舵方式

随动操舵手轮带有两个完全独立的系统使随动操舵具有 双套功能，见图 8.3.9—31 和图 8.3.9—33。

3)遥控操舵方式

遥控操舵是在手操纵台以外的地点操舵，其操纵原理与随动操舵相似。

4)外接计算机操舵方式

这种方式用大圆航行或墨卡托(Mercator)航行，航行中使用船舶驾驶卫星导航系统或组合导航系统。外部计算机发出的操舵信号变为航向设定信号。

5)非随动操舵方式

11.8 自校正自适应自动舵线路分析[9]

自校正自适应自动舵的基本结构框图如图 8.3.9—31 所示。图中 CPU 印刷电路板是实现自适应操舵、随动操舵、航向和舵角显示及报警功能的关键部件。它设有自校正控制器以解决船舶操纵动态模型及风浪等扰动模型参数为未知时的广义最小方差控制问题。自校正控制器中的辨识器辨识船舶及扰动模型的参数并送到自校正器内的控制器中，并经自适应控制算法(即根据选定的性能指标和被辨识的模型参数计算出指令舵角)不断地修正控制器的参数和给出自适应控制的指令舵角。当然上述的参数辨识和自适应控制算法均由软件来完成。自适应自动舵专用微机的硬件包括以下内容：

1)CPU 印刷电路板

它的原理图如图 8.3.9—32 所示。它包括时钟电路、Z80—CPU、Z80—CTC、RAM 及 EPROM、译码器、A/D 转换器、D 触发器及三态门缓冲器等。

2)船首向信号检测

船首向信号取自操舵罗经自整角接收机的交流信号。经整形等电路对自整角机的轴角进行编码，产生一组格雷码和一路模拟信号，经 A/D 转换后向 CPU 提供船首向的数字信号。

3)舵角信号检测

舵角信号从舵角反馈电位器 DF 取出，经电平转换变成单极性信号(0～5V)送入 A/D 转换器。2.5V 对应于零舵角，0V 和 5V 分别对应于左 35°及右 35°舵角。

4)微机接口

非随动操舵手柄
ON-OFF 开关
L_7 L_6 L_5 L_4 L_3 LT_2 LT_1 L_2 L_1
K_6 JA
DC 电源装制
K_2 NF ON OFF AC220V 或 110V
K_2 NF ON OFF DC24V
FM_1 PC6V
L_8 L_9
K_5
电罗经首向角信号
CL 码盘
No.1 CPU PCB
No.1 XS
No.2 XS
FM_2
No.2 CPU PCB
随动操舵手轮 电位器
遥控操舵电位器
K_1 A F R/C
K_3 No.1 No.2
K_3 GF J_1 ON NF
K_2 K_4 OFF
No.1 No.2
ZJ_1 ZJ_2 舵机
DF
DA ZA ZHA HJA DX FA
舵

图 8.3.9—31　自校正自适应自动舵的基本结构框图

K1—操舵方式转换开关；K2—主控开关；K3—CPU 印刷电路板转换开关；K4—舵机系统转换开关；K5—电罗经航向匹配按钮；K6—失压报警蜂鸣器断路开关；CPU、PCB—CPU 印刷电路板；CL—操舵分罗经自整角机；ZJ—执行机构；DF—舵角反馈装置；GF—功率放大器；J—继电器；DA—指示灯检查按钮；FA—复位按钮；ZA—CPU 板蜂鸣器止鸣按钮；XS—航向和舵角显示屏；DX—舵角限制调节旋钮；FM1—失压报警蜂鸣器；FM2—CPUPCB 报警蜂鸣器；JA—失压报警蜂鸣器检查按钮；L1—操舵分罗经指示灯；L2—手操舵指示盘指示灯；L3—NO. 1CPUPCB 动舵指示灯；L4—NO. 1CPUPCB 报警指示灯；L5—NO. 2CPUPCB 动舵指示灯；L6—NO. 2CPUPCB 报警指示灯；L7—舵角限制指示灯；L8—交流电源指示灯；L9—直流电源指示灯；LT1—亮度调节器；HZA—航向增加按钮；HJA—航向减少按钮

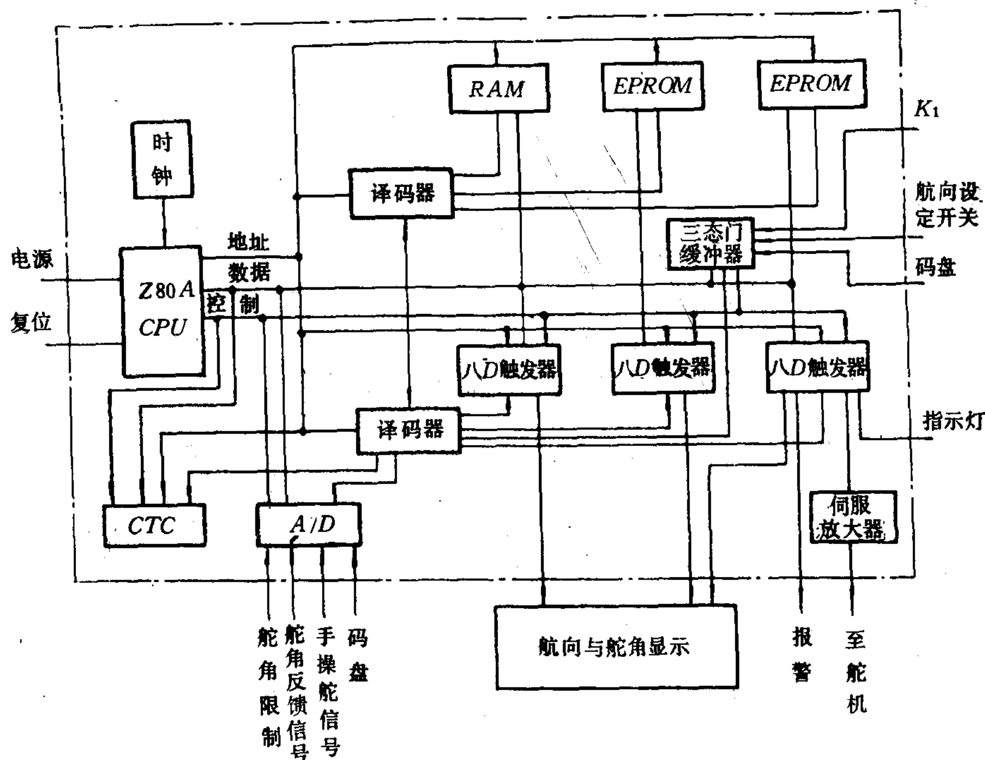


图 8.3.9—32 CPU 印刷电路板原理图

微机检测的信号有模拟量和开关量。模拟量的检测用 A/D 转换器芯片转换成数字信号送入计算机；开关量检测采用三态门缓冲器。此外船首向的数字信号都是经三态门缓冲器输入到 CPU，指令舵角由 CPU 输出是数字信号，它通过 D 触发器和伺服放大器去控制舵机。

12 自动舵的故障及排除方法

12.1 HQ 型自动舵(见表 8.3.9—3)

表 8.3.9—3 **HQ 型自动舵可能出现的故障及排除方法**

故障现象	原　因	排　除　方　法
当操舵手轮在零位时舵叶零位不准	1. 反馈装置安装不准确或松动	1. 用万用表测量反馈输出(76—11)端的交流电压应为零，否则应重新调整使输出为零
	2. 随动自整角机发讯器 ZB_2 零位不准或松动	2. 测出 ZB_2 输出端(8—27)电压应为零，否则调整到零
	3. 当自整角机 ZB_2 和 ZB_3 输出为零时，发送和反馈两组相敏电路中有输出信号	3. 用万用表测(29—27)和(75—77)都应为零，如不为零，应分别检查相敏整流器中的二极管的反向电阻，一般应大于 500kΩ，如太低应更换
	4. 第一级放大器平衡失调	4. 当输入端(64—68)为零时，但其输出端(94—95)有电压，则应调 R_{48} 使之为零

续上表

故障现象	原　　因	排　除　方　法
自动操舵时产生振荡	R_{51}电位器松动，使自动舵灵敏度过高	R_{51}中心抽头向低电位方向调一下，降低灵敏度
左右舵不来或转速相差太大	1. 主电路晶闸管损坏或未被触发 2. 触发电路输出电压不正常	1. 检查晶闸管是否正常导通和关闭 2. 检查触发电路输出电压是否正常（直流 3V 左右）

12.2 HSH 型自动舵（见表 8.3.9—4）

表 8.3.9—4　**HSH 型自动舵可能出现的故障及排除方法**

故障现象	故障原因	检查及排除方法
手轮（随动）操舵时，舵角不来，舵叶始终停在首尾线上	1. 手轮操舵的自整角变压器的激磁电压消失 2. 手轮操舵的自整角变压器的同步绕组发生短路	1. 检查自整角机激磁电压（用万用表测其两端）并恢复其电压 2. 在电网电压断开情况下，用电桥测量同步绕组的引出端，看其阻值是否小于完好备件的阻值，如阻值过小，找出短路后排除之
舵停在某舵角上不能动	1. 电网电压消失 2. 控制回路断开 3. 接到磁放大器的电网电压消失 4. 磁放大器故障 5. 磁放大器到执行电动机的控制绕组间的连线断开，执行电动机上无电压	1. 检查电源熔断器，如熔丝断则更换 2. 检查控制回路 3. 检查磁放大器电网电压 4. 检查磁放大器输出端有否电压（约为 30V），出现故障时修复更换 5. 检查连线且更换断线
船舶围绕规定航向作甚大的振荡	1. 交流测速发电机 WTM_1（微分环节）的电压消失 2. 交流测速发电机 WTM_1 发生故障	1. 检查通到测速发电机激磁的电源线，并排除断线 2. 修复
向左（或向右）转舵时，舵一直转到左舷（或右舷）极限位置，冲开限位开关为止	1. 反馈自整角变压器的激磁电压消失 2. 反馈自整角变压器的同步绕组发生短路	1. 检查自整角机激磁电压，并恢复 2. 用电桥测量同步绕组的电阻值
舵叶转动方向不正确如操左舵来右舵	磁放大器接到伺服电机 Wf_1 的连线调换了	将一对接线端对调

续上表

故障现象	故障原因	检查及排除方法
舵停在小于或大于用手令操舵的指令舵角上	1. 舵杆和反馈发送器之间的机械连接传动比改变(正常为1:1) 2. 舵杆和反馈发送器之间的机械连接调整不正确 3. 执行机械的从动杠杆和控制伺服泵的机械联接调整的不正确	1. 检查及调整好传动比 2. 脱开反馈发送器和舵杆之间的机械连接,在偏舵角零位和反馈发送器零位置时重新紧固机械连接 3. 重新调整好
手轮从零位转到指令舵角,但舵叶偏转角比指令舵大1°多,当手轮在零位时,舵不停在首尾线上而停在另一舷某一角度上	舵杆和拖动轴间的机械连接对称的松弛,即运动的正向和反向上有对称的游动间隙	消除间隙

参 考 文 献

[1] 冒天诚:船舶电力拖动自动控制系统,人民交通出版社,1981年8月

[2] 华中工学院,华南工学院:船舶电气传动自动化,1981年1月

[3] 大连海运学院:船舶辅机电力拖动

[4] 上海航道局:船舶电工手册(下册),上海人民出版社,1975年11月

[5] 人民交通出版社:《船舶轮机问答》,船舶电气设备分册,1976年

[6] 茂在寅男等:自动操舵装置,国防工业出版社,1987年3月

[7] J. Van Amerongen and A. Judink Ten Cate Model reference adaptive autoplots for ships Automatica

[8]陆祥润,张宝顺,船舶自适应操舵仪微机控制系统的设计方法与体会,中国电工技术学会船舶电工专业委员会1985年年会论文

[9] Lu Xiangrun and Zhang Baoshun. Anewly developed ship's adaptive amtopilota. Intenatinal Marine Engineering Conference 1987 Shanghai Ching Conference Prepints No. 3-10

[10] K. Nomoto Response Analysts of Manoeuvralility and its Application to ship Design ьorh Anniversary sehies, Vol, II, soc of Naml Arch g Japar

[11] C. Я бере 3пн Б · А · Те оевю СпсТеМн АвТомАтиеескоя управленибвпнсн суюв ио курсу, 1974

[12] Aström, K. S. C; G Kellströn, N. H Norrbin and I. Bystrom (1975), The identifioatoin of linear ship steering dynamics using maximum like hood Parameter estimation Re-

port No25 1975

[13] Norrbin ,N. E,“on the added resistance due to steering on a stroight course”13th II TC Report of per formance Cpmmittee,1972

[14] C. G Kallström,K. JÅström,N. E Thoreu,Adaptive Autopitots for taukes

[15] 陆祥润,张宝顺,一种新研制的自适应操舵装置《船舶工程》1986 年第 5 期

第 10 章　船舶特种机械电力拖动自控系统

1　自动拖缆机电力拖动自动控制系统

1.1　概　　述

在救生船，拖船，破冰船，渔船，捕鲸船，海洋考察船等船舶中广泛采用自动拖缆绞车作为拖曳装置。这些绞车拉力可达 20～120t，重量达 25～36t，是能量和功率最大的甲板机械。

绞车机械有两种类型：多层系索和储绳绞车。

其拖动电机既可采用低速大力矩的液压马达驱动，也可采用直流电动机驱动，其调速范围要求不大，但根据其工况要求拖缆张力恒定，以免拉断缆索。

具体要求是：当张力上升到允许范围时，使卷筒能自动放松缆索，防止对缆索的过大张力；当张力下降到允许范围时，绞车又自动收紧缆索。在现代拖缆绞车上，安装有反应绞车工况的光和声信号设备，以便控制。

一般要求测量拖缆的张力，长度和船速。

1.2　DDW—350 型拖缆/起锚绞车电气控制系统

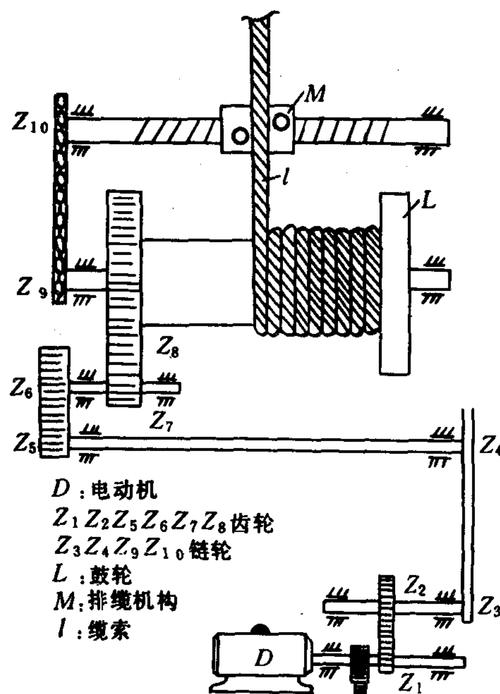


图 8.3.10—1　DDW－350 型拖缆机机械传动示意图

该系统为额定值时，自动减弱电动机磁场，从而实现恒功率调速，这一功能是由削弱磁场信号发生器和磁场削弱控制器来实现的。

图 8.3.10—1 为该系统用于 10000kW(13600PS)远洋拖轮的简化机械传动图，其技术数据见表 8.3.10—1。

表 8.3.10—1　　**DDW—350 型拖缆机技术数据表**

缆绳拉力		缆索速度
低速	120t	6m/s（满载）
	40t	15m/s(轻载)
高速	60t	12m/s
	24t	30m/s

该系统的控制线路如图 8.3.10—2 所示。

由控制线路可以看出，该系统的主电路采用发电机——电动机系统，发电机使用有环流的可逆晶闸管电路励磁，而电动机磁场则由不可逆的三相桥式整流电路供电。

整个控制电路由两部分组成，即发电机磁场控制和电动机磁场控制。这两个控制电路之间采用独立的控制方式，即弱磁调节和电动机电枢电压调节无关。

减弱磁场和电枢电压调节的独立控制，可以保证在额定转速以下时，电动机磁场为额定值而可改变电枢电压的大小，从而实现恒力矩调速。在额定速度以上时，在保证电枢电压电动机弱磁。

本系统有一下降速度限制器：用以保证当电动机处于反转再生制动状态时，使其转速随负载力矩大小而变化，从而保护电动机。

当电枢电流 $I_D > I_1$(为 $50\% I_e$)时：

$$n = 130\% n_e \qquad (n_e \text{ 为额定转速})$$

当 $30\% I_e < I_D < 50\% I_e$ 时：

$$n = 200\% n_e$$

当 $I_D > 30\% I_e$ 时：

$$n = 250\% n_e$$

为实现上述要求，采用了下降速度限制器，见图 8.3.10—3。

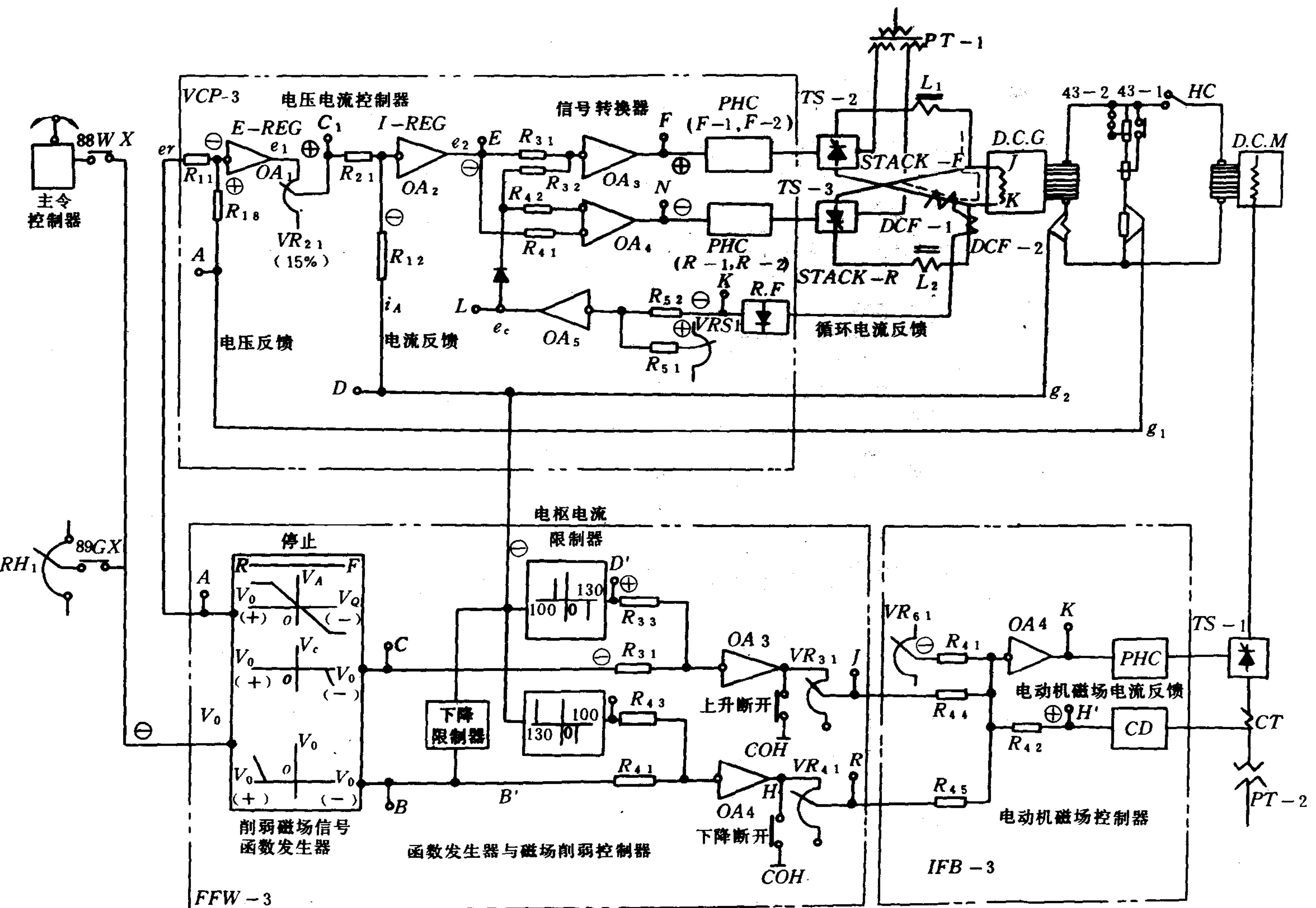


图 8.3.10—2　拖缆机的控制线路

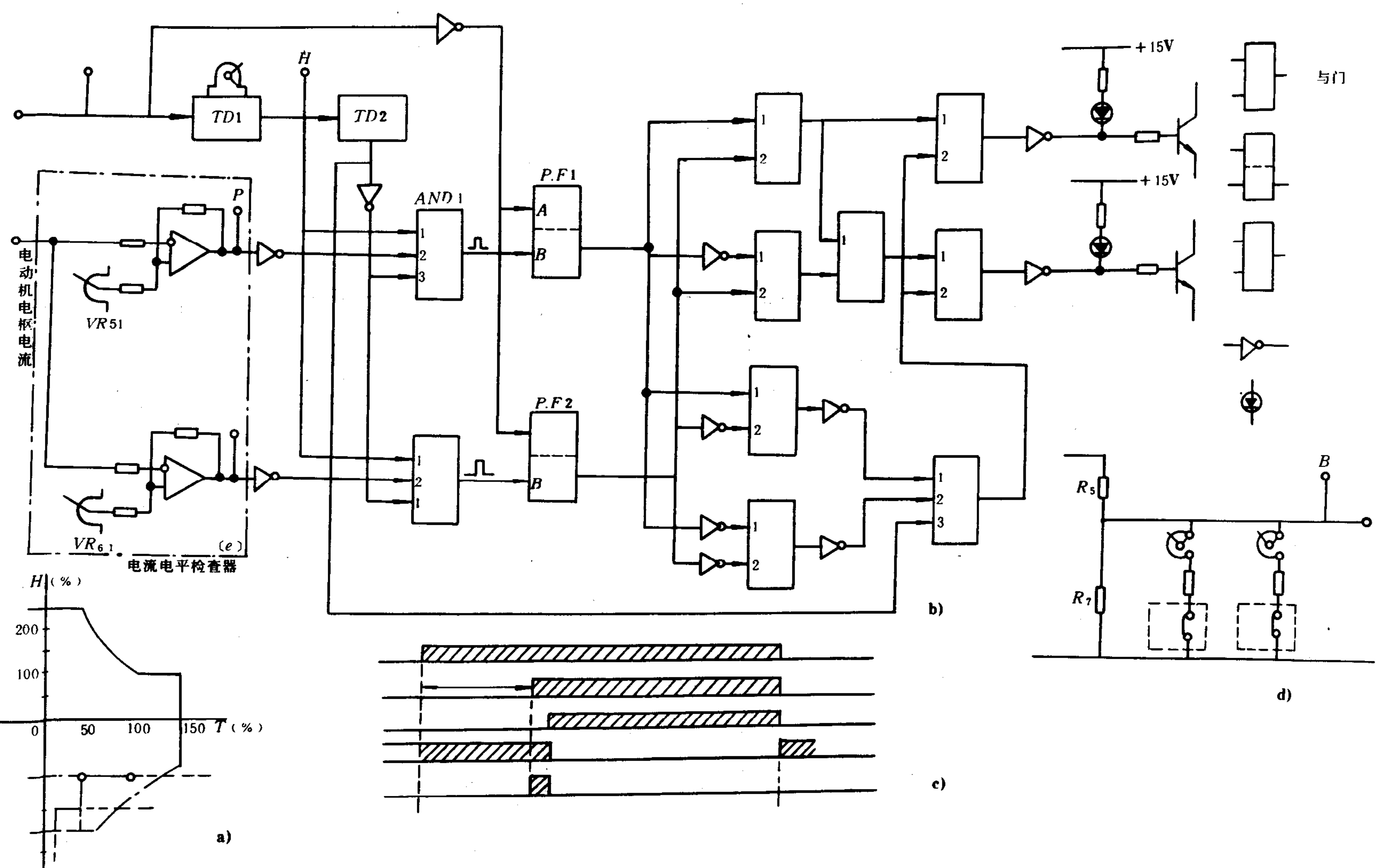


图 8.3.10—3　下降速度限制器

该限制器的逻辑电路真值表见表 8.3.10—2。

表 8.3.10—2　　　　　　　　　　**下降速度限制器真值表**

	P	Q	AND1	AND2	FF1	FF2	AND3	AND4	AND5	AND6	OR1	AND7	AND8	AND9	Q141	Q142	转速限制
$I_D<I_2$	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0 断	0 断	N_2
$I_1 \geqslant I_D \geqslant I_2$	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0 断	1 通	N_1
$I_D>I_1$	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1 通	1 通	N_0

由表可见，在下降时，当电枢电流在上述范围内时，通过逻辑电路的运算，从而控制弱磁电流给定的大小。

综观该系统，从拖缆控制来说，仍为人工操作方式，未能实现张力自动控制。

1.3　捕鲸船用拖网/绞缆机控制系统

捕鲸船用的拖网/绞缆机在拖网时要求调节网位，并保持缆索的恒张力。图 8.3.10—4 为其控制线路图。

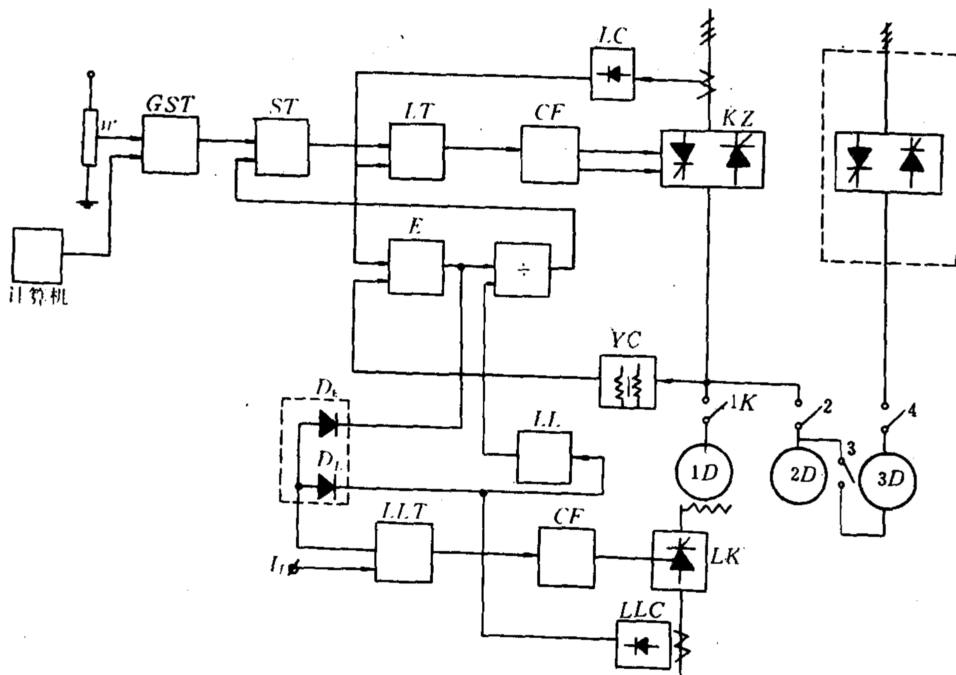


图 8.3.10—4　拖网/绞缆机控制系统

本系统电动机采用晶闸管可逆电路直接供电方式，并能自动减弱电动机磁场，采用了电枢电压调节和弱磁调节的相关控制系统。

整个系统可手动和自动控制。手动时，由调速手柄决定速度的大小。自动时根据缆索放出的长度和测量的张力，由计算机控制，具有如下动能：

1)到达设定投网长度时，自动停止工作。检出左右舷的缆索长度差，自动进行速度修正。

2)根据鱼群位置，拖网时能自动调节网位。

3)拖网中保持张力恒定。

由图可见，电动机电枢电压调节回路采用了速度反馈和电流反馈。其中速度反馈未采用测速发电机，而采用了电势和速度计算电路，这样就避免安装一台拖转的电机。

速度是通过以下两式来计算。

电动机的反电势正通过检测主回路电压U及主电路电流I_D计算：

$$E=U-I_DR_D$$

电动机的速度n通过反电势E和磁通φ来计算：

$$n=E/C_e\varphi$$

式中：C_e——常数。

而磁通φ由励磁电流—磁通运算器根据励磁电流I_f计算得出。

弱磁调节系统和电枢电压调节系统的连系通过最大值电路来实现。最大值电路由图上的两个二极管组成，在同一时刻，只能让数值大的那个量通过，而将数值小的量锁住。

由图可见，在低速时，反电势E低于励磁电流反馈信号I_f，因此，励磁电流调节器I_fT起励磁调节器作用，保证励磁电流恒定。当反电势E高于95%时(此时电动机转速接近额定速度)，则E将大于I_f信号，此时D_E通，而D_L断开，从而使励磁电流调节器变成了电势调节器，由式$E=C_e\varphi n$，可知，若保证E一定，则当磁通减弱时，转速n便会自动地上升。

2 钻井平台的控制系统

2.1 概　　述

钻井平台有移动式和固定式两种。前者有浮筒式和半潜式，后者有潜水式和支撑式。

不同的钻井平台其机械设备的配量是不同的。如移动式钻井平台除钻探机械外还需有功率强大的推进设备和平台定位系统，而固定式钻井平台除钻探机械外主要是升降平台的自升设备。

2.2 平台定位系统

对于移动式钻井平台，在进行钻井操作时，必须保证平台在任何条件下均处于固定位置的差值范围内，以防损坏钻具。

一般须采用锚定位系统或动力定位系统。

采用锚定位系统时须有起锚机。要求抛锚时，链条的拉力能够精确控制。锚固定系统应根据各锚索所受拉力的合力为零来控制。

通常采用动力定位系统，这样配置可以和推进系统相互配合。

动力定位系统目前采用的机械装置方式有以下四种：

1)调距桨和侧推装置。

2)起锚绞车和系泊绞车。

3)调距桨连同侧推装置。

4)可回转360°的调距桨。

图 8.3.10—5 为 GEC 动力定位系统的原理框图。

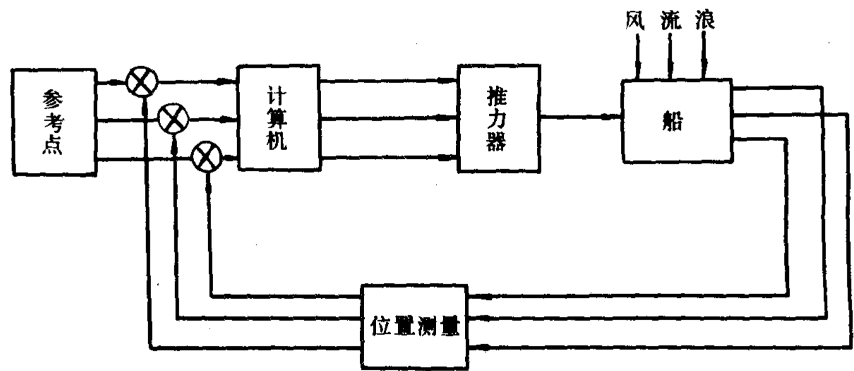


图 8.3.10—5 GEC 动力定位系统

目前定位方式采用

1)声学定位

2)张紧绳定位

3)无线电定位

2.3 钻井机械的电气设备

钻井机械一般包括钻井绞车一台,泥浆泵两台,转台一台和电动旋转接头。后者是使钻管回转的装置。图 8.3.10—6 为钻井机械电气设备图。

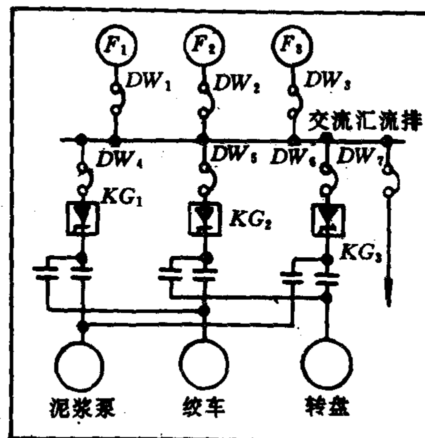


图 8.3.10—6 钻井机械电气设备图

由图可见,任何一台电动机均可以通过动力开关接到两套晶闸管整流设备上工作,从而节

约了整流设备。

由钻井机械工艺可知，上述机械对电力拖动系统要求不高，因此控制系统可采用电压负反馈，带有加减速限制和电流限制的系统即可满足要求。

但由於钻井平台设备处于恶劣环境中，如：潮湿、海水腐蚀、机械设备负荷变动大、振动、高温等，故要求电气设备防爆、防溅、耐振、频繁工作、高绝缘性。

3 挖泥船的电气控制系统

3.1 概　述

挖泥船是工程船舶中重要的一类船舶。按照其挖泥方式有以下几种类型：

1)耙吸式挖泥船

为自航吸扬式挖泥船。随着船舶的低速前进而耙起水底泥土，由泥泵吸入并排在船上的泥舱内。装满后，高速驶往抛泥区卸泥。主要机械有泥泵，耙头架升降绞车等。由于耙泥时和船舶推进有关，因此船舶推进装置也是须考虑的。

2)绞泥式挖泥船

为非自航式吸扬挖泥船。随着船舶的横移和前移，转动的绞刀切碎泥土，由泥泵吸入经船尾拖挂着的浮动排泥管将泥土输送堆泥处。主要机械有泥泵、喷射泵、绞刀、绞刀架升降绞车、横移绞车、定位桩升降绞车等。

3)链斗式挖泥船

为非自航多斗式挖泥船，个别采用辅助电力推进装置。随着船舶的横移和前移，通过斗链拖动一连串的泥斗挖取河泥，泥土由溜泥槽中滑入泥驳内或经皮带机运送至堆泥处。主要机械有斗链、斗桥架升降绞车、横移绞车等。

4) 抓斗式挖泥船

一般为非自航单斗式挖泥船，也有自载自航式。通过船上一台或数台可旋转的抓斗机，在不同的角度抓取河底泥土，吊起后将泥卸于泥驳内或挖泥船上的舱内。船舶移位采用锚绞车，主要特种机械是抓斗机。

5)铲斗式挖泥船

为非自航单斗式挖泥船。挖泥时将两根前桩和一根后桩插到海底，并将船舶抬到一定高度，使船舶的一部分重压在前面两根桩上，以防挖泥时船舶移动，铲斗挖泥时是先放下斗柄使与海底垂直，推压机构使斗柄向海底下压，同时耙升机构提升，则铲斗前移而进行挖泥，装满后斗柄回收，以便起升机构将铲斗提出水面，挖掘平台回转，将铲斗中的泥土卸于泥驳内，然后回转到不同角度，依次挖泥。主要机械有铲斗机，定位桩，升降绞车。

上述挖泥船，虽挖泥工艺和机械设备各异，但均有下列性能：

1)具有大功率的拖动机械，是决定船舶电站及动力装置配置的主要负荷。

2)具有调速和堵转的要求，即须具有挖土机特性。

3)由于各种机械并非同步运转，为节省船舶电站容量，须考虑有切换装置。

4)须采用电力推进，以实现挖泥工况。

5)须采用高压供电。

6)工作可靠性要求高，并且维修方便。

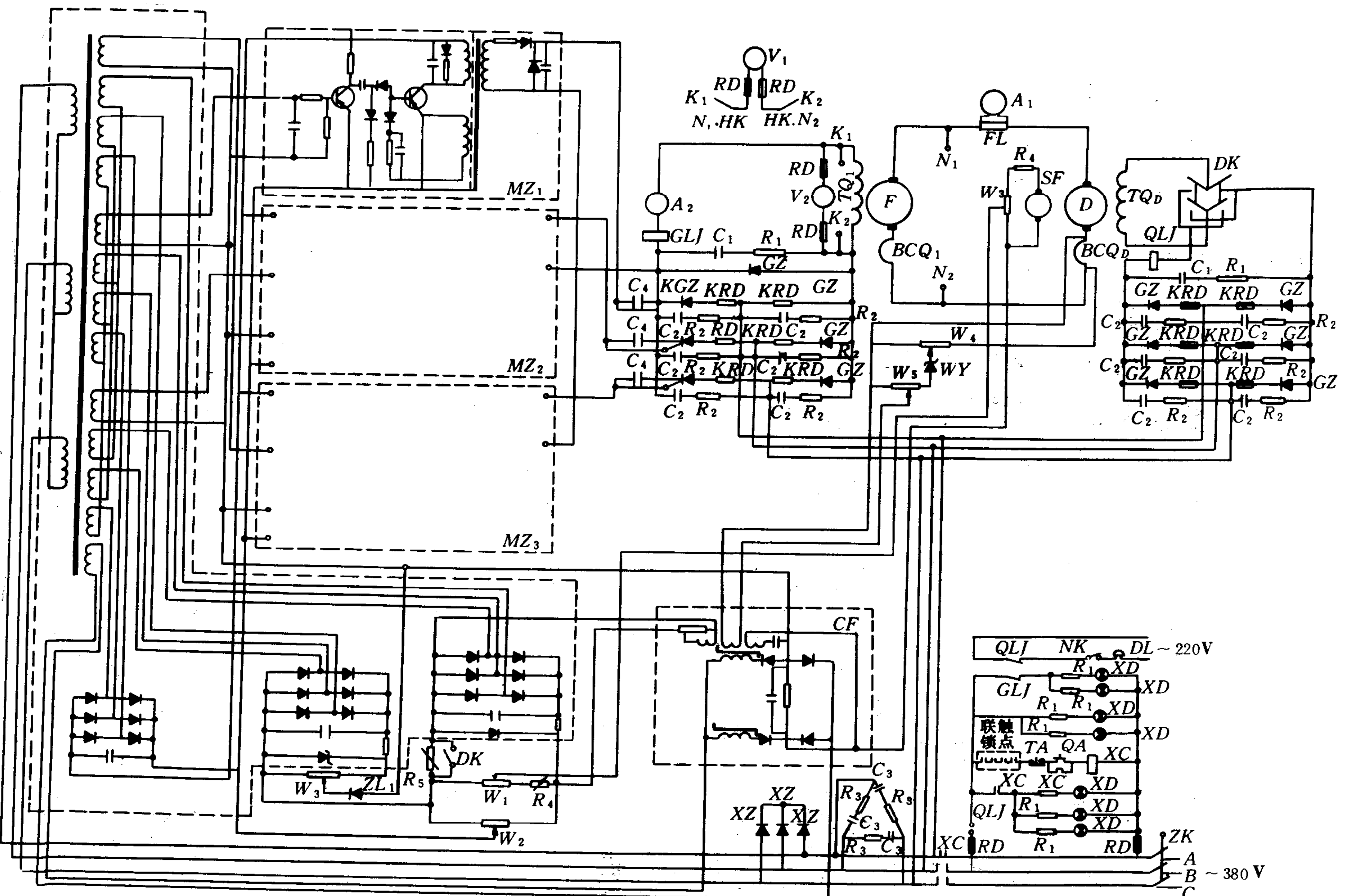


图 8.3.10—7 4500方耙吸式挖泥船泥泵控制系统

F—泥泵发电机;D—泥泵电动机;TQ—他激绕组;BCQ—补偿绕组;A—电流表;V—电压表;FL—分流器;HK—转换开关; KGZ—可控硅整流器;GZ—硅整流器;KRD— 快速熔断器;RD—熔断器;GLJ—过电流继电器;QLJ—欠电流继电器;DK—刀开关;W—电位器;WY—稳压器;R—电阻;C—电容;XZ—硒整流器;XD—信号灯;QA、TA—起动、停止按钮;XC—线路接触器;ZK—自动空气开关;DL—电铃;NK—钮子开关;DZ—电源插件;MZ—触发脉冲插件;CF—磁放大器;SF—测速发电机

3.2 耙吸式挖泥船的电气控制系统

耙吸式挖泥船的主要机械是推进装置和泥泵。由于工况要求，它们和动力装置之间的配合有多种方案，这些须视经济技术指标来决定。其中泥泵的电力拖动系统较典型，见图 8.3.10—7。

该系统主电路为发电机——电动机系统，发电机励磁为不可逆晶闸管整流器供电；电动机励磁为用接触器反向的硅整流器供电。调节装置采用速度反馈和电流截止负反馈，从而得到挖土机特性，为了提高截止特性的陡度，加了一级磁放大器作为中间放大。

由图可见，给定信号、速度负反馈信号、电流截止负反馈信号（在截止前无信号，截止后才出现）等，均在触发器中的开关管上进行综合。

其中 W_1，W_2 组成给定电压环节，通过改变 W_1，W_2 的接触点的位置可以得到正负输出给定电压。W_6 上取下的是速度负反馈电压（与给定电压反向），W_4 上取电流反馈信号电压，当主回路电流过大时，此电压超过 WY 稳压管的稳压值，则 W_1 雪崩击穿，W_5 上有超过限流的电流负反馈电压，此电压经过磁放大器 CF 放大，其负载电阻上的电压即反映了电流负反馈信号的大小（磁放大器除有控制输入绕组外，还有偏移控制绕组和输出软反馈绕组）。在主回路电流未达到限流点时，仅有给定信号电压和速度反馈电压作用到触发器的开关管上。当主回路电流超过限流点时，则有给定信号电压、速度负反馈电压及电流负反馈电压同时作用，将使触发脉冲角增大，从而使发电机励磁降低，加在电动机电枢上的电压下降，使电动机转速下降，取得堵转的目的。为防止起动时，由于转速未升起来，速度负反馈电压为零，引起触发角过小，造成主回路电流冲击，在 W_3 上引入了正向限幅电压，即起动时，若 W_1 上取下的电压过大时，将受此限幅值限制，不致使触发角过小，从而防止主电路过大的电流冲击。

触发器的工作如图 8.3.10—8。

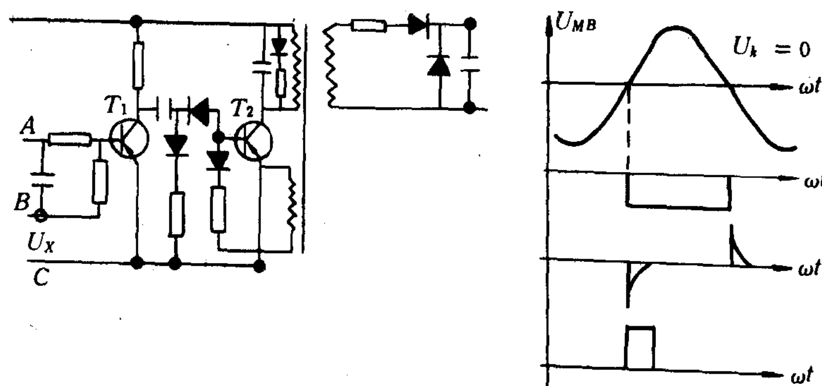


图 8.3.10—8 触发器的工作原理

当控制电压 U_X 为零时，B 和 C 点同电位，此时 T_1 管基极电位仅由同步变压器决定。当正半周时，T_1 截止，而为负半周时，T_1 导通，当 T_1 由导通到截止时，通过电容将产生负脉冲，从而使 T_2 管导通，通过脉冲变压器输出脉冲，用以触发晶闸管，而当 T_1 由截止到导通时，将产生正向脉冲，此脉冲由 D 短路，另外为了加宽触发脉冲，采用了正反馈绕组，使 T_2 延时关断，可得到 10°～30°的触发脉冲，这可通过改变正反馈绕组中串联的 RC 来得到。

由上述触发器可知，触发脉冲是在同步电压由负到正过零处产生，因此各相触发脉冲的同步安排为＋B 触发＋A 相，＋C 触发＋B 相，＋A 触发＋C 相，这是在调整中必须注意的。

由于泥泵电动机不反转，所以在检修泥泵时，如需反转，可将电动机的磁场开关倒向反向即可。

由于采用了晶闸管供电，因此采用了交流阻容和硒堆作为交流侧和直流侧的过压保护。在元件两端并联阻容，以防止关断时过电压，元件串联快速熔断器以防止过电流。另外由于采用三相半桥控制电路，为防止在关断时引起续流现象，采用了续流二极管，并采用过流继电器作过流保护。这些电路必须经常检查，以防运行时引起事故。

3.3 绞刀和斗链的电力拖动控制线路

绞刀和斗链是绞吸式和链斗式挖泥船的主要设备。它们具有共同的特点，如要求一定范围的恒功率调速，不反转（仅检修时反转），连续工作制，具有典型的挖土机特性。它们的拖动功率较大，往往占船舶电站容量的 40%～45%。

3.3.1 200m³ 绞吸式挖泥船绞刀拖动控制系统

此种挖泥船属中等功率，多采用绕线式异步电动机带频敏变阻器起动方式的拖动系统，见图 8.3.10—9。

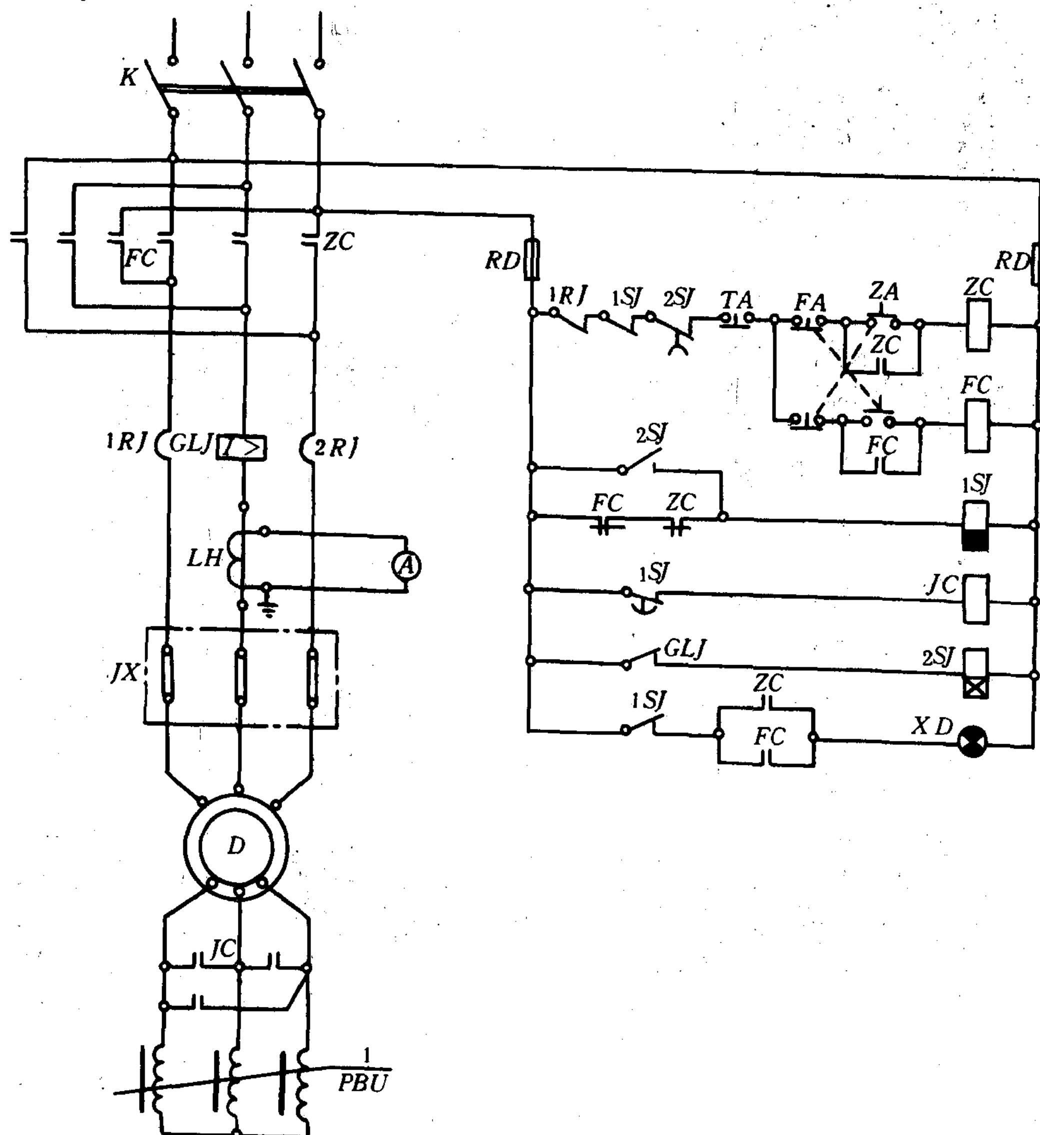


图 8.3.10—9 绞刀用绕线式异步电动机控制原理图

本系统采用频敏变阻器作为电动机起动限流电阻，同时在电动机过载时，作过载保护用。由图可见，当电动机负荷达到 2～2.5 倍额定电流时，过载继电器 GLJ 动作，使 2SJ 延时继电器得电，2SJ 使 1SJ 接通，1SJ 的常闭接点使短路接触器 JC 断电，将频敏变阻器接入电动机转子回路，从而使电枢转子电流限制在 2～2.5 倍额定电流，使转速迅速下降。若此时负荷未降低，则 2SJ 的延时接点使主回路正向接触器 2C 断电，电动机停转。若在 2SJ 延时内，负载降低，则 GLJ 断开，2SJ 断电，则经过 1SJ 延时，而将 JC 接通，使频敏变阻器从转子电路内短路，电动机又正常运行。

系统采用了过载指示器 XD，当时载时，XD 亮，使操作者注意采取措施排除故障，以免造成"停车"，影响工作。须指出，在电动机起动时，XD 也会短时亮一下，这和过载不同，操作者应予区别。

3.3.2 350m³ 绞吸式挖泥船绞刀电气控制系统

该系统采用三绕组发电机系统，见图 8.3.10—10。

发电机有他激、并激和串激三个绕阻，控制他激绕组电流的大小和方向，可以改变基速下电动机的速度和方向。基速以上由控制电动机的他激绕阻电流大小来实现弱磁变速。

操作采用主令控制器分档进行。在停车时，发电机励磁绕阻接到自消磁电阻 R_{fd}上，以减少剩余磁势。

由于发电机的串激绕组接成差复激形式，具有负反馈作用，当电流过大时，能使发电机磁势减弱，从而得到挖土机特性。

必须指出的是，由于本系统利用接点开断发电机和电动机的激磁绕组回路，该回路属于直流大电感回路，在开断时，将产生较大的火花，易损坏接点，这是维护时值得注意的。

3.3.3 500m³ 链斗式挖泥船

本系统采用由电机放大机控制发电机励磁的发电机电动机系统，见图 8.3.10—11。

电机放大机各绕组作用如下：

GDQ ——给定绕组；

BCQ ——补偿极绕组；

HXQ ——换向极绕组；

YQ ——电压反馈绕组，为电机放大机输出电压的截止负反馈绕组；

LQ ——电流负反馈绕组，为主电路电流的负反馈绕组；

Wa ——稳定绕组，由稳定变压器供电；

Tca ——去磁绕组。

比较截止信号采用电位器加二极管，以得到挖土机特性。

调速用主令控制器，正向有五档速度，反向一档速度。正反向的第一档速度用于装卸泥斗，斗销和进行检修。反向时要求反转，起动转矩较大，故由反向继电器将电流反馈绕组断开，变成他激特性。正向第二档慢速，用于倒清粘泥用。其中第一至第三档为改变电压截止的比较电压来获得，而四、五档速用削弱电动机磁场获得。

两台发电机和两台电动机主电路接成串联，便于负载分配平衡。若用一台发电机，也和电动机相串联，此时转速减半，但力矩不变，因此可以低速在硬泥处作业。

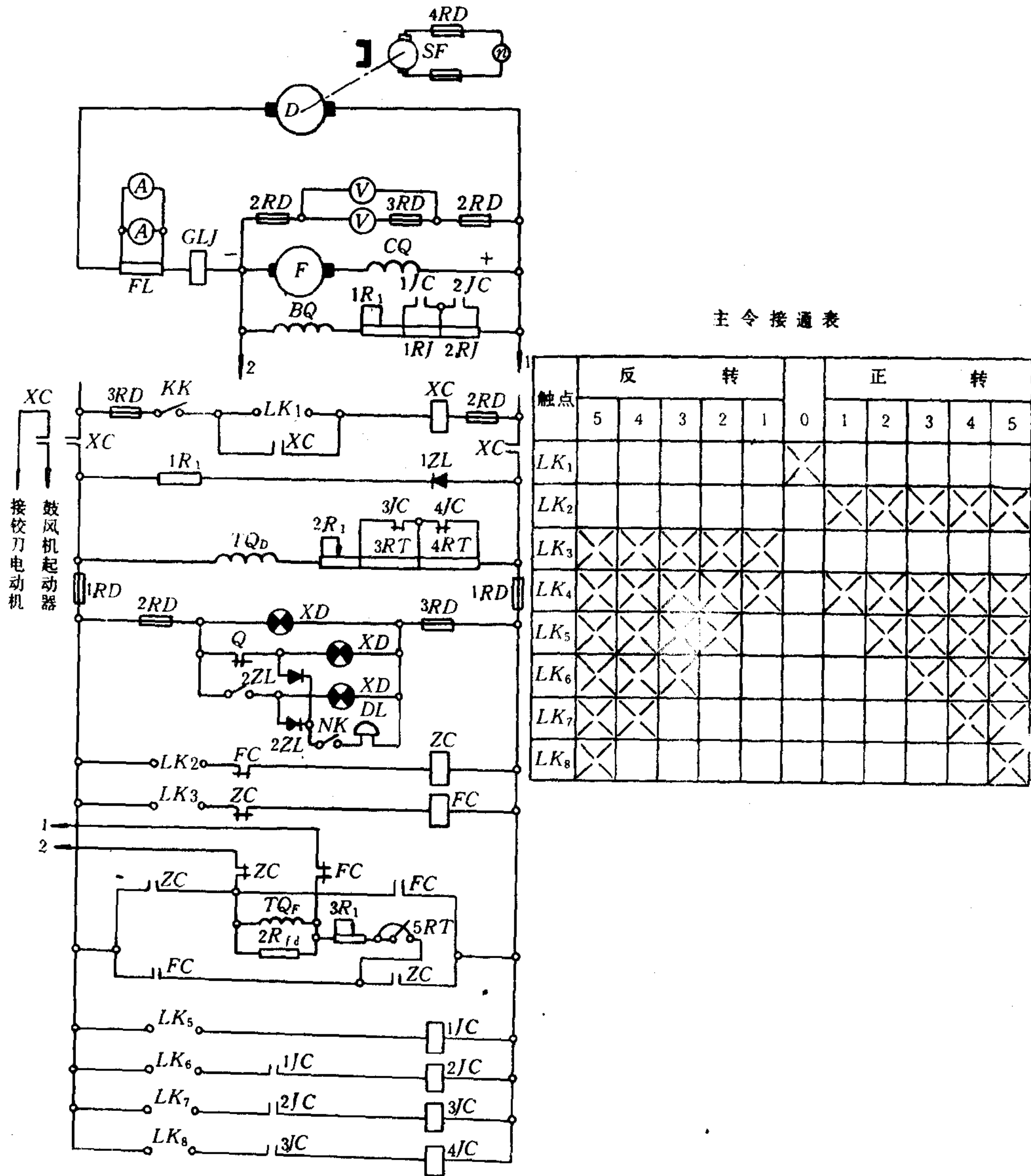
主电路有柴油机反转保护，即通过在发电机轴装一速度继电器来实现。电机放大机有过流保护。控制电路有短路、欠压、零位等保护。电动机处有应急切断开关，以便于安全操作和切除故障。

3.3.4 链斗挖泥船电气控制系统

750m³ 链斗挖泥船是进口的挖泥船，其链斗和推进电动机均由一台直流发电机供电，用一台刀开关在无载情况下进行切换，充分节约了电站容量，又满足了挖泥和推进工况的要求。

对于链斗的控制系统有发电机的磁场和电动机磁场控制，而作为推进系统仅有发电机磁场控制。详见图 8.3.10—12 至图 8.3.10—15。

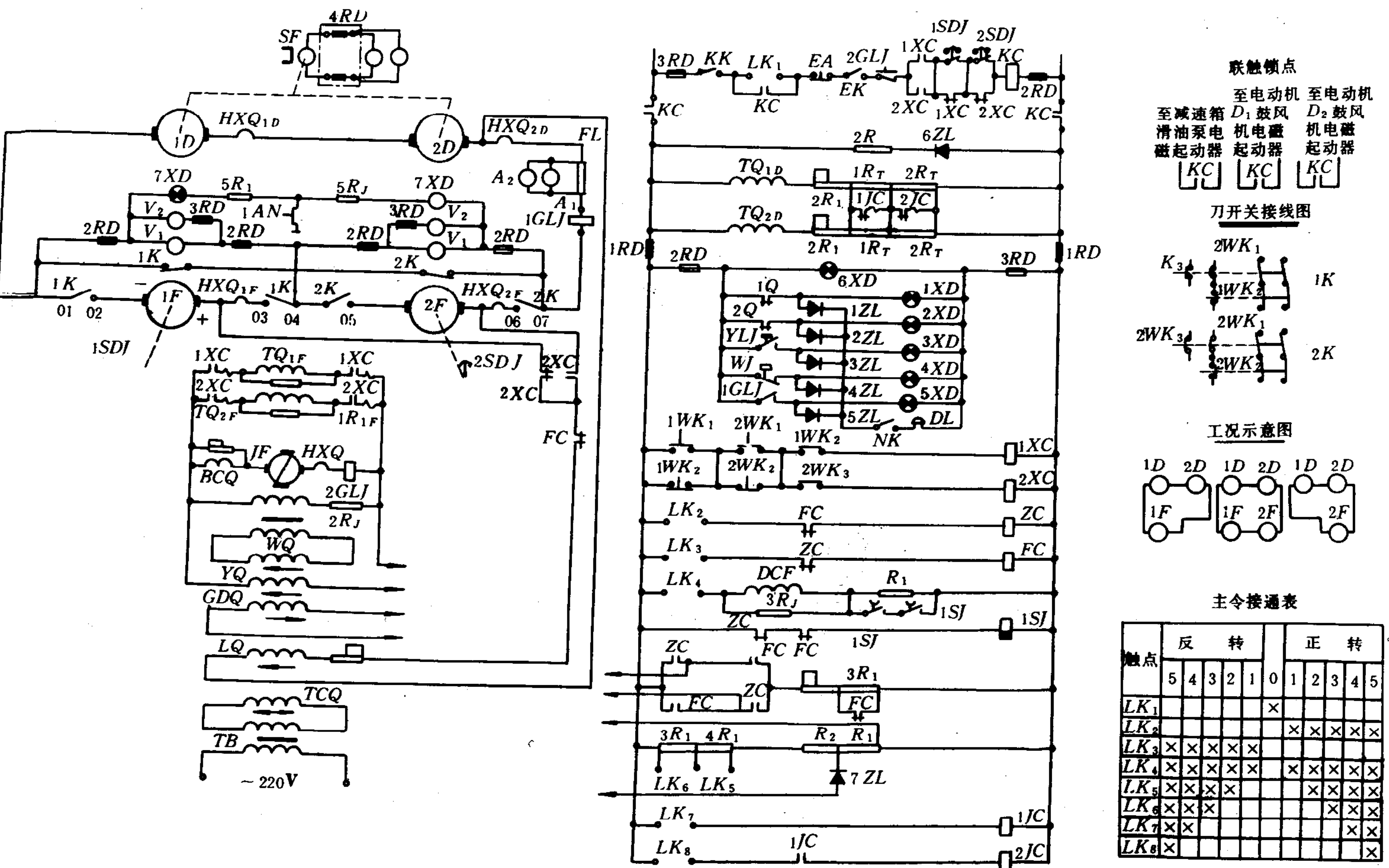
对于链斗自动控制系统来说，发电机的电压调节系统与电动机励磁调节系统是互相独立的控制系统，利用伺服电动机带动两个电位器，以保证在最大电动机励磁下使电动机起动。达额定速度后，当发电机电压达额定电压 450V 时，通过励磁电位器减弱电动机磁场，以得到高于额定转速的速度。



主令接通表

触点	反转 5	反转 4	反转 3	反转 2	反转 1	0	正转 1	正转 2	正转 3	正转 4	正转 5
LK_1						×					
LK_2							×	×	×	×	×
LK_3	×	×	×	×	×						
LK_4	×	×	×	×	×		×	×	×	×	×
LK_5	×	×	×	×				×	×	×	×
LK_6	×	×	×						×	×	×
LK_7	×	×								×	×
LK_8	×										×

图 8.3.10—10 绞刀用三绕组发电机——电动机控制系统



主令接通表

触点	反转						正转				
	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5
LK_1						×					
LK_2							×	×	×	×	×
LK_3	×	×	×	×	×						
LK_4	×	×	×	×	×		×	×	×	×	×
LK_5	×	×	×	×				×	×	×	×
LK_6	×	×	×						×	×	×
LK_7	×	×								×	×
LK_8	×										×

图 8.3.10—11　500m³ 链斗控制系统图

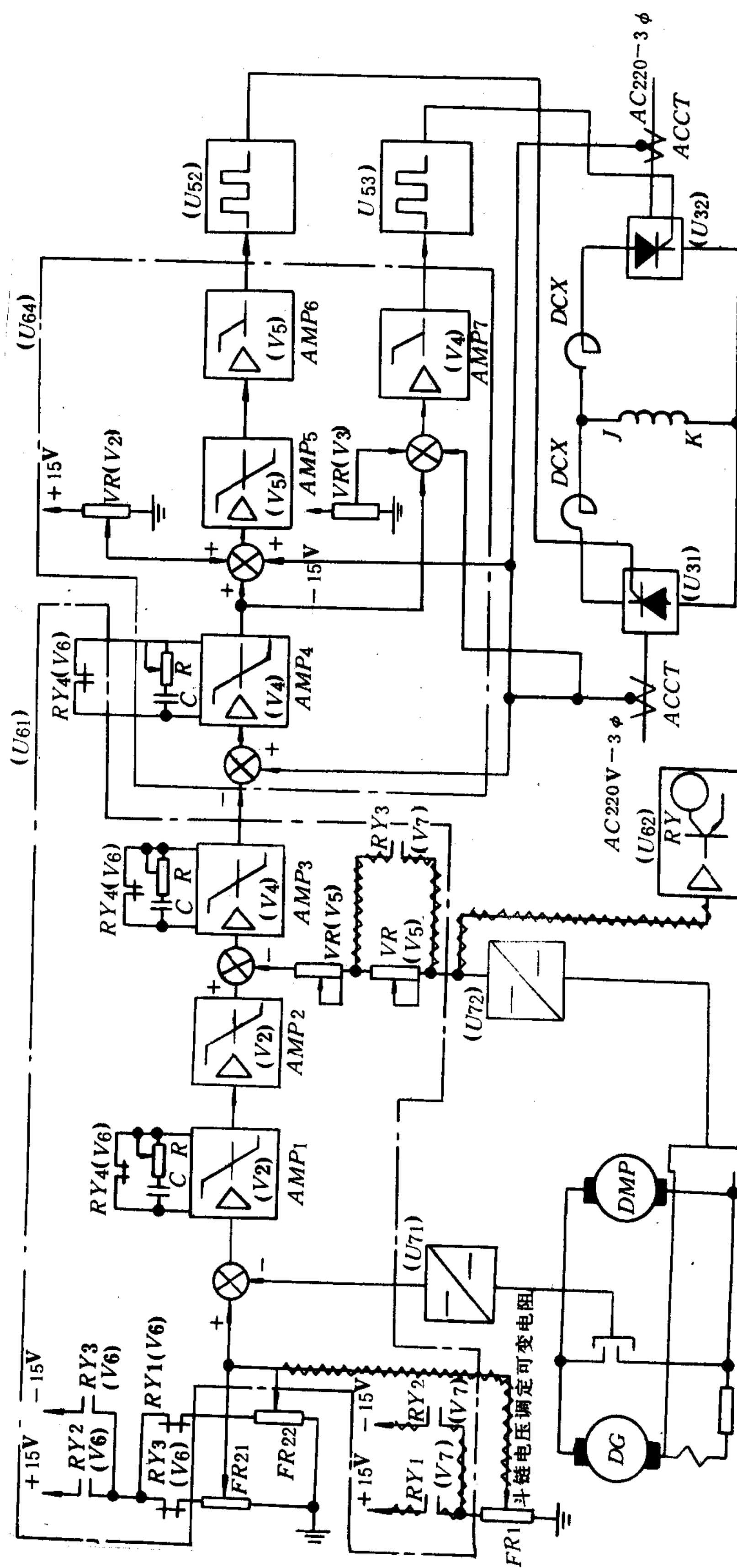


图 8.3.10—12　发电机磁场控制方框图（斗链控制图之一）

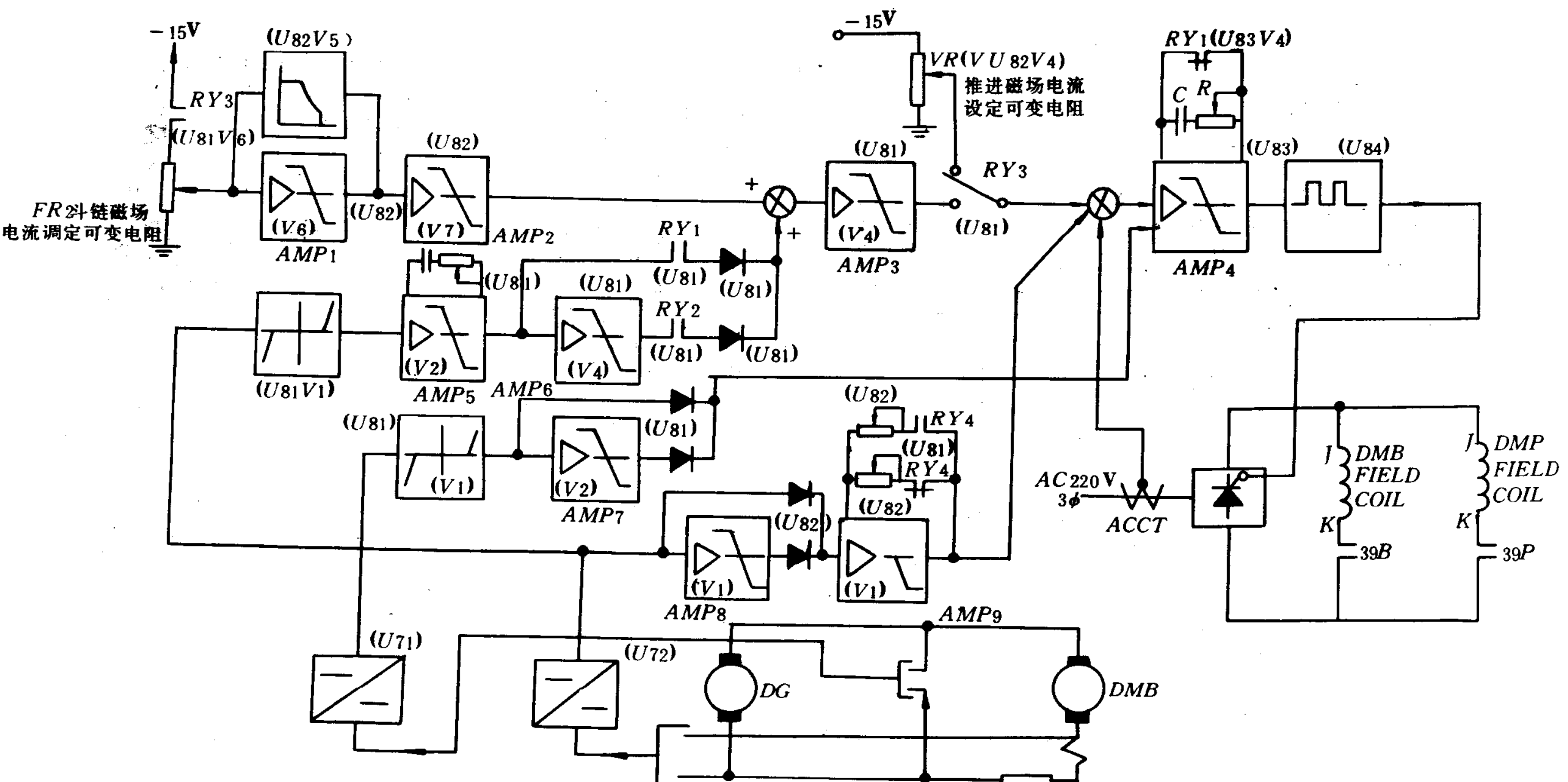


图 8.3.10—13　斗链控制图之二

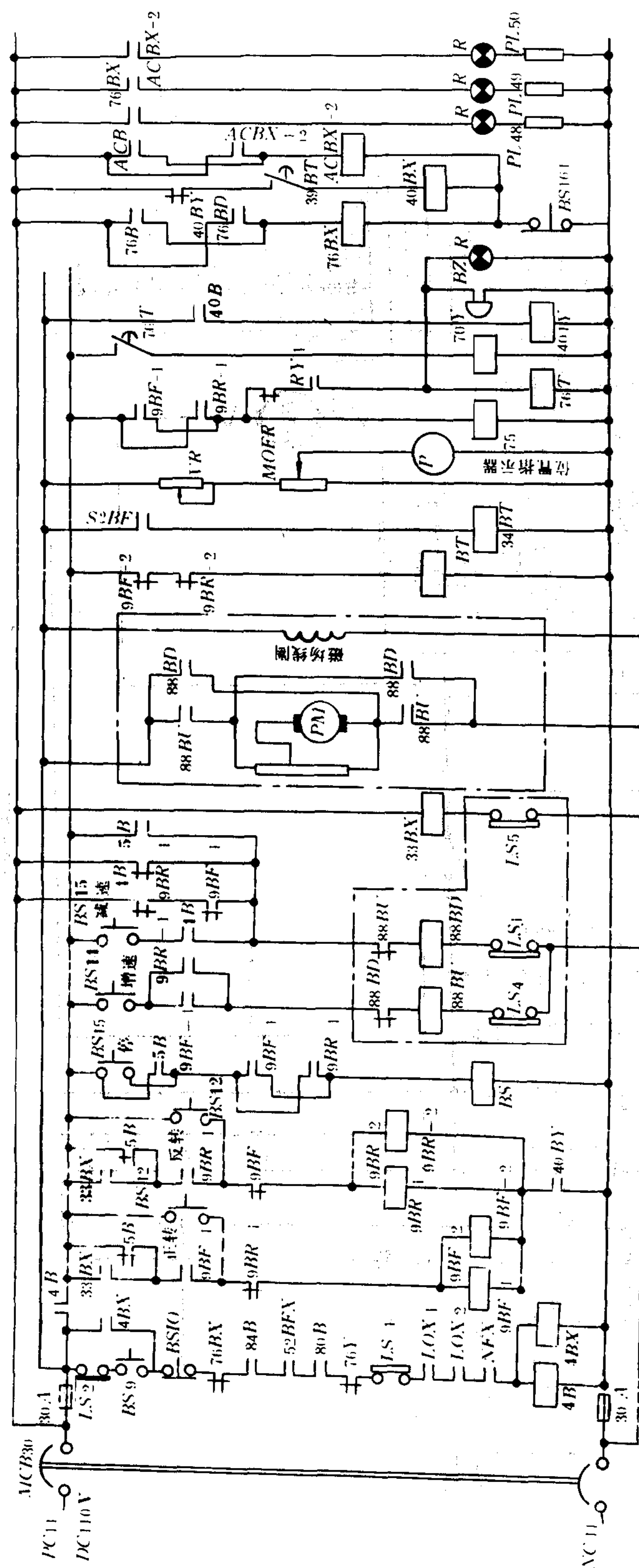


图 8.3.10—14 斗链控制图之三

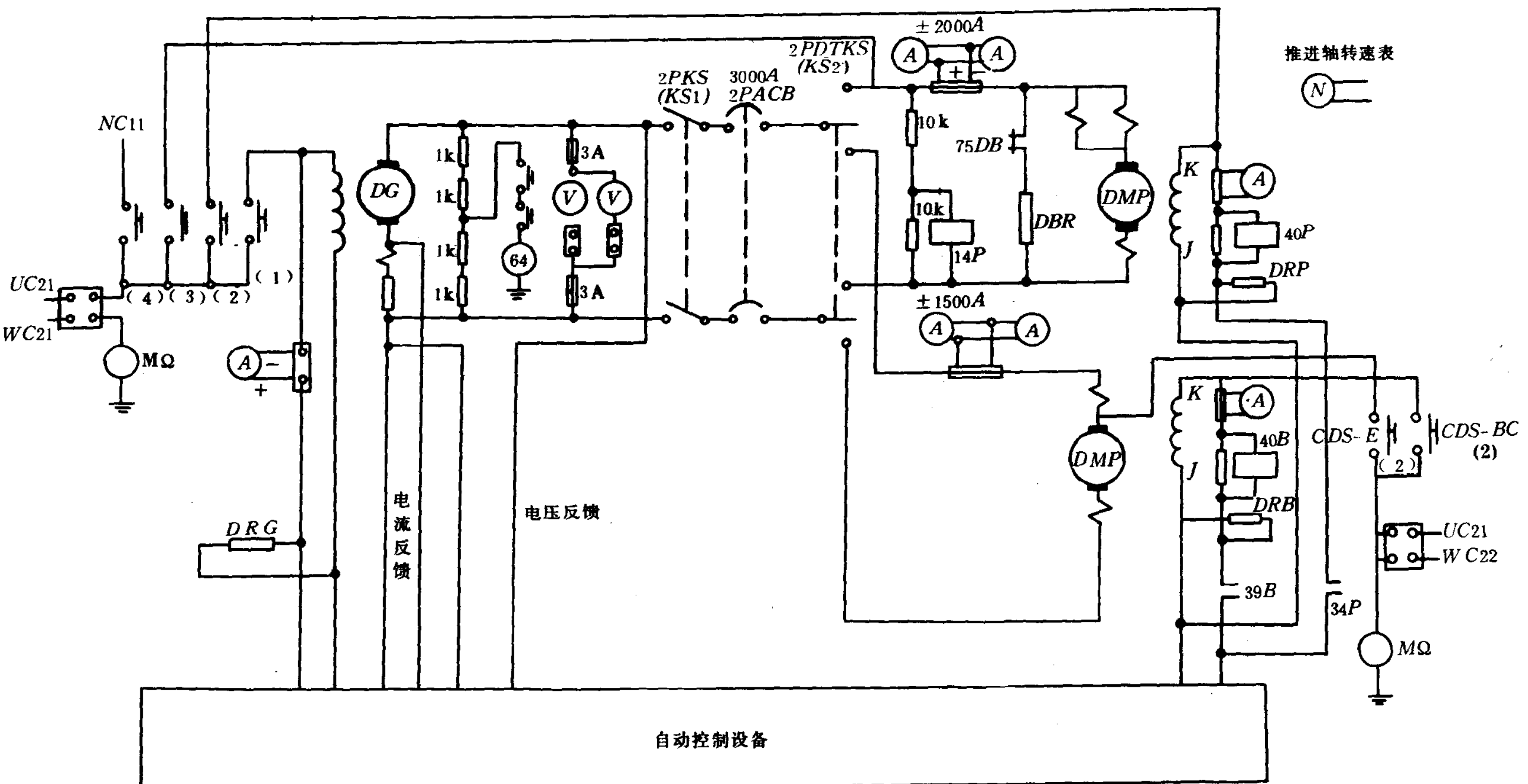


图 8.3.10—15　斗链控制图之四

发电机电压控制系统采用了发电机电压负反馈，主回路电流负反馈，还有发电机励磁电流负反馈。发电机励磁绕阻由三相可逆有环流调节的晶闸管整流线路供电。

链斗电动机的励磁绕组由三相桥式不可逆整流电路供电，采用了励磁特性发生器，以及励磁电流负反馈。

励磁特性发生器由一函数发生器 V_5 和运算放大器 V_6 组成，通过这一函数发生器使电动机的励磁特性的非线性得到校正，以免磁场给定电位计变化时，造成电动机速度的突然变化，使电位计的位移量和电动机速度(在额定速以上)的变化为线性关系。

另外还有几个反馈，主要起保护作用。

电压截止负反馈，防止当电动机弱磁高速运转而磁场电流突增时，电动机因机械惯性瞬时转速仍很高而产生过电压。此时通过电压截止负反馈，使磁场电流降下来。

电枢电流截止正反馈，当电枢电流在弱磁时若超过额定值，通过电流正反馈作用，使磁场电流增大。

4　其它特种机械电力拖动自动控制线路

4.1　首侧推器的电力拖动自控线路

为了提高船舶离靠岸时，在无进速情况下和以极慢速航行时船舶的操纵性和码头系泊能力，更好地完成海上装卸货物和作业任务安装了侧推器。

侧推器分为设在船首部的首侧推器和在船尾部的尾侧推器。目前，大多采用首侧推器。

侧推器可以由电动机、油马达或汽轮机带动。

侧推器调速范围要求不大，仅 1∶2～1∶3；要求反转，但无须频繁转换；连续工作，负载变化不大；无损堵转特性。侧推器一般为定螺距桨，也可使用变螺距桨。

根据上述要求，侧推器可采用各种拖动控制方案，不过大多采用简单的交流绕线式电动机串电阻变速方案，此方案控制简单、可靠，然而耗能大。

另外，侧推器也用在动力定位系统中。

4.2　减摇鳍的电力拖动控制系统

船在海上运动时有六个自由度，其中横摇和纵摇对船的操纵性和船员的舒适性均有不利的影响。纵摇达±8°时，船首将出现很大的速度和加速度，引起海浪对船体的碰击，而横摇达±20°时，将使甲板上的横摇加速度超过 0.5g。外国研究表明，横摇超过 5°时，舰艇及其设备系统，直升飞机和船员的工作效率将恶化。减摇鳍在一般情况下，可将船的横摇角减至 5°以内，使船上设备及人员处于有效的工况之中。

减摇鳍是将鳍由船舷伸到海中，利用它从水流中获得的交替变化的升力，使舰船复原，以便减少船体的横摇。

减摇鳍一般采用

1)折选式。

2)直收式。

3)不可收式。

大部分采用电液伺服系统控制。

第 11 章　船舶电力推进

1　电力推进装置概述

1.1　电力推进装置的表述

凡船上用电动机或其它电力装置(如超导电磁推进装置、磁粉离合器等)来驱动船舶推进器的装置统称船舶电力推进装置。

1.2　电力推进装置的组成

电力推进装置由发电设备(由原动机和发电机组成或蓄电池)、推进电动机(或其它电力装置)、变流器、操纵台和控制设备等组成。

1.3　电力推进装置的优缺点

1.3.1　电力推进装置的优点

1)原动机与螺旋桨之间无直接轴系联系,可缩短推进轴的长度,电力推进装置各部件安装位置有较大的选择余地。

2)可采用高速不逆转省燃料的原动机,这样可减少原动机的重量和安装体积,因不开倒车而增加原动机使用年限。

3)可平滑、均匀、大范围地调节螺旋桨的转速。

4)船舶在低速或中速航行时,可停用部分原动机而提高航行的经济性。

5)整个电力推进装置的功率可分散给若干个原动机发电机组,推进电动机也可由若干个随意组合;当有一原动机停修时,螺旋桨仍可照常运行,提高了航行的生命力、机动性和操纵性。

6)推进电动机的机械特性能满足螺旋桨的剧烈负载变化和冲击,甚至忍受短时堵转等要求,特别适用于破冰船、拖船等。

7)便于实现全盘自动化、远动化和自适应最优控制。

8)可利用发电机的电能供电给船舶工作机械、岸电及潜艇等。

1.3.2　电力推进装置的缺点

1)由于有机械能至电能和电能至机械能的两次能量转换,其重量和尺寸指标较差,初次成本较高。

2)传动效率较低(一般电力推进装置的传动效率为 86%～92%,而非电力推进装置的传动效率为 95%～98%)。

3)因设有专用机电设备需增加电气管理人员。

1.4　电力推进装置的分类

可分四大类

1)常规电力推进装置

由船内的发电装置获得电能，以此电能来驱动船舶主推进器的装置，其分类如表 8.3.11—1 所示。

表 8.3.11—1　　　**常规电力推进装置分类**

电力拖动方式		系统简图	说明
直流	恒压方式	YDJ ZF ZD	用电阻器调节电动机的电枢电压来调速
	F—D 方式	YDJ ZF ZD	用调节发电机励磁，改变主回路电压来调节电动机转速
	恒流方式	YDJ ZF ZD ZD	用调节发电机励磁进行主回路的恒流控制，由调节各电动机的励磁来控制转速
交流	同步电动机方式(带变距桨，恒速)	YDJ TF TD	主要由变距桨调速
	同步电动机方式	YDJ TF TD	调节原动机转速来调节发电机频率和电动机转速
	异步电动机方式(带变距桨，恒速)	YDJ TF YD BJJ	主要由变距桨调速
	异步电动机转子电阻和变极控制方式	YDJ TF YD	改变极对数和转子中串接的电阻来调速
	异步电动机串级调速方式	YDJ TF ZD YD	异步电动机串级调速
	无整流子电动机方式(交—直—交)	YDJ TF TD	用整流器和逆变器控制电压和频率，间接变频调速
	无整流子电动机方式(交—交)	YDJ TF DF	直接变频调速
交直流并用	晶闸管—D 方式	YDJ TF ZD	用晶闸管变换器进行交流至直流的变换，由相位控制调节直流电压来进行调速
	交流→整流—D 方式	YDJ TF ZD	调节交流发电机励磁，改变直流侧电压来进行调速
	逆变方式	XDC 蓄电池	用逆变器调节频率和电压来进行调速

续上表

电力拖动方式		系统简图	说明
超导	直流/直流方式	YDJ—CZF—CZD—推进器	恒压、恒流或F—D方式调速
	交流/直流方式	YDJ—CTF—整流—CZD—推进器	改变直流侧电压进行调速
	交流/交流方式	YDJ—CTF—CTD—推进器	改变频率及电压进行调速
	电磁推进方式	YDJ—CTF—整流—超导线圈、电极	船体内设一跨过海水的超导电磁体，水中装上电极通电后产生推力使船前进

2)辅助电力推进装置

在一些工程船上，如挖泥船、浮吊及钻井平台等，电站的电能主要是供给生产机械，电力推进装置仅作为船的辅助功能。

3)联合电力推进装置

有些船的推进器既由原动机来拖动，也由电动机来拖动，电动机由辅助发电机供电。当推进器单独由电动机拖动时，船舶仅在低速下航行；当电动机和原动机同时拖动推进器时，则可得较高船速。有时这种联合电力推进装置中的电动机也可作为轴带发电机供电给船上的用电设备。

4)特殊电力推进装置

如潜艇上的电力推进装置，用核动力或用蓄电池来拖动推进器。

1.5 对电力推进装置的要求

1.5.1 对可靠性和生命力方面的要求

1)发电机和推进电动机的个数不应少于2个；

2)电力推进装置的元部件应有经久耐用的结构，能在持续繁重的条件下工作。主发电机和推进电动机的转子及轴、转子上的绕组能承受反转或堵转时的有害过应力。

3)为了减少电机尺寸及不允许过热，电机应采用强力通风。

4)主发电机功率达2000kW或以上时，应在着火时有CO_2或蒸气注入通风道的设备。

5)在任意船舶的工况下(倒车、风暴下航行等)电机在任意负载下能正常工作，直流电机的整流子上不应有有害的火花。

6)不允许在主发电机及推进电动机的励磁绕组电路内装熔断器。

7)在连接主发电机和推进电动机的主电路内，不允许装熔断器。

8)主发电机和推进电动机的过载和短路保护电器只允许断开主发电机的励磁电路而不允许断开主电路。

9)在接近额定功率的电压下，主电机应能承受10%的电流过载2h；50%的电流过载5min；30%的电压过载3min，同时转速升高不超过15%。当突卸额定负载时，主发电机的电压升高不超过15%。

10)当螺旋桨从全速前进到全速后退时，推进电动机在起动和反转过程中的最大力矩应不小于额定力矩的 200%～300%，且能承受 15min。

1.5.2 对技术经济指标方面的要求

1)主发电机及推进电动机的效率不仅在船舶全速航行时能得到保证，而且在经济航速时也应得到保证。

2)电力推进装置的元件应是先进的且有高的技术经济指标。

3)电力推进装置的元部件应具有重量轻、尺寸小、维修安装简便、互换性强等指标。

4)为了实现电力推进装置元部件的统一化及降低成本，主发电机和推进电动机的型号、参数及构造宜选用标准的。

5)主发电机的工作特性应相同。

2 螺旋桨的特性曲线

螺旋桨的机械特性曲线是指螺旋桨的力矩与它的转速之间的关系曲线。这些特性曲线为：

1)自由航程特性曲线

2)抛锚特性曲线

3)反转特性曲线

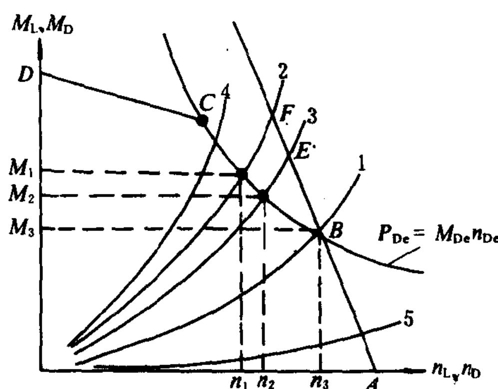


图 8.3.11—1 螺旋桨的自由行程与抛锚特性曲线

2.1 自由航程特性曲线

船在无风、无浪、无流的静水中航行，则称此船是在自由航程中。此时每一螺旋桨的力矩对应着一定螺旋桨的转速和相应的稳定的船速。螺旋桨的自由航程曲线见图 8.3.11—1 的曲线 1。自由航程曲线也可近似地用二次方程式来表示：

$$M_{ZY}=K_{ZY}n_L^2 \qquad (8.3.11—1)$$

式中：M_{ZY}——螺旋桨的旋转力矩(在自由航程下)；

n_L ——螺旋桨的转速；

K_{ZY} ——在自由航程时的常数，通常它可在额定情况下求得；

$$K_{ZY}=\frac{M_{ZYe}}{N_{Le}^2} \qquad (8.3.11—2)$$

式中：M_{ZYe}——螺旋桨的额定力矩(在自由航程下)；

n_{Le} ——螺旋桨的额定转速。

2.2 抛锚特性曲线

当船舶系泊在码头上或船舶在航行中遇到厚冰层时，虽然开动主机使螺旋桨具有不同的转速和旋转力矩，但此时船速为零。此时测得的螺旋桨的转速与力矩的关系曲线称为抛锚特性曲线，如图 8.3.11—1 的曲线 2 所示。抛锚特性的表达式可近似写成：

$$M_{PM}=K_{PM}n_L^2 \qquad (8.3.11—3)$$

式中：K_{PM}——在抛锚状态下的常数；

M_{PM}——抛锚状态下螺旋桨的力矩。

介于图 8.3.11—1 中曲线 1 及 2 之间的螺旋桨特性曲线称为中间特性曲线，如曲线 3 所示。如船在静水中拖了一条船或遇到强烈的顶头风，船舶的阻力增加就会出现中间特性曲线。此外，当船在顺风下航行时如曲线 5 所示，在冰区航行时如曲线 4 所示。

2.3 反转特性曲线

反转特性是螺旋桨由顺转到逆转过程的转速与力矩特性曲线，在此过程中船速几乎不变。额定船速 v_e 下的反转特性如图 8.3.11—2 的曲线 3 所示。曲线 4 至 6 是不同船速下的反转特性曲线。

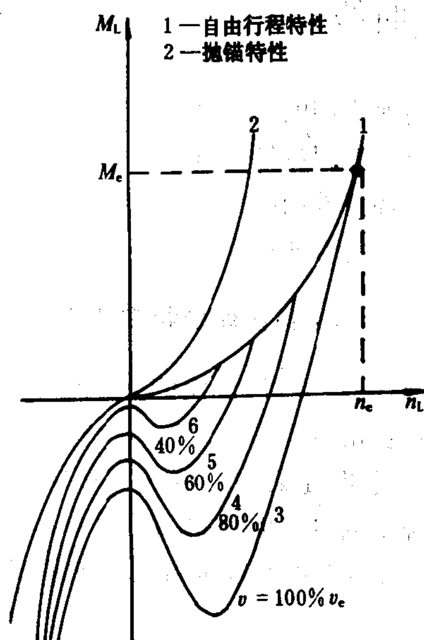


图 8.3.11—2 螺旋桨的反转特性

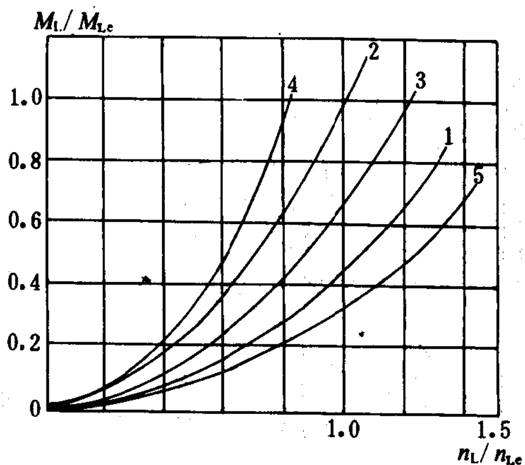


图 8.3.11—3 推进电动机的机械特性
1—自由航程特性；2—抛锚特性；3—中间(拖船)特性；
4—失落螺桨叶片特性；5—冰区航行特性

3 对电力推进电动机的机械特性的要求

3.1 常态下的要求

电力推进电动机的理想机械特性如图 8.3.11—3 的曲线 ABCD 所示，其中 BC 段是电动机恒功率双曲线：$P_{De}=M_{De}n_{De}=$常数，在其中的 BC 段应与螺旋桨特性 1 至 4 有交点。电动机的机械特性稳定运行点应不使原动机过载（原动机的过载范围均在电动机恒功率双曲线 BC 之上），因此当螺旋桨转速 $n_L=0$ 时，电动机的堵转力矩点应为 D 点，当螺旋桨力矩 $M_L=0$ 时电动机的空载转速应为 A 点。一般 D 点的力矩限制在电动机额定力矩 M_{De}的 1.5 至 3 倍，即 (1.5～3.0)M_{De}；A 点的转速限制在 1.15n_{De}左右。

直流电力推进系统采用串、复励电动机或差复励 F—D 系统的拖动方案较易满足推进电

动机的理想机械特性。交流电力推进系统如采用异步电动机，其机械特性(ABEF)与螺旋桨特性的交点E、F两点往往位于恒功率双曲线以上的区域，这样会使原动机过载。因此对它应装参数调节器(调频、调压等)以使它的机械特性接近于理想机械特性曲线。

3.2 非常态下的要求

为了容易看出推进电动机在反转过程中是否过载，把反转特性全部置于第一象限内，但此时应注意它的力矩与转速的对应符号。图8.3.11—4中的AMNP置于第1象限内时反转特性如曲线AMN′P′所示，图中A点是额定工作点。推进电动机的额定恒功率曲线与螺旋桨的自由航程特性曲线、抛锚特性曲线和反转特性曲线分别交于A、A_1和A_2点；同理，1.1额定恒功率曲线分别交于C、C_1和C_2点。

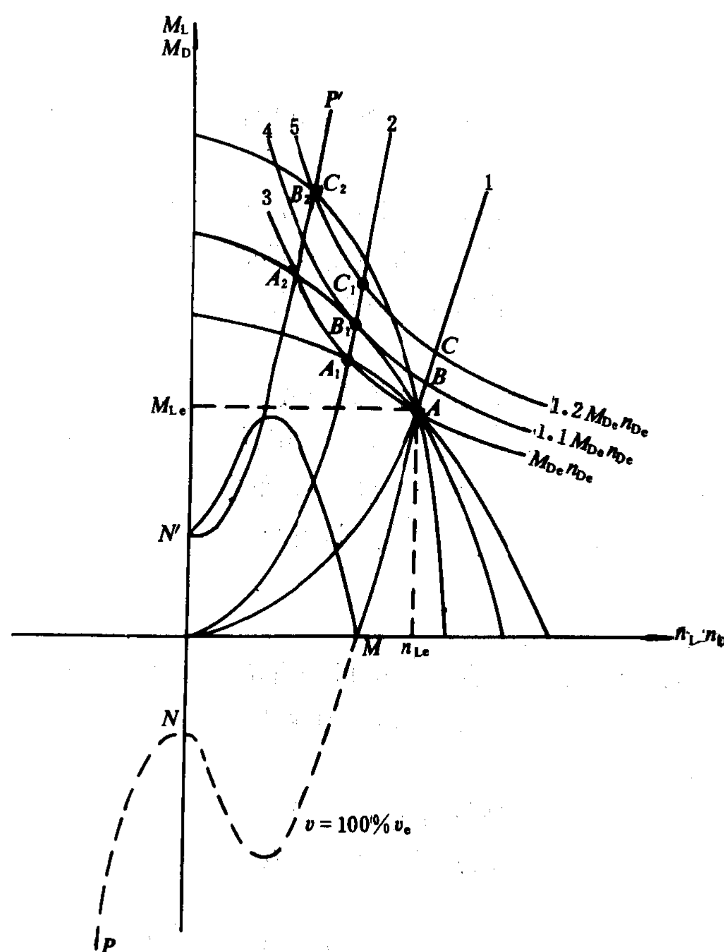


图8.3.11—4 在第一象限中表示的反转特性

1—自由航程特性曲线；2—抛锚特性曲线；3—额定恒功率曲线；4—1.1倍额定恒功率曲线；5—1.2倍额定恒功率曲线

有三种非常态情况：

1)电力推进电动机的机械特性曲线通过A和A_1两点。这种情况适用于螺旋桨的自由航程和抛锚特性下都要持续运行于电动机的额定功率情况下。例如拖船，它在自由航程、拖带及抛锚状态下都要求推进电动机发出持续额定功率。

2)推进电动机的机械特性曲线通过A和B_1两点。这种情况适用于在抛锚特性下航行时允许过载10%的额定功率。例如运输船和各类辅助船，这类船舶的操纵性能较差(因船的惯性很大)往往要在船舶低速下起动电动机。

3)推进电动机的机械特性通过C_2和A两点。这种情况要求在螺旋桨反转时能过载20%的额定功率。例如在军舰及破冰船要有一定量的功率储备，设计这类电力推进系统时还要考虑推进电动机应具有较大的力矩过载能力。

4　直流电力推进系统

4.1　直流电力推进系统的一般特点

在 1.4 节的表 8.3.11—1 中已指出，直流电力推进系统有恒压、F—D 系统和恒流三种方式。每种方式的一般特点简述如下。

4.1.1　恒压方式的特点

恒压方式是通过调节串接在直流推进电动机电枢回路中的电阻来进行速度控制的。这种调速方式曾在小容量的电力推进船上采用过。其缺点是调速用电阻体积大，成本高，且大量电能白白消耗于调速电阻内。目前这种方式已不采用。

4.1.2　F—D 系统方式的特点

F—D 系统方式是通过调节直流发电机的电枢电压来控制直流推进电动机转速的方式，其特点为：

1)因采用带差复激绕组的直流发电机，并进行电动机的励磁调节，所以在低速范围内可产生很大的力矩，因此适用于负载变化剧烈的破冰船、拖网船和电缆敷设船。

2)由于直流电机有整流子，因此其最高电压被限制在 1500V 以下，其制造极限为 1.8～2 $\times 10^6$kW×r/min

3)用多台直流发电机和直流电动机能构成系统，同时也可进行减机运行。

4)装多台发电机和电动机时，一般用串联电枢的连接方法。采用这种方法时负载电流相同、各机通过的负载均匀、且由于发电机与电动机交互串联连接，可降低各机对地电压等优点。

5)当船由快速前进转为后退运行时，有电能反馈至电源电网，因此必须考虑有适当的吸收反馈电能的方法。

4.1.3　恒流方式的特点

恒流方式是将不同用途和不同额定功率的几台直流发电机和直流电动机的电枢串联连接，由这些直流发电机使主回路中的电流保持恒定，与此同时分别调节直流电动机的励磁，进而控制电动机转速的方式，其特点为：

1)可将几台直流发电机及直流电动机的电枢串联连接在同一个主回路上，每台电动机虽接在同一主电路内，但它可以单独调速运行，因此可以从经济观点出发来计划供电给推进电动机。

2)因主回路可实现恒流控制，所以过电流引起的危险性小。此外通过适当考虑电动机的饱和特性，进而可保护直流发电机避免过载。

3)在采用多台直流发电机和电动机运行情况下，如其中有某些发电机或电动机发生故障时，可通过转换装置将有故障的电机与主回路脱开而保持其他电机继续运行。

4)存在调节微速困难，难以给出过大的力矩以及控制系统复杂等缺点。

4.2　直流电力推进系统的主回路

4.2.1　单轴主回路

单轴主回路见图 8.3.11—5。图中 a)～d)为单轮廓回路；e)为双轮廓回路。图 a)的线路很少采用，因为当负载从空载到满载变化时要在两发电机间均匀分配负载，需要有复杂的控制线

路。图 b)的线路用得较广，因两发电机串联，可减少调节装置的复杂性。图 c)至 e)采用双电枢的推进电动机。图 d)的发电机与推进电动机为交叉连接，可减小各机对地的电压。图 e)的双轮廓线路具有更大的生命力。

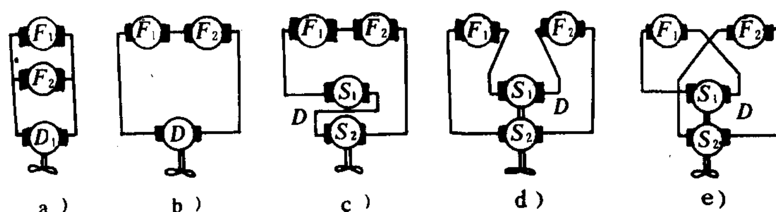


图 8.3.11—5 单轴主回路

a)并联单轮廓回路；b)串联单轮廓回路；c)双电枢串联单轮廓回路；d)双电枢串联单轮廓回路之二；e)双轮廓回路

4.2.2 多轴主回路

多轴主回路见图 8.3.11—6。图中 a)为发电机与推进电动机交叉连接线路，且为单轮廓线路。图 b)和 c)为双轮廓线路。

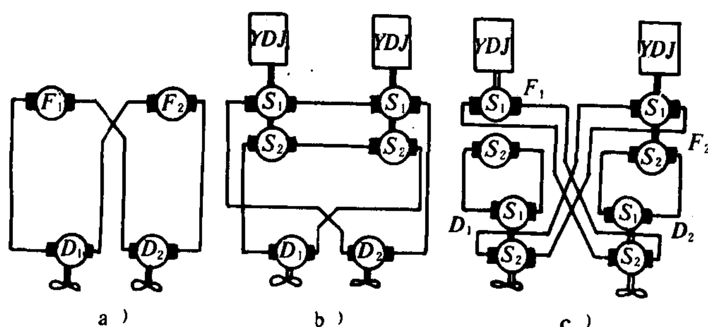


图 8.3.11—6 多轴主回路

a)交叉连接单轮廓回路；b)交叉连接双轮廓回路；c)双电枢双轮廓回路

4.3 直流电力推进系统的中间状态及其计算公式

在直流电力推进系统中，其主回路中一般都串联有若干个发电机和推进电动机的电枢。有时因为某些电枢损坏或由于考虑到经济运行的要求往往需要在主回路中将一些电枢不接在主回路中，所谓电力推进系统的中间状态就是指在主回路中有某些发电机和(或)推进电动机的电枢不接入主电路时的状态。对电力推进系统中间状态的运行要考虑以下两个问题。

1)是否会使发电机或推进电动机过载；

2)是否处于经济运行的状态下，就是说要尽量使每个串入主回路中的电枢均处于满载下运行。

4.3.1 中间状态的计算公式

4.3.1.1 计算公式的假设条件

1)发电机和推进电动机的电枢均是串联的；

2)在所有中间状态下，主回路的电流保持不变；

3)忽略电网和电枢回路的电压降；

4）螺旋桨力矩与其转速的关系用下式近似表达：

$$M_L = K_L n_L^2 \qquad (8.3.11\text{—}4)$$

式中：M_L、n_L——分别为螺旋桨的力矩和转速。

5）磁通Φ、电压U、功率P和力矩M均不超过额定数值；

6）忽略电机的电枢反应；

7）螺旋桨的阻力矩等于它同轴上推进电动机的电磁力矩（即在静态平衡状态下）。

4.3.1.2 计算公式的符号说明

E_F、E_D——分别为每台发电机的电势和每台推进电动机的反电势，V；

P_F、P_D——分别为每台发电机和电动机的功率，kW；

M_F、M_D——分别为每台发电机和电动机的电磁力矩，N·m；

n_F、n ——分别为发电机和电动机的转速，r/min；

Φ_F、Φ_D——分别为每台发电机和电动机的磁通量，Wb；

I ——主回路电流，A；

K_{De}、K_D——分别为额定状态和中间状态下的电动机电枢数；

K_{Fe}、K_F——分别为额定状态和中间状态下的发电机电枢数；

K_{Le}、K_L——分别为额定状态和中间状态下的螺旋桨数；

M_Z——所有运行电动机的总力矩，N·m（在中间状态下）；

P_Z——所有在中间状态下运行发电机的总功率，kW。

4.3.1.3 标么值公式

设符号下脚e表示额定值，符号上的横杠表示标么值，则每台发电机电势的标么值可表示为：

$$\overline{E}_F = \frac{E_F}{E_{Fe}} \qquad (8.3.11\text{—}5)$$

式中：E_{Fe}——每台发电机的额定电势，V；

同理，其它各物理量的标么值可表示为：

$$\overline{K}_F = \frac{K_F}{K_{Fe}};\quad \overline{\Phi}_F = \frac{\Phi_F}{\Phi_{Fe}};\quad \overline{n} = \frac{n}{n_e}\cdots\cdots \text{等} \qquad (8.3.11\text{—}6)$$

4.3.1.4 单轮廓中间状态计算公式

单轮廓主回路中间状态的计算公式见表8.3.11—2。

[例]某直流电力推进系统，其主回路为单轮廓，额定工作时有4台发电机、两台推进电动机和一个螺旋桨，试计算各中间状态。

[解]$K_{Fe}=4$；$K_{De}=2$；$K_{Le}=1$，根据表8.3.11—2计算出各中间状态，并将计算结果列于表8.3.11—3中。

表 8.3.11—2　　**单轮廓主回路中间状态计算公式表**

序号	使用装置的条件	计 算 公 式
1	$\bar{K}_L\bar{K}_F<\bar{K}_D^3$ $\bar{P}_F=\bar{\Phi}_F=1$ $\bar{M}_D=\bar{\Phi}_D<1$	$\bar{P}_Z=\bar{K}_F$
2		$\bar{M}_Z=\bar{K}_L^{1/3}\bar{K}_F^{2/3}$
3		$\bar{P}_L=\bar{K}_F/\bar{K}_L$
4		$\bar{M}_L=\bar{K}_F^{2/3}/\bar{K}_L^{2/3}$
5		$\bar{n}=\bar{K}_F^{1/3}/\bar{K}_L^{1/3}$
6		$\bar{P}_D=\bar{E}_D=\bar{U}_D=\bar{K}_F/\bar{K}_D$
7		$\bar{M}_D=\bar{\Phi}_D=\bar{K}_L^{1/3}\bar{K}_F^{2/3}/\bar{K}_D$
8	$\bar{K}_L\bar{K}_F^2>\bar{K}_D^3$ $\bar{P}_F=\bar{\Phi}_F<1$ $\bar{M}_D=\bar{\Phi}_D=1$	$\bar{P}_Z=\bar{K}_D^{3/2}/\bar{K}_L^{1/2}$
9		$\bar{M}_Z=\bar{K}_D$
10		$\bar{P}_L=\bar{K}_D^{3/2}/\bar{K}_L^{3/2}$
11		$\bar{M}_L=\bar{K}_D/\bar{K}_L$
12		$\bar{n}=\bar{P}_D=\bar{E}_D=\bar{U}_D=\bar{K}_D^{1/2}/\bar{K}_L^{1/2}$
13		$\bar{P}_F=\bar{M}_F=\bar{E}_F=\bar{U}_F=\bar{\Phi}_F=\bar{K}_D^{3/2}/\bar{K}_L^{1/2}\bar{K}_F$

表 8.3.11—3　　**中间状态计算表(举例)**

序号	电枢数				标么值		条件		求出的标么值					
	额定状态		中间状态											
	发电机	电动机	发电机	电动机			$\bar{K}_L\bar{K}_F<\bar{K}_D^3$ $\bar{P}_F=\bar{P}_F=1$ $\bar{M}_D=\bar{\Phi}_D<1$	$\bar{K}_L\bar{K}_F^2>\bar{K}_D^3$ $\bar{P}_F=\bar{\Phi}_F<1$ $\bar{M}_D=\bar{\Phi}_D=1$	$\bar{P}_Z$	$\bar{M}_Z$	$\bar{n}$	$\bar{P}_D$	$\bar{M}_D=\bar{\Phi}_D$	$\bar{P}_F=\bar{\Phi}_F$
	K_{Fe}	K_{De}	K_F	K_D	$\bar{K}_F$	$\bar{K}_D$								
1	4	2	1	1	0.25	0.5	0.0625<0.125	—	0.25	0.317	0.63	0.5	0.794	1
2				2	0.25	1	0.0625<1	—	0.25	0.397	0.63	0.25	0.397	1
3			2	1	0.5	0.5	—	0.25>0.125	0.353	0.5	0.706	0.706	1	0.706
4				2	0.5	1	0.25<1	—	0.5	0.63	0.794	0.5	0.63	1
5			3	1	0.75	0.5	—	0.563>0.125	0.353	0.5	0.706	0.706	1	0.472
6				2	0.75	1	0.563<1	—	0.75	0.825	0.91	0.75	0.825	1

从上表序号 1 可见当主回路有一台发电机和一台电动机的中间状态时，电动机磁励调到额定值的 79.4%，发电机可在全功率下运行，此时电动机的转速为额定值的 63%，序号 3 的例子是 2 台发电机和 1 台电动机的中间状态，2 台发电机的励磁调到额定值的 70.6%(发出 70.6%的额定功率)推进电动机在全励磁下发出额定力矩，此时电动机的功率为 70.6%额定功率，转速为额定值的 70.6%。

4.3.1.5 双轮廓中间状态计算公式

在同一轴上有两个独立的主回路，这种双轮廓主回路的中间状态计算不能用 4.3.1.4 的方法来计算，必须将其加以适当的变化。

设：$\bar{K}_{F1}=\dfrac{K_{F1}}{K_{F1e}}$为第一轮廓发电机数的标么值；

$\overline{K}_{F2}=\frac{K_{F2}}{K_{F2e}}$为第二轮廓发电机数的标么值；

$\overline{K}_{D11}=\frac{K_{D11}}{K_{D2e}}$为第一轮廓电动机数的标么值；

$\overline{K}_{D12}=\frac{K_{D12}}{K_{D2e}}$为第二轮廓电动机数的标么值；

且

$$\overline{\Phi}_{F1}=\frac{\Phi_{F1}}{\Phi_{F1e}+\Phi_{F2e}} \tag{8.3.11—7}$$

式中：Φ_{F1e}、Φ_{F2e}——分别为第一轮廓和第二轮廓主发电机的额定磁通。

同理：

$$\overline{\Phi}_{F2}=\frac{\Phi_{F2}}{\Phi_{F1e}+\Phi_{F2e}} \tag{8.3.11—8}$$

$$\overline{\Phi}_{D1}=\frac{\Phi_{D1}}{\Phi_{D1e}+\Phi_{D2e}} \tag{8.3.11—9}$$

$$\Phi_{D2}=\frac{\Phi_{D2}}{\Phi_{D1e}+\Phi_{D2e}} \tag{8.3.11—10}$$

双轮廓主回路中间状态计算公式见表 8.3.11—4。

表 8.3.11—4　**双轮廓主回路中间状态计算公式表**

序号	使用装置的条件	计算公式
1	$\overline{K}_{F1}^2\overline{\Phi}_{F1}^2>\overline{K}_{D1}^3\overline{\Phi}_{D1}^3(\frac{\overline{P}_L}{\overline{P}_{L1}})$或 $\overline{K}_{F2}^2\overline{\Phi}_{F2}^2>\overline{K}_{D2}^3\overline{\Phi}_{D2}^3(\frac{\overline{P}_L}{\overline{P}_{L2}})$ $\overline{\Phi}_{D1}=0.5,\overline{\Phi}_{F1}<0.5$ 或 $\overline{\Phi}_{D2}=0.5,\overline{\Phi}_{F2}<0.5$	$\overline{P}_{L1}=(\frac{\overline{P}_L}{\overline{P}_{L1}})^{1/2}\overline{K}_{D1}^{3/2}\overline{\Phi}_{D1}^{3/2}$或 $\overline{P}_{L2}=(\frac{\overline{P}_L}{\overline{P}_{L2}})^{1/2}\overline{K}_{D2}^{3/2}\overline{\Phi}_{D2}^{3/2}$ $\overline{\Phi}_{F1}=\overline{P}_{F1}=(\frac{\overline{P}_L}{\overline{P}_{L1}})^{1/2}\overline{K}_{D1}^{3/2}\overline{\Phi}_{D1}^{3/2}/\overline{K}_{F1}$或 $\overline{\Phi}_{F2}=\overline{P}_{F2}=(\frac{\overline{P}_L}{\overline{P}_{L2}})^{1/2}\overline{K}_{D2}^{3/2}\overline{\Phi}_{D2}^{3/2}/\overline{K}_{F2}$
2	$\overline{K}_{F1}^2\overline{\Phi}_{F1}^2<\overline{K}_{D1}^3\overline{\Phi}_{D1}^3(\frac{\overline{P}_L}{\overline{P}_{L1}})$或 $\overline{K}_{F2}^2\overline{\Phi}_{F2}^2<\overline{K}_{D2}^3\overline{\Phi}_{D2}^3(\frac{\overline{P}_L}{\overline{P}_{L2}})$ $\overline{\Phi}_{F1}=0.5,\overline{\Phi}_{D1}<0.5$ 或 $\overline{\Phi}_{F2}=0.5,\overline{\Phi}_{D2}<0.5$	$\overline{P}_{L1}=\overline{K}_{F1}\overline{P}_{F1}$或 $\overline{P}_{L2}=\overline{K}_{F2}\overline{P}_{F2}$ $\overline{\Phi}_{D1}=\overline{K}_{F1}^{2/3}\overline{\Phi}_{F1}^{2/3}(\frac{\overline{P}_{L1}}{\overline{P}_L})^{1/3}/\overline{K}_{D1}=\overline{P}_{D1}$或 $\overline{\Phi}_{D2}=\overline{K}_{F2}^{2/3}\overline{\Phi}_{Fg}^{2/3}(\frac{\overline{P}_{L2}}{\overline{P}_L})^{1/3}/\overline{K}_{D2}=\overline{P}_{D2}$

上表中序号 1、2 中都适用的计算公式还有：

$$\overline{P}_L=\overline{P}_{L1}+\overline{P}_{L2} \tag{8.3.11—11}$$

$$\overline{M}_L=\overline{M}_{L1}+\overline{M}_{L2}=\overline{\Phi}_{D1}+\overline{\Phi}_{D2}=\overline{n}^2 \tag{8.3.11—12}$$

$$\overline{n}=(\overline{\Phi}_{D1}+\overline{\Phi}_{D2})^{1/2}=\overline{M}_L^{1/2} \tag{8.3.11—13}$$

$$\overline{P}_L=\overline{n}^3 \tag{8.3.11—14}$$

4.4 直流电力推进装置典型线路介绍

4.4.1 直流 F—D 系统电力推进装置线路

直流 F—D 系统电力推进装置(日本南极考察船富士号)的主回路见图 8.3.11—7。2 台直流发电机(850V,2420kW,具有差复激绕组)与 2 台直流电动机(2250kW,110/150r/min)交叉串联,2 台电动机与螺旋桨串联连接。图 8.3.11—8 为推进电动机的机械特性。在自由航程状态下航行时,通过减弱推进电动机励磁使转速达到极值。破冰航行时,推进电动机在强励磁下调速,当螺旋桨特性处于抛锚特性状态时,电动机在堵转下,其堵转力矩可达 245%额定力矩。

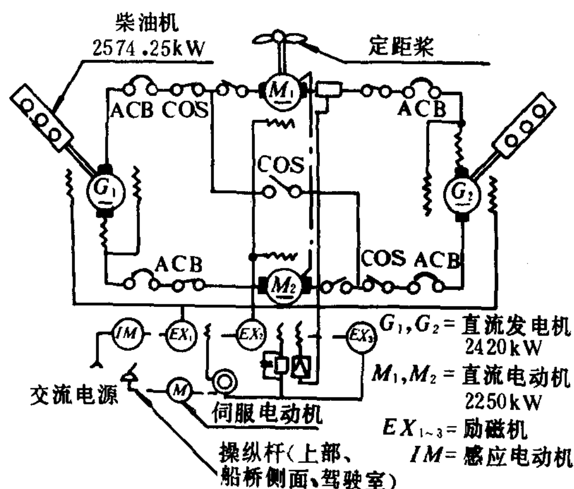


图 8.3.11—7　直流 F—D 系统电力推进装置主回路

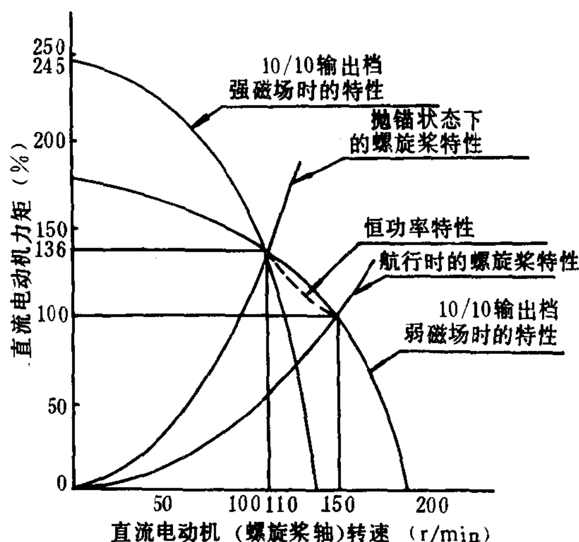


图 8.3.11—8　直流 F—D 系统电力推进装置的机械特性

4.4.2　直流恒流方式电力推进装置线路

图 8.3.11—9 是法国电缆敷设船"维科斯号"的直流恒流方式电力推进装置线路图。图中 4 台柴油机(2700PS×2 台;2000PS×2 台),拖动 4 台直流发电机(每台 1300kW)。2 台推进用直流电动机(2200kW)拖动螺旋桨以几节的微速在海底敷设电缆。2 台推力器(首侧推及尾侧推各一台)它们各用一台直流电动机(550kW)拖动,此 2 台直流电动机串联连接在主回路中起到调整航速的作用。控制直流发电机的励磁就可控制主回路的恒流值,其额定恒值电流可控制在 2300A。调节直流电动机的励磁,就可调节相应电动机的转速。

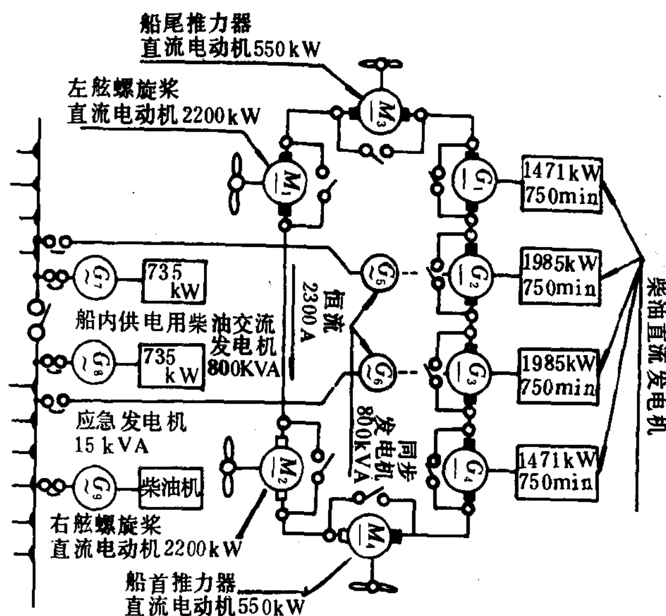


图 8.3.11—9　直流恒流方式电力推进装置线路图

图 8.3.11—10 是某拖网渔船恒流方式电力推进线路。除推进电动机外,拖网绞车 T 和泵转向装置 H 的电动机都接入主回路内。主回路电流由给定装置 1 给定,电流的实际值从放大器 7 的输出端进入比较点 2。电流调节器 3 将比较后的误差信号变为发电机励磁电流给定值,送至励磁电流调节器 4,经触发装置 5 去控制晶闸管整

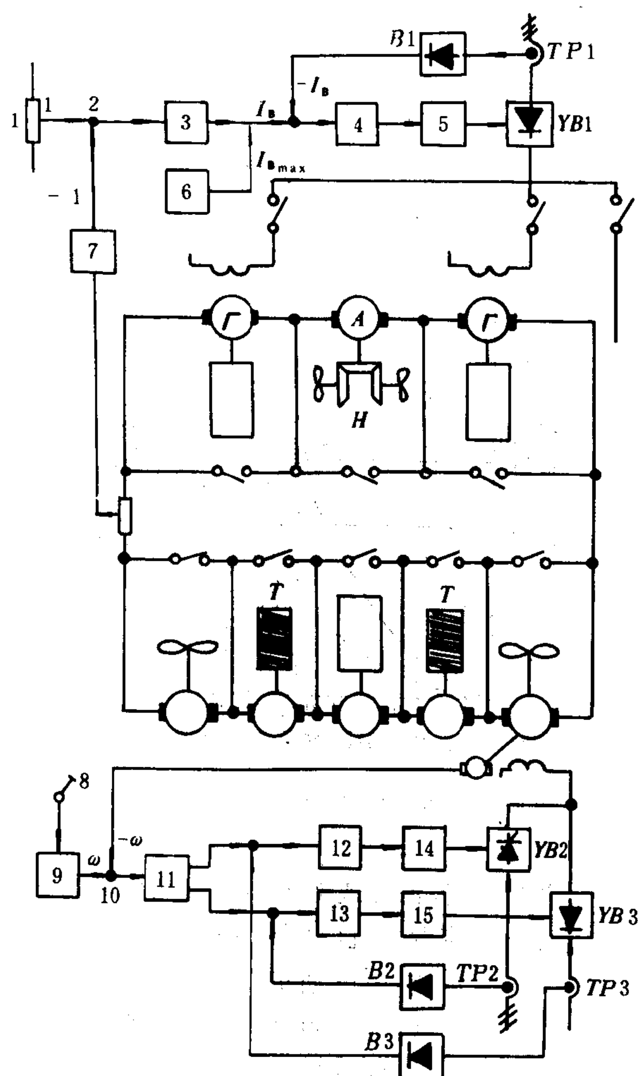


图 8.3.11—10　拖网渔船恒流方式电力推进线路

流器 YB1，达到控制发电机励磁的目的。电流负反馈是由变压器 TP1 经整流器 B1 来实现，而限幅器 6 限制了发电机励磁电流的极限值，从而限制了原动机的功率。推进电动机和其它电动机的转速由励磁控制电路来控制。转速给定值由给定装置 8 整定，经限幅部件 9 与实际转速值 W 在 10 处进行比较后送到速度调节器 11，并随给定信号极性的不同而输出控制电动机，正反向的励磁控制电流信号，经励磁电流调节器 12 或 13 和晶闸管触发装置 14 或 15 去控制晶闸管正向和反向桥 YB2 和 YB3。借助变压器 TP2、TP3 和整流器 B2 和 B3 实现电流反馈。

5　交流电力推进系统

5.1　交流电力推进系统的一般特点

交流电力推进系统按交流电动机的种类及控制方式不同可分为同步电动机、异步电动机及无整流子电动机三种，其各自的特点分别叙述如下。

5.1.1　同步电动机方式的特点

20 年代至 40 年代期间，同步机多用于大型客轮、油轮、护卫舰等船上；随着蒸汽轮机的大型减速齿轮装置的开发和大功率输出柴油机的发展，该方式逐渐不被采用。但至本世纪 70 年代初因开发了由同步电动机方式与燃气轮机和变距桨相结合的电力推进装置，该方式又受到了重视。同步电动机方式的特点为：

1)同步电动机可采用中压(额定电压一般为 2000～6000V，最高可达 15000V 左右)，因此由于电压较高，所以与直流方式相比，可使装置体积小，重量轻。

2)同步电动机与异步电动机相比，其定子与转子间的间隙较大，因此其每台功率可做到 70000kW 左右，可用于大功率输出的电力推进装置。

3)可在功率因数为 1 的情况下运行，它与相同功率、相同电压的异步电动机相比可减少电流，从而也减轻了重量。

4)起动力矩小，因此通常需在同步电动机上装起动线圈，起动时可用该线圈异步起动，待转速接近同步转速时，接通直流励磁以拉入同步。

5)同步电动机在负载力矩显著变化时有可能会引起失步和停车。

6)当采用定距桨时一般要用频率控制来调速，即调节原动机的转速来调节发电机的频率。

当采用变距桨时，原动机不需要调速，主要由变距桨来调速。

5.1.2 异步电动机方式特点

本世纪20年代，异步电动机推进系统多用于军舰。20年代后它被结构坚固的同步电动机所取代。近年来与变距桨相结合的异步电动机方式开始用于拖网船、自航式挖泥船等小型船上。异步电动机方式的特点如下。

1)与同步电动机相比，成本较低。

2)与变距桨结合时，对异步电动机不需要进行调速。

3)对异步电动机进行调速时可采用转子中串电阻(损耗大，效率低)和串级调速(附加设备多，成本高)。

5.1.3 无整流子电机方式的特点

无整流子电动机方式包括由同步电动机和整流器与逆变器组成的交—直—交间接变频调速系统和由同步电动机与变频器组成的交—交直接变频调速系统两大类。无整流子电动机方式的主要特点如下：

1)它的机械特性与直流F—D系统相似，调速性能好。

2)因发电机和电动机都是交流的，无整流子和电刷，所以易于维修和保养。

3)因主回路上设有晶闸管变换装置，所以会产生高次谐波，对此应装有防干扰设备。

5.2 交流电力推进系统的主回路

5.2.1 单轴主回路

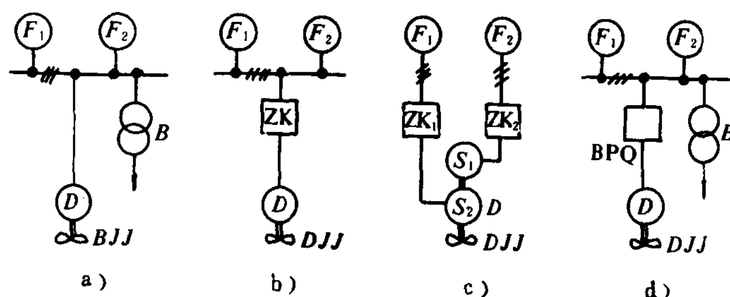


图8.3.11—11 单轴主回路

a)变螺距螺旋桨回路；b)定螺距螺旋桨单电枢回路；c)同b)但为双电枢；d)变频器调速回路

单轴主回路如图8.3.11—11所示。由图可见，电动机均跨接于发电机输出母线的两端。当螺旋桨采用变距桨BJJ时(图a)，发电机和电动机都以恒定的频率运行。此时船舶用电设备的供电也可从其输出母线经变压器B提供。当螺旋桨为定距桨时(图b至d)，推进电动机采用变频调速；调速的方法可改变原动机的转速或采用静止变频器。在图b)中，推进电动机直接由公共母线供电，它的反转采用转换开关ZK，通过改变两相的相序来实现。图c为双轮廓线路，在反转用的转换开关ZK_1和ZK_2之间有连锁，可做到反转时同时改变对应两相间的相序；由于推进电动机的两个电枢同轴，因此发电机F_1和F_2是在同步下运行的。在图d中推进电动机的调速和逆转通过变频器BPQ来实现；发电机F_1和F_2并联运行于公共母线上且通过变压器B将电源供电给船舶用电设备。

5.2.2 多轴主回路

多轴交流电力推进系统的主回路如图8.3.11—12所示。图中a)为汽轮机交流多轴电力推进系统；其特点是发电机功率大(3000至200000PS)因此发电机数量少，而推进电动机数量多，通过发电机的自动断路器DLQ_1～DLQ_2和推进电动机的自动断路器DLQ_3～DLQ_6的控制可以选择发电机与电动机之间的任意连接。图b)是柴油机交流多轴电力推进系统，其特点

是发电机功率较小，因此发电机数量多而推进电动机则数量较少。通过自动断路器 DLQ_1～DLQ_7 可任意选择主发电机与推进电动机的连接。图 a)、b)中的 ZK_1～ZK_2 为使推进电动机逆转的转换开关。

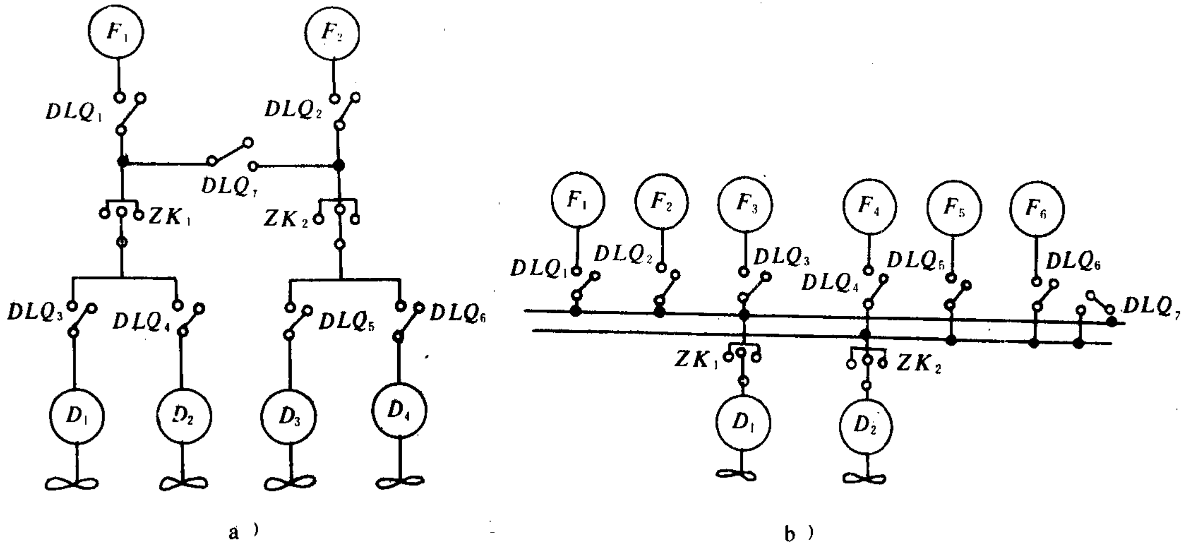


图 8.3.11—12　多轴主回路

a)汽轮机交流多轴主回路；b)柴油机交流多轴主回路

5.3 交流电力推进装置典型线路介绍

5.3.1 同步电动机方式的交流电力推进装置线路

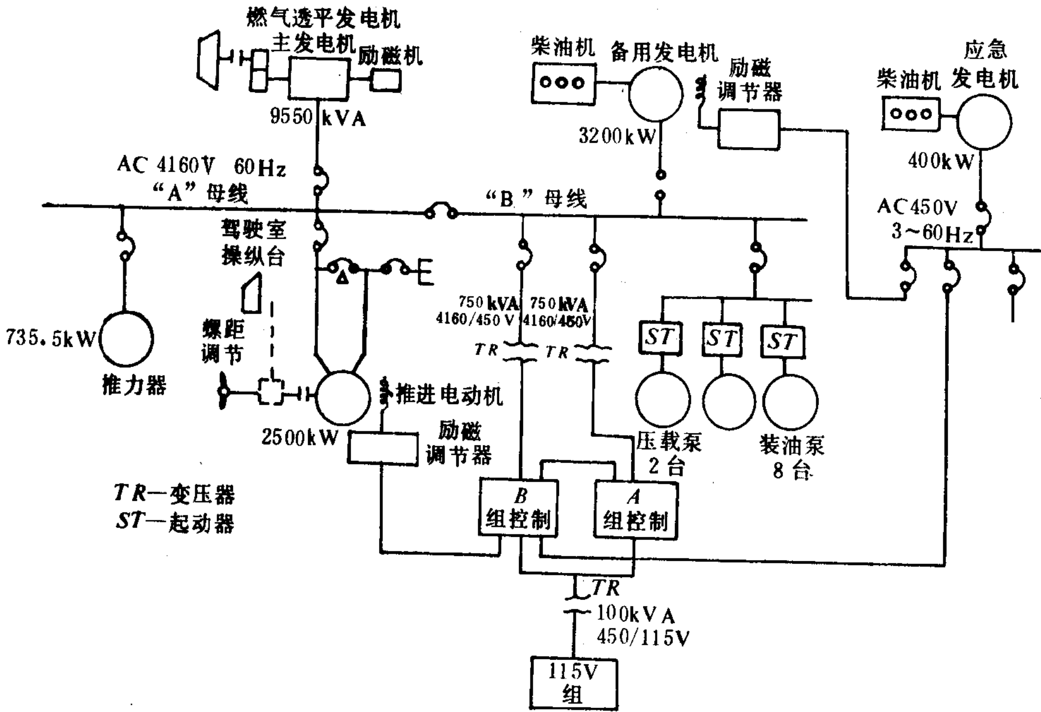


图 8.3.11—13　同步电动机方式的交流电力推进装置线路

图 8.3.11—13 是同步电动机方式的电力推进线路。其主回路由一台燃气轮机发电机和一台同步电动机组成。因电动机拖动的是变距桨，因此发电机不必变压与变频，它不但可给推进电动机供电，还可给首侧推器及船上其它负载供电。燃气轮机发电机组如采用标准化机组可设置在机舱上部的甲板上，这样可有效利用机舱空间，增加载货容积。

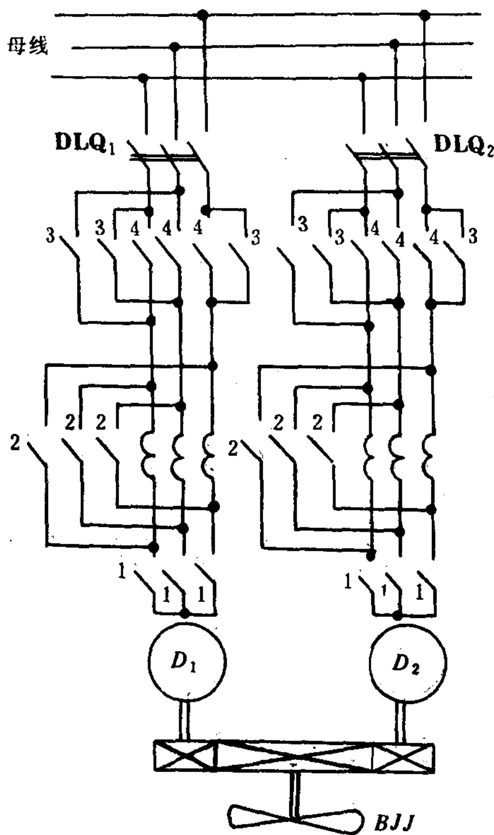


图 8.3.11—14 鼠笼式异步电动机电力推进装置线路

5.3.2 异步电动机方式的交流电力推进装置线路

这种类型线路见图 8.3.11—14。两台 1100kW 柴油发电机组和两台 200kW 辅助发电机组可并联运行于 450V60Hz 母线上，并供电给推进电动机 D_1 及 D_2。推进电动机(950kW，440V，1185r/min)经减速齿轮箱减至 176r/min 并拖动变距桨 BJJ。DLQ_1 与 DLQ_2 是接通 D_1 与 D_2 的自动开关；图中 1、2 为起动接触器，3、4 为正、反转接触器。起动时先接通 4(或 3)和 1，电动机定子线组接成星形起动，当转速达预定起动转速时 1 断开 2 接通，电动机定子绕组接成三角形。

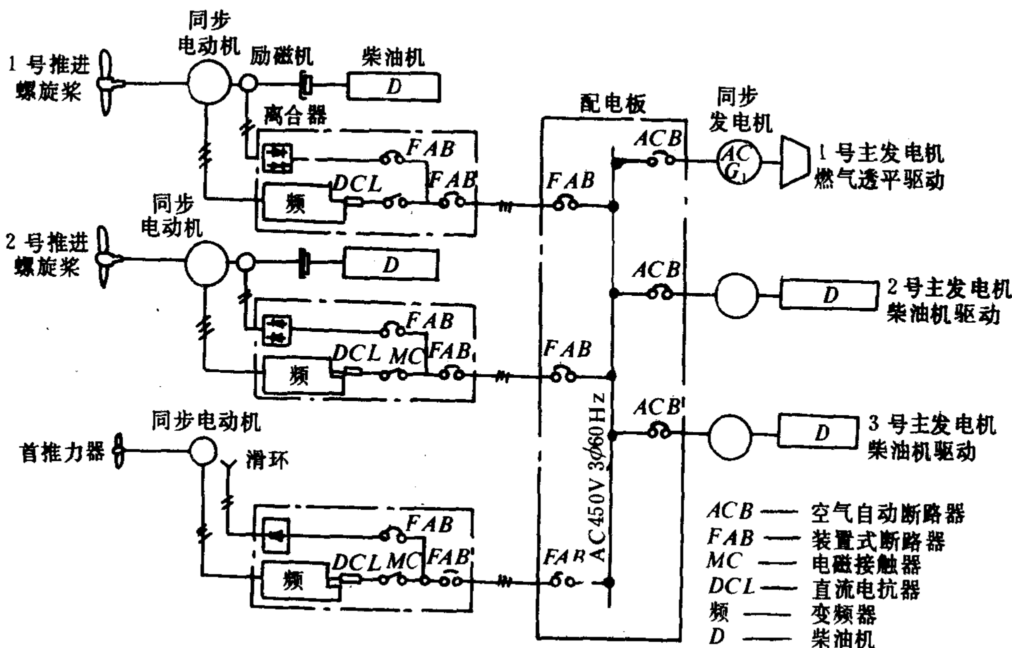


图 8.3.11—15 日本"粟滨号"无整流子电动机方式电力推进线路

5.3.3 无整流子电动机方式的交流电力推进线路

这类线路见图 8.3.11—15，两台燃气轮机拖动 2 台同步发电机，通过变频机可获得无级大范围平滑的调速性能。

6 交直流电力推进系统

6.1 交直流电力推进系统的一般特点

它主要可分晶闸管供电的电动机方式、交流—整流器—电动机方式和直流—逆变器—交流电动机等方式。它们的共同优点是没有直流发电机，可减少发电机的维修工作量；几台同步发电机易于并联运行；可采用高速轻量化原动机而减轻装置重量；此外调速特性都比较好。

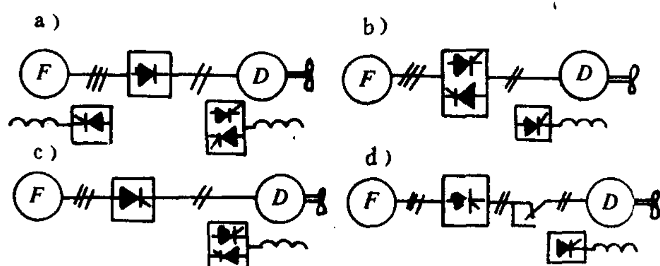


图 8.3.11—16 交直流电力推进系统的单轴主电路

a)F—D 系统；b)正向及反向晶闸管桥控制；

c)不可逆晶闸管控制；d)接触器控制

晶闸管供电—电动机方式还具有可兼给推进装置以外的大功率船舶交流用电设备的优点；其过渡过程中产生的再生功率可反馈至电网。缺点是晶闸管在相位控制中会产生高次谐波的干扰。但交流—整流器—直流方式的电压、电流波形畸变小，谐波引起的干扰甚微，其缺点是不能给推进装置以外的设备供电；反馈功率不能反馈至电网而只能在电枢回路中的电阻中消耗。

直流—逆变器—交流方式可采用脉冲宽度调制(PWM)进行电压和频率控制；对再生功率可反馈给直流母线；缺点是存在高次谐波干扰。

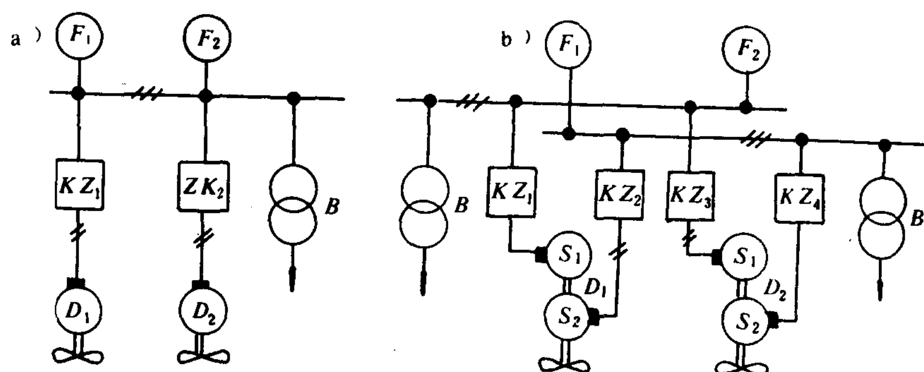


图 8.3.11—17 交流电力推进系统的多轴主回路

a)为单轮廓主回路；b)为双轮廓主回路

6.2 交直流电力推进系统的主回路

图 8.3.11—16 是单轴主回路，图中 a)为主电路不用晶闸管控制；b)为用正向和反向晶闸管桥控制的主回路；c)为可控不可逆晶闸管控制的主回路；d)为由接触器可逆控制的单向晶闸

管控制的主回路。图 8.3.11—17 为多轴主回路。

6.3 交直流电力推进装置典型线路介绍

6.3.1 晶闸管供电的电动机系统线路

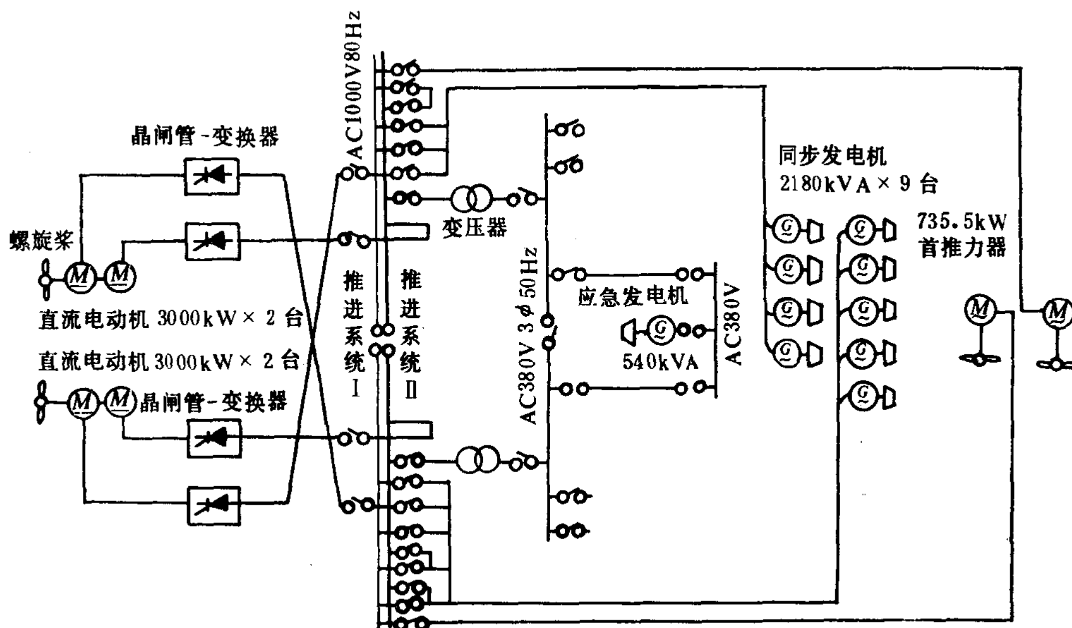


图 8.3.11—18 晶闸管供电的电动机系统"德意志"轮线路

此类线路见图 8.3.11—18，9 台同步发电机可并联运行于母线，交流电经晶闸管单向桥供电给 4 台直流推进电动机和 2 台首侧推及一般船上用电设备。

6.3.2 交流—整流器—直流方式线路

这类线路见图 8.3.11—19，每变距桨由一直流电动机拖动，调节它的励磁和同步发电机励磁可实现电动机的调速。

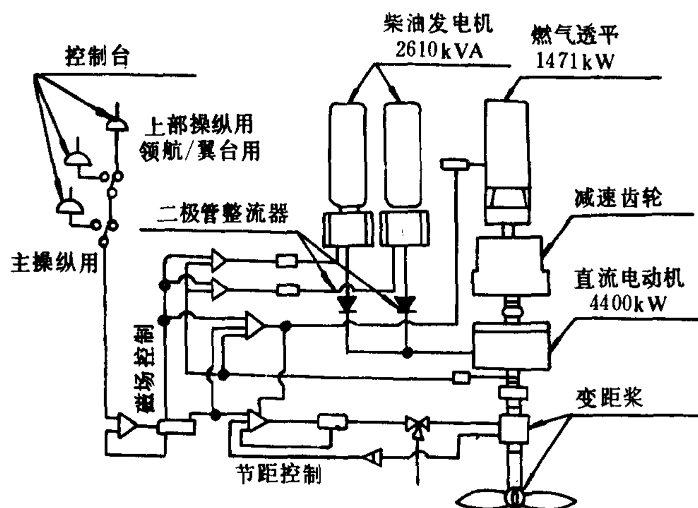


图 8.3.11—19 美国大型破冰船"北极星号"交流—整流器—直流方式电力推进线路

图 8.3.11—20 是这种方式线路之二。交流电由 4 台同步发电机经整流器 Z_1～Z_4 供电给

直流推进电动机 D_1 和 D_2。调节发电机和电动机的励磁可实现推进电动机的调速和逆向。

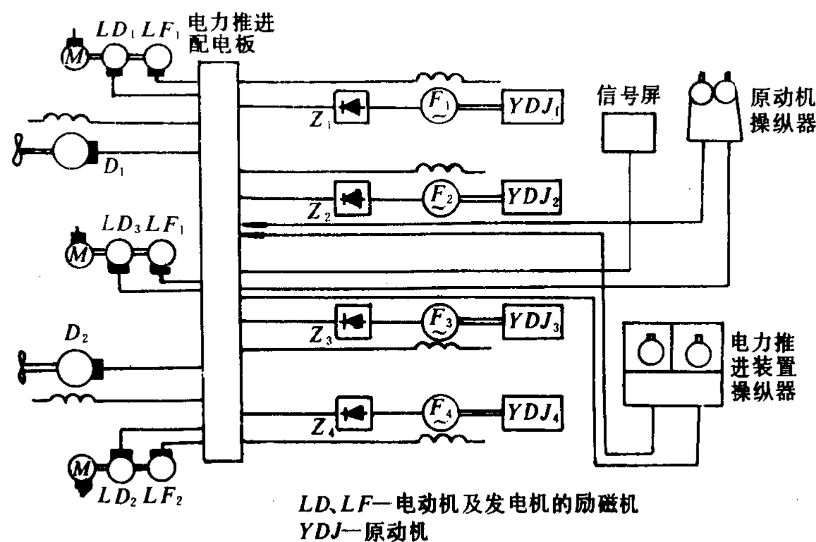


图 8.3.11—20　交流—整流器—直流方式电力推进线路之二

6.3.3　直流—逆变器—交流电力推进线路

这种方式的线路见图 8.3.11—21。直流电由 2 组主蓄电池组供给推进逆变器并采用脉宽调制的变压和变频控制对一台主推进电机及 2 台辅助推进电动机进行调速。

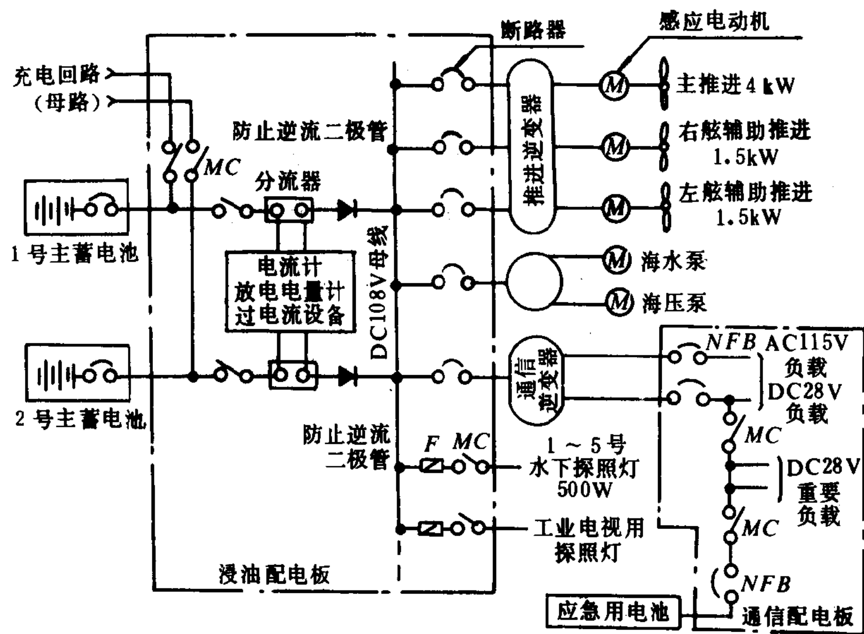


图 8.3.11—21　直流—逆变器—交流电力推进方式线路

7　船舶超导电力推进系统

7.1　超导现象

将铌或铅等金属冷却到接近绝对零度时，其电阻值突然变为零，这种特异的物理现象叫做

超导现象。理论上如利用超导现象制一无损耗线圈，可产生一般电磁铁无法获得的强磁场。在超导状态下，电阻值完全为零，所以用超导线制作的回路中一旦接通电流，即使外部电源断开，电流也能永久流通，也就是说可以做成永流电动机。利用这种现象不仅可以节能而且还可得到极其稳定的磁场。因此对于船舶超导电力推进系统的研究与开发有极大的现实意义。美国已在1980年制成船舶超导电力推进系统1号机成功地负荷航行了2h。超导电机体积小，有可能设计出重量轻的电力推进装置。当前高临界温度超导研究有重大突破，超导的工作温度有可能提高到液氮条件(77°K)以上甚至达到室温(300°K)，超导技术的应用已呈现崭新的形势。

7.2 超导电力推进系统概述

超导电力推进系统见图8.3.11—22。它由有超导励磁线圈的发电机和推进电动机以及氦冷却系统构成。其调速方案以采用F—D系统为宜。对励磁线圈要求能达到1T/S① 的励磁速度而采用高速励磁的超导材料。超导电机应设有在强磁场作用下，电流密度可达750～1500A/cm² 的高效能的集流装置。

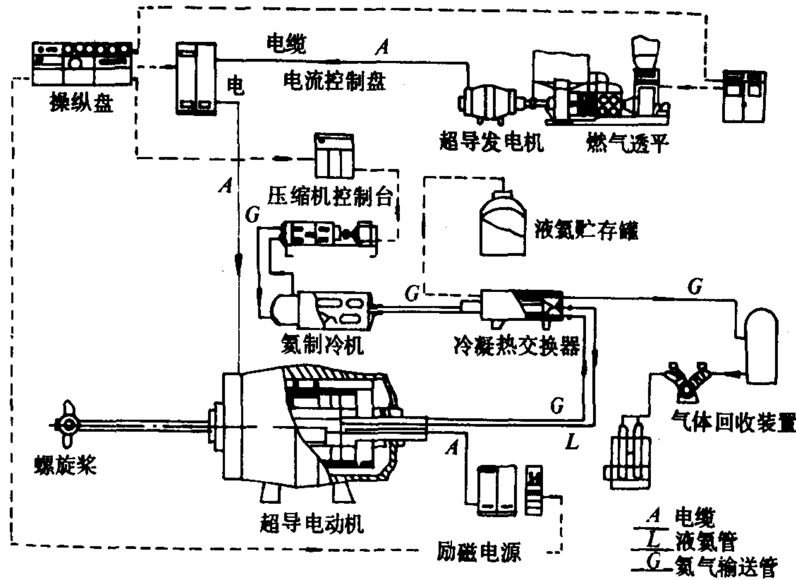


图8.3.11—22 超导电力推进系统图

由超导状态突然变为常态的现象叫失超。为了维持超导状态，必须将金属冷却到呈现超导状态时特有的临界温度以下。当超异线圈由失超而变为常态时，线圈中将出现电阻，此电阻产生的热量使冷剂气化，因此超异系统还应设有气体回收设备。

7.3 超导电力推进系统的一般特点

与常态电力推进比较，有以下特点：

① T—磁通密度单位—特[斯拉]。

1)重量轻。15000kW 以上的发电机重量为常态的 1/5～1/8;电动机为 1/3～1/4。

2)体积小。与常态电机相比,发电机为常态的 1/10～1/15; 电动机为 1/13～1/15。

3)效率高。DC—DC 方式可提高 6%～8%;AC—AC 方式可提高 3%左右。

4)机器安装的自由度高。

5)由于机舱长度大大缩短,可使装货容积增加。

6)操纵性能好。

7)可以不要机械动力传动系统。

参 考 文 献

[1] Гребные электриЧеские установки Сгравочник,Сugостроение,1985

[2] Н. И. Чатирев,Текст лекций по курсу “Электроgвижение Сugов”, 1957

[3] В. И. Полонский,Гребные электрические усТановки,1958

[4] Ю. И. Акулов,Гребные элсктрические установки, 1982,москва《Транспорт》

[5] 井上馨“各种电力推进方式的特点与发展方向(译自日文)《船舶电气》1985 年第 3 期

[6]森弘之,“船用超导电力推进系统”(译自日文)《船电技术》1984 年第 3 期 28—35 页

第12章 船内通信与信号警报装置

1 概　述

船内通信与信号警报装置的作用，如同人体的神经系统，能及时掌握和了解船内各部位、各舱室的情况；掌握和监视船内各种机械装置和设备的工作状态；指挥船舶安全航行，协调各部门之间的工作；方便船员日常工作和生活事务联系等，是船舶的重要组成部分之一。我国船舶检验局对这一部分有专门的要求（见本卷第5篇）。目前船内通信与警报装置，按其用途大致可分为如下几方面内容：

1）船舶电话通信系统。

2）船舶操纵信号系统。

3）船舶航行信号系统。

4）船内报警信号系统。

5）船用广播系统。

2 船用电话通信系统

2.1 概　述

船用电话是指挥航行、传达命令、协调工作、方便日常工作和生活中的事务联系的主要设备，是自动化船舶或大型船舶的内部通信设备的重要组成之一。

目前，船用电话系统有对讲（直通）电话系统、船舶用指挥电话系统、自动电话系统。前两种结构简单、工作可靠、接通迅速，多做为指挥联络之用。自动电话系统使用灵活、方便，多做为日常工作、生活联系之用。

“规范”要求：下列处所之间若以电话为主要通信工具时，则应为声力电话或蓄电池供电的指挥电话。(1)驾驶室——机舱；(2)驾驶室——应急操舵站及舵机舱；(3)驾驶室——火警信号站及消防设备集中控制站、船首、船尾；(4)驾驶室——无线电室等。并且规定上述(1)、(2)必须为直通电话。还要求：安装在噪音较大的舱室内的电话，若影响通话时，则应装设在隔音室或隔音罩内。

2.2 电　话　机

在电话通信中，电话机是不可缺少的部件，它担负着彼此呼叫和双方通话时的送话和受话的作用。一般电话机都有下面三部分组成：

1）通话设备：担负着声、电互相转换的作用，包括送话器、受话器、混合（感应）线圈等。

2）信号设备：担负着发出呼叫信号，接收呼叫信号的作用，包括手摇发电机、拨号盘装置、电铃（或蜂鸣器）等。

3)转换与附属设备:担负着信号电路与通话电路的转换,包括叉簧开关、按键和用以改善通话效果所用的电阻器、电容器等。

2.2.1 声力电话机

声力电话机在通话时,不需要外加电源,直接利用声能通过送话器,把声音转变为音频电流,送到对方电话机的受话器,再由受话器把该音频电流变为声音的一种通话装置。这里的送话器、受话器都是电磁式。图 8.3.12—1 是它们的工作原理示意图。

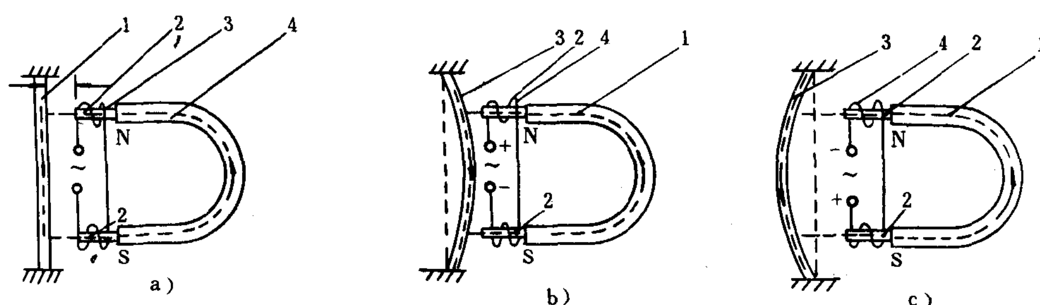


图 8.3.12—1 送、受话器工作原理示意图

a)平衡状态;b)说话时,吐气状态;c)说话时吸气状态

1—导磁的振动膜片;2—极靴(或极块);3—激磁绕组;4—永久磁铁(磁石)

作为送话器时,振动膜片 1 受声波作用产生振动,改变了膜片 1 与极靴 2 之间的气隙,使磁路中的磁阻产生变化,引起磁通的变化,在激磁绕组 3 中感应出与声波对应的音频电势,并在通话回路形成音频电流。

作为受话器时,音频电流通过激磁绕组 3,产生相应的交变磁通,使对振动膜片 1 的作用力产生变化,膜片 1 就按音频电流的频率和幅值振动而发出声音。

图 8.3.12—2 是声力电话机的电路原理图。

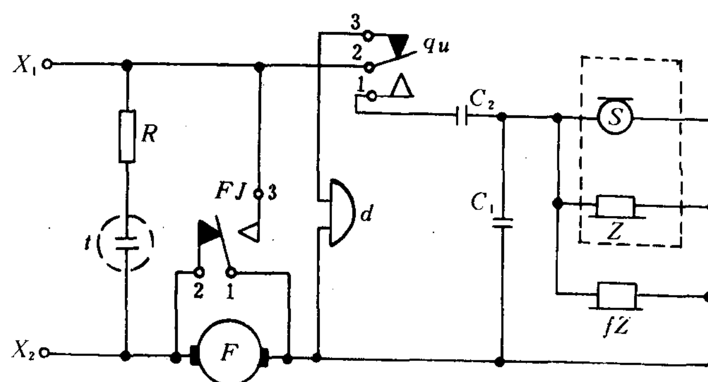


图 8.3.12—2 声力电话机的电路原理图

S—送话器(话筒);Z—受话器(听筒);fZ—副受话器;d—振铃;F、FJ—手摇发电机及其辅助触点;

t—氖灯;qu—杠杆(叉簧)开关;R—电阻;C_1,C_2—电容

声力电话的缺点是声音小,通话距离较短。在实际应用中增设了半导体的增音装置。图 8.3.12—3是目前广泛应用的船用 VSZ3 型系列增音式声力电话机电路原理图。

2.2.2 普通电话机

在人工交换机中的电话机称之为普通电话机,分为磁石式电话机和共电式电话机。

磁石式电话机与声力电话机相近，是用手摇发电机发出呼叫信号。但与声力电话机不同的是每台电话机都有自己的电池供电。此种电话机是与磁石式人工交换机配合工作。

共电式电话机没有单独的电池供电和手摇发电机。呼叫信号和送话器所需的直流电源由总机集中供电，此种电话机是与共电式人工交换机配合工作。

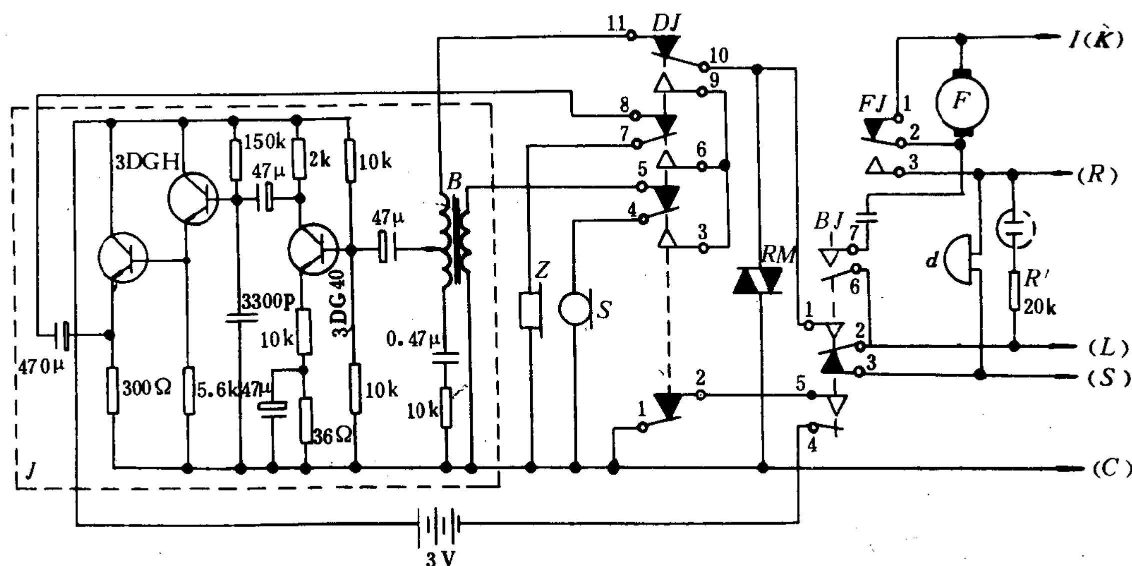


图 8.3.12—3　VSZ3 系列增音式声力电话机原理图

J—增音器；Z—受话器；S—送话器；DJ—转换开关；RM—双向限幅器；BJ—杠杆开关；(R)—铃流地线；(S)—外接电铃线；(L)—通话信号线；(C)—通话地线；I(K)—用户选择开关线

1)送话器：较常用的有电磁式送话器和炭精式送话器。电磁式送话器与声力电话机中的送话器相似，随着晶体管放大器做为增音器的应用，补偿了它输出功率小的短处，降低了电流损耗，使通话失真度小的优点突出出来。同时有利于与受话器在结构上统一。因此，得到广泛的应用。

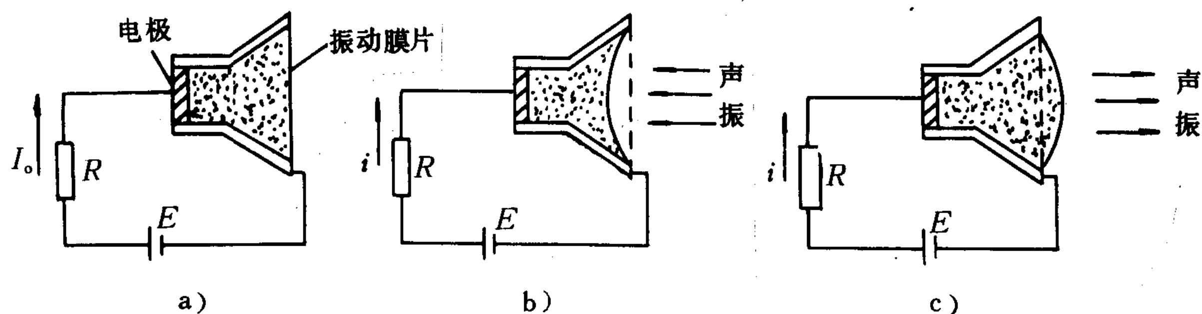


图 8.3.12—4　炭精式送话器工作原理图

a)平衡状态；b)吐气状态；c)吸气状态

炭精式送话器的结构简单、功率大，目前使用普遍，其原理如图 8.3.12—4。随着声振的变化，炭精粒的松紧度也产生变化，改变了电阻值，使电路中的电流产生相应变化(称作活流)。根据炭粒的大小，炭精送话器可分为低阻、中阻和高阻三种。颗粒大的阻值小，允许通过大的供电

电流。为了提高通话效果，必须根据供电电流大小选用不同阻值的送话器，表 8.3.12—1 列出三种不同阻值炭精送话器的供电电流，阻值范围和适用范围，供选用参考。

表 8.3.12—1　**炭精送话器规格表**

分　类	供电电流　mA	送话器电阻　Ω	适　用　范　围
低阻	60～80	30～65	磁石式电话机，短线路共电式电话机
中阻	25～60	65～145	共电式电话机，短距离步进制自动电话机
高阻	12～25	145～300	机电制自动电话机，远距离步进制自动电话机

炭精式送话器技术性能指标：

①在话频范围内平均送话效率高。

②通话清晰度高。

③防潮性能好，在温差和气压急剧变化时，通话效果不受影响。

④电阻值不受话机位置变化影响。

炭精式送话器采用盒式结构，图 8.3.12—5是它的构造示意图。

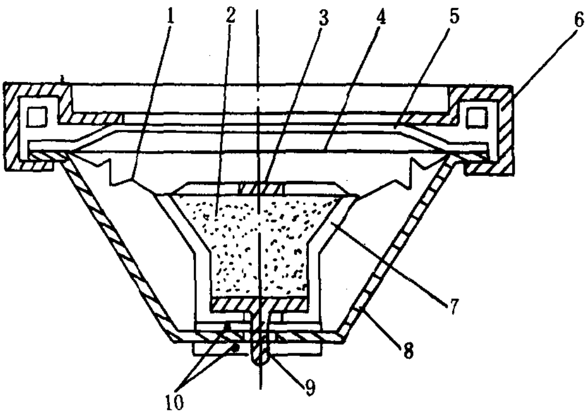


图 8.3.12—5　炭精式送话器构造示意图

1—振动膜片；2—炭精粒；3—前电极；4—防潮保护膜；5—保护罩；6—轧圈；7—炭精杯；8—金属外壳（前电极的引出端）；9—后电极；10—绝缘垫片（两片）

2）受话器：较常用的有电磁式受话器和压电陶瓷式受话器。

电话中常用的压电晶体是锆钛酸铅附加一定杂质烧结成的陶瓷，经过加电，极化后形成的多晶体。它分为正压电效应和逆压电效应两种。图 8.3.12—6 是压电陶瓷式受话器工作原理图。

受话器的技术性能指标：

①在话频范围内失真小，效率高。

②频率特性具有较好的均匀性。

③ 在环境温差变化时，灵敏度不应有明显下降。

④结构坚固，防潮性能好。

3）混合线圈：又称电话变量器或感应线圈，实际上是一个具有铁芯的变压器。其作用如下：

①把讲话回路与听话回路混合为一个回路之后，用该线圈把讲话时的脉冲电流变为交变的话流，不让直流通过受话器。

②在同样的供电电流下，能使通话的距离延长。

③使送话器与负载阻抗容易实现匹配，获得最大的功率输出。

④是消侧音电路的重要组成部分。

4）消侧音电路

侧音是指从受话器中听到自己送话器送来的声音（包括自己讲话声和同室内的噪杂音）。它的存在与对方来话混在一起，听不清真正讲话声，使人听觉疲乏，降低听力，严重地影响通话效果。侧音式通话电路如图 8.3.12—7 所示。

为了消除侧音，一般都采用消侧音电路。常用的有桥式消侧音式通话电路和补偿（帮流）式消侧音电路。如图 8.3.12—8 所示。

发话时的话流如图中实线箭头所示。a)图中 $i_2=i_3$，反方向通过听筒 Z，所以听不到侧音。b)图中 $i_1=i_2$，从异名端分别通过完全一样的绕组 II 和 III，所以在绕组 I 中没有感应音频电势，无话流通过听筒 Z，听不到侧音。c)图是话流在绕组 III 感应电势与 i_3 在 Z_H 上压降相等，互相抵消，无话流通过听筒 Z，听不到侧音。听话时的话流图中虚线箭头所示。在三种电路中，对方来的话流 i'_2 都能通过听筒，所以都能听到对方的讲话。

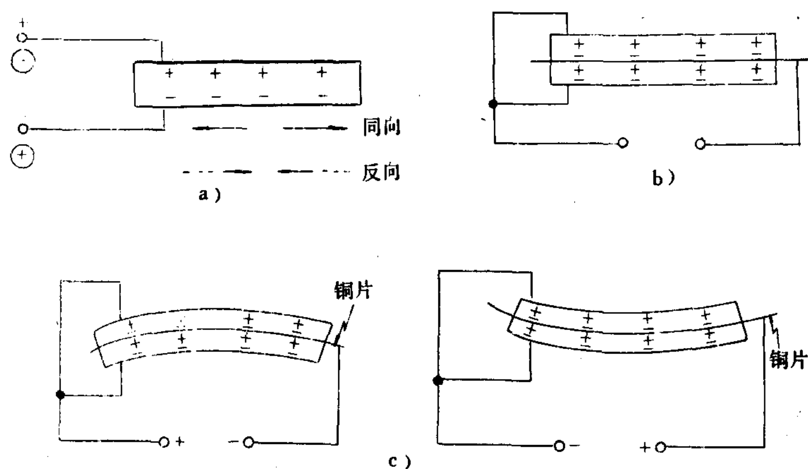


图 8.3.12—6　压电陶瓷受话器原理示意图

a)陶瓷片逆压电效应；b)受话器中陶瓷片粘结示意图；c)受不同极化方向作用，陶瓷片弯曲示意图

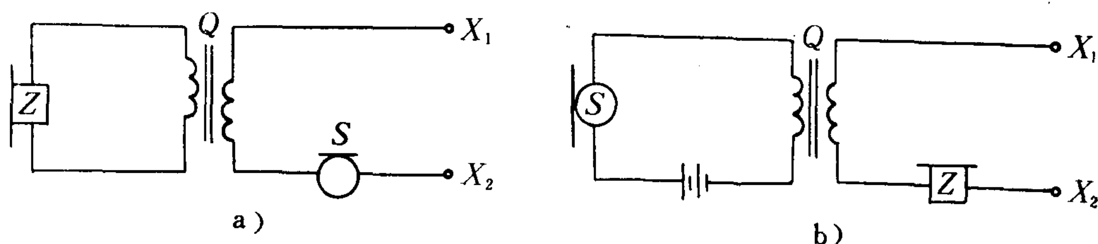


图 8.3.12—7　侧音式通话电路

a)共电式电话机的侧音式电路；b)磁石式电话机的侧音式电路

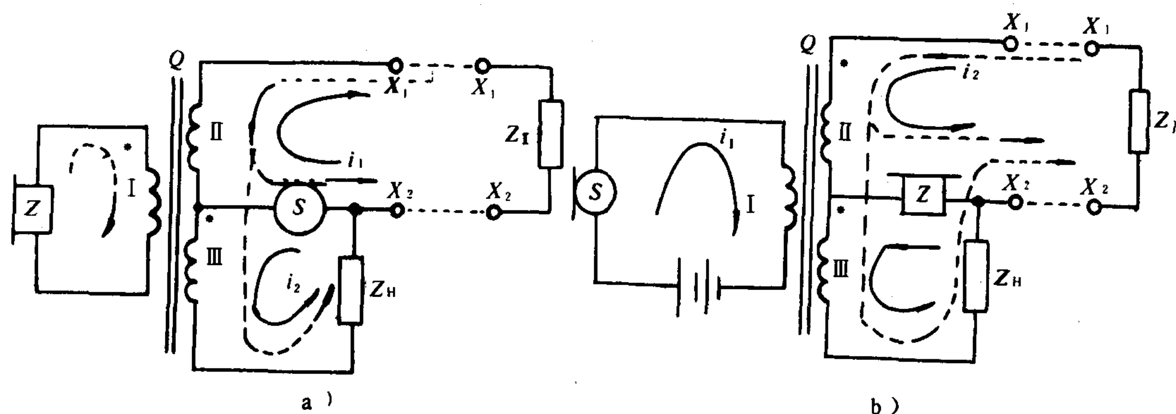


图　8.3.12—8

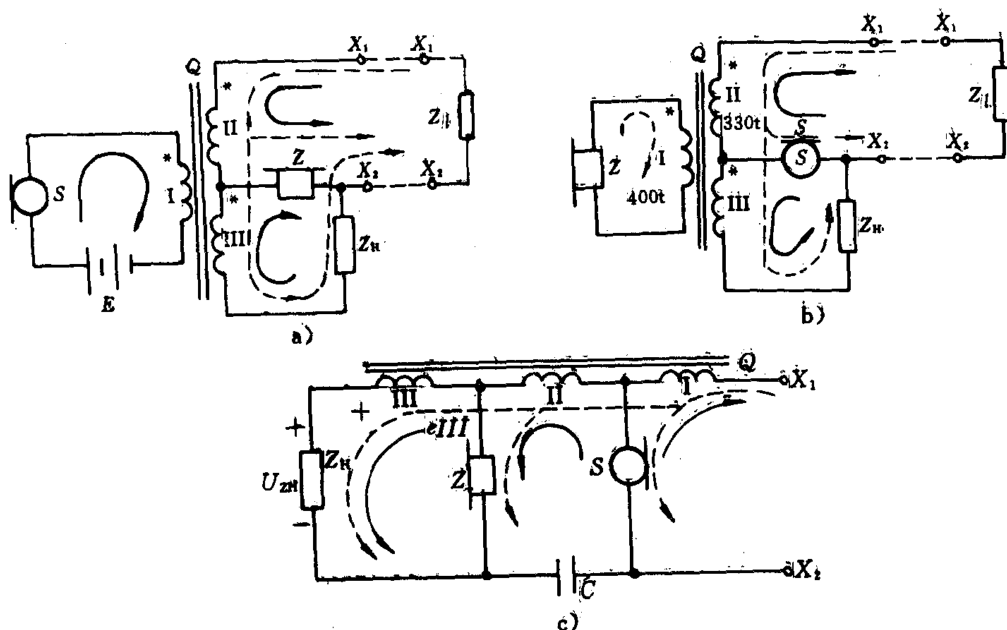


图 8.3.12—8 消侧音式通话电路

a)磁石式电话机中的桥式消侧音电路；b)共电式电话机中的桥式消侧音电路；c)补偿(帮流)式消侧音电路

5)电话机电路

图 8.3.12—9 的 a)和 b)分别为 020101 型磁石式电话机原理电路和 049102 型共电式电话机原理电路图。

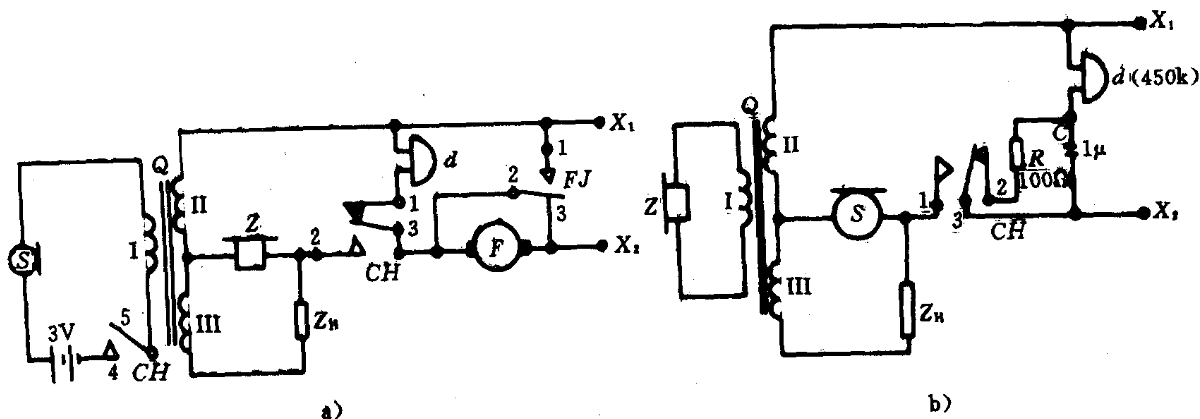


图 8.3.12—9 普通电话机电路原理图

a)020101 型磁石式电话机原理电路；b)049102 型共电式电话机原理电路

S—送话器；Q—混合(感应)线圈；Z—受话器；Z_H—平衡阻抗；CH—叉簧开关；d—极化铃；

F、FJ—手摇发电机和它的辅助触点；C—电容器；R—电阻；X_1、X_2—外引线

与声力电话机一样，为了提高通话质量，增长通话距离，在磁石式和共电式电话机中也使用增音装置。图 8.3.12—10 就是采用增音装置的两种电话机的典型电路原理。其中 GC 型电话机根据配用送、受话器不同分为 GC—1S 型(配用手持式送、受话器 OS—1S 型)和 GC—1T 型(配用头戴式送、受话器 OS—1T 型)两种。

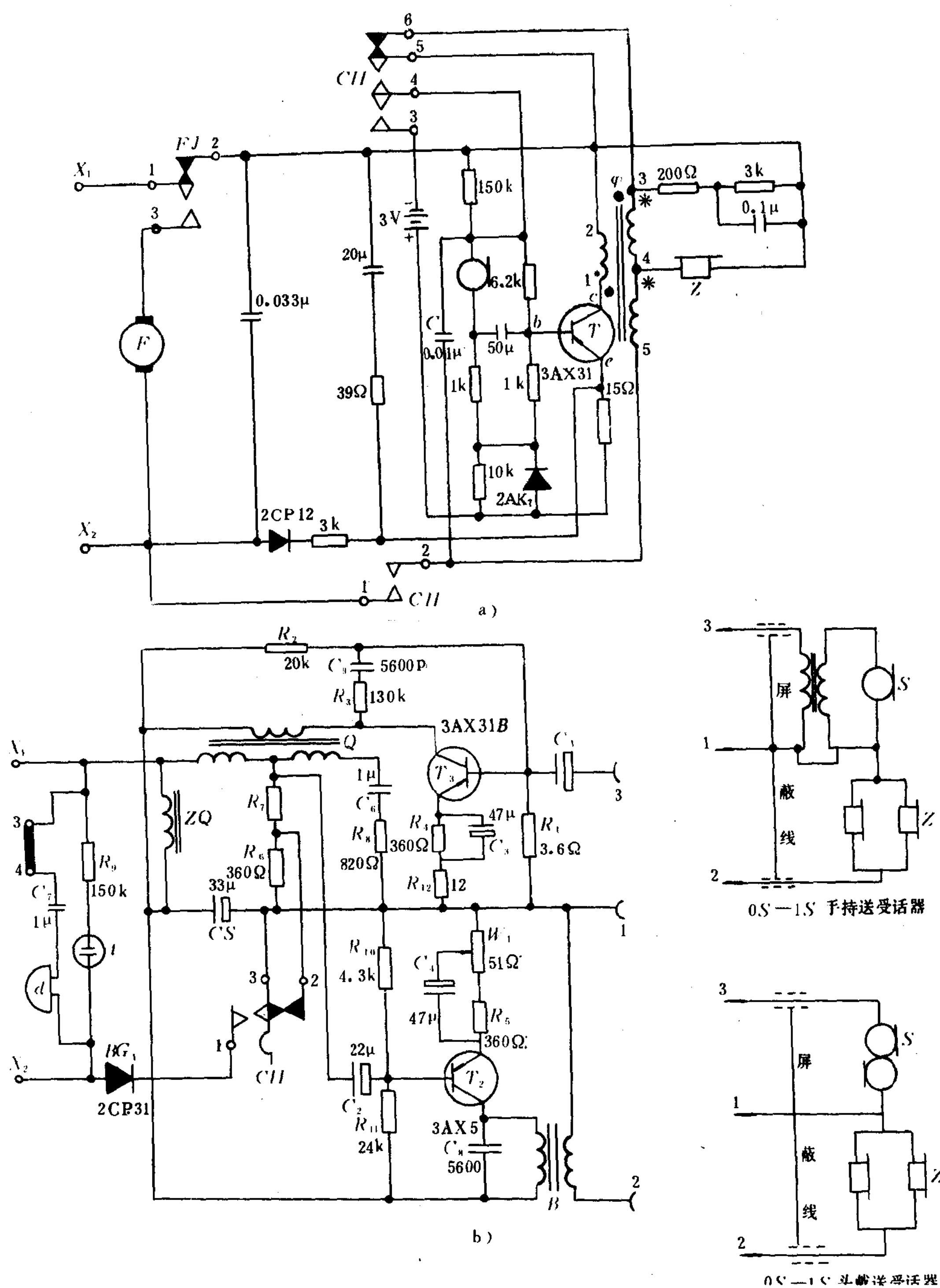


图 8.3.12—10　增音式普通电话机电路原理图

a)HD—269 型磁石式晶体管电话机电路原理图；b)GC 型共电式晶体管电话机电路原理图

2.2.3 自动电话机

自动电话机是在接续(把主、被叫用户的电话机与绳路联接成通话回路的过程)前供主叫用户发出信号,控制交换机进行接续工作;接续后供双方通话用;话毕又能产生信号使系统复原的重要部件。它的结构与普通电话机基本相同,就是多了一个信号发送装置。

1)信号发送装置

信号发送装置最常用的是拨号盘装置。图 8.3.12—11 是拨号盘装置的结构示意图。

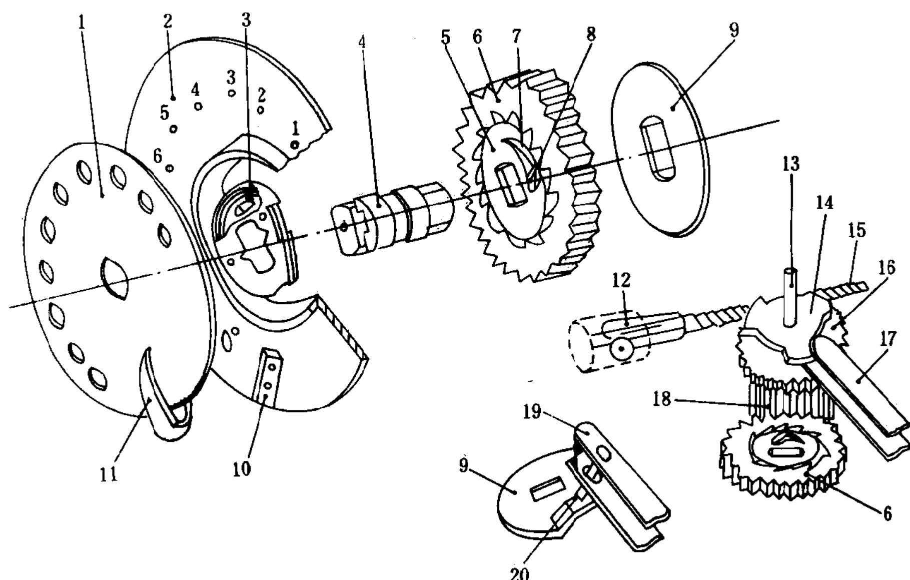


图 8.3.12—11 拨号盘装置结构示意图

1—指孔盘;2—拨号盘;3—复原发条;4—主动轴;5—棘轮装置(包括大齿轮 6,簧片 7,棘爪 8);9—凸盘;10—指挡位置;11—指挡;12—调速装置;13—从动轴;14—脉冲凸盘;15—蜗杆;16—蜗轮;17—脉冲触点(MD);18—小齿轮;19—短路触点(DD);20—顶杆

对拨号盘装置的技术要求:

①复位旋转时速度要均匀,保证产生的脉冲速度为 10±1 次/s。

②脉冲断续比,应符合规定的标准,通常是 1.6:1 左右。

③两组脉冲之间应有适当的时间间隔,一般是 0.2—0.65s。

④结构坚固耐用,拨 10 万次 0 档后,仍能照常使用。

⑤旋转灵活,声音和谐,有防尘措施。

拨号盘装置存在速度慢、对线路要求高、限制特种业务的开展等缺点。目前按键式(键盘式)自动电话机得到广泛应用,图 8.3.12—12 是 CY99 型按键式自动电话机的外型图。

按键发号方式有直流脉冲发号和多频(音频)发号。目前常用的是双音复频。国际电报电话咨询委员会(CCI—TT)已统一了标准的编码方式,如表 8.3.12—2。每一个数字键对应两个频率,分别从高频群(3 种频率)和低频群(4 种频率)中各取一种频率。例如,数字键"5"对应的两个频率是 770Hz 和 1336Hz。

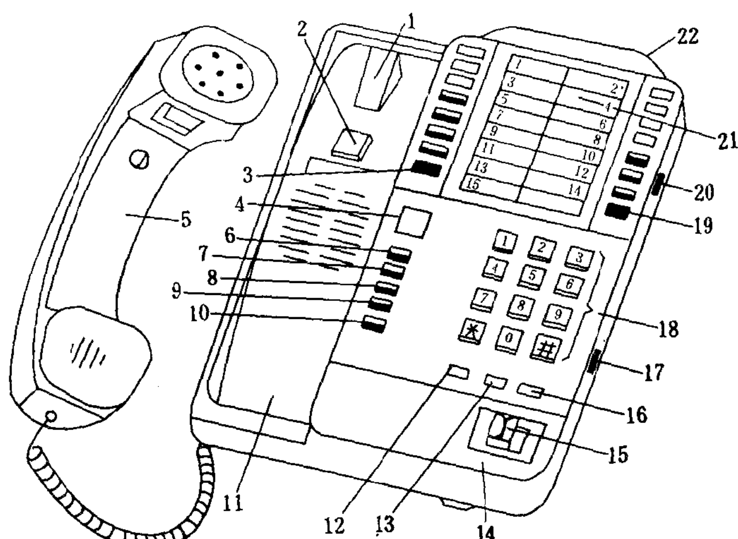


图 8.3.12—12　CY99 型按键式自动电话机的外型图

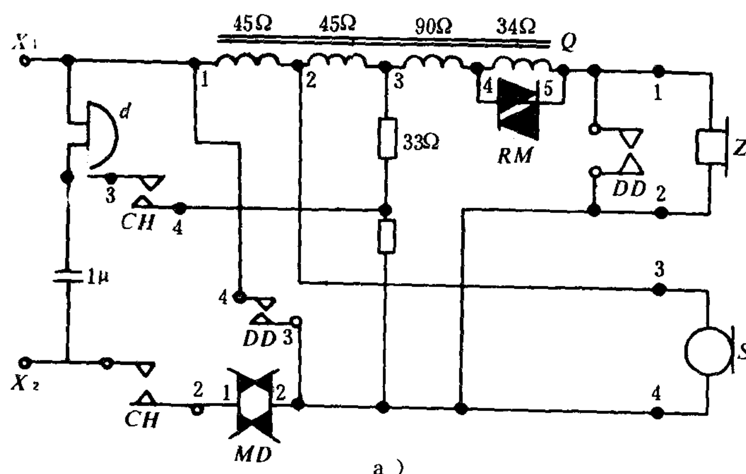
1—挂通/复位开关(叉簧开关);2—手柄钩;3—警报键;4—数字显示器;5—耳机(送、受话器);6—记忆存贮键;7—计时键;8—核对记忆键;9—暂停键;10—"稍等"/"运行"键;11—电池室(在底部);12—静默(保密)键;13—PABX"闪跳"键;14—脉冲拨号/双音频拨号(P/TONE)转换开关(在底部);15—监听放大器开关;16—重拨键;17—放大器的音量选择;18—数字键;19—"低页"地址转换键;20—铃开关;21—记忆地址索引;22—记忆地址键

表 8.3.12—2　**按键编码表**

高频群的频率 / 按键号码 / 低频群的频率	1209 Hz	1336 Hz	1477 Hz
697 Hz	1	2	3
770 Hz	4	5	6
852 Hz	7	8	9
941 Hz	*	0	#

2)自动电话机电路

自动电话机电路原理图如图 8.3.12—13 所示。



a)

图 8.3.12—13

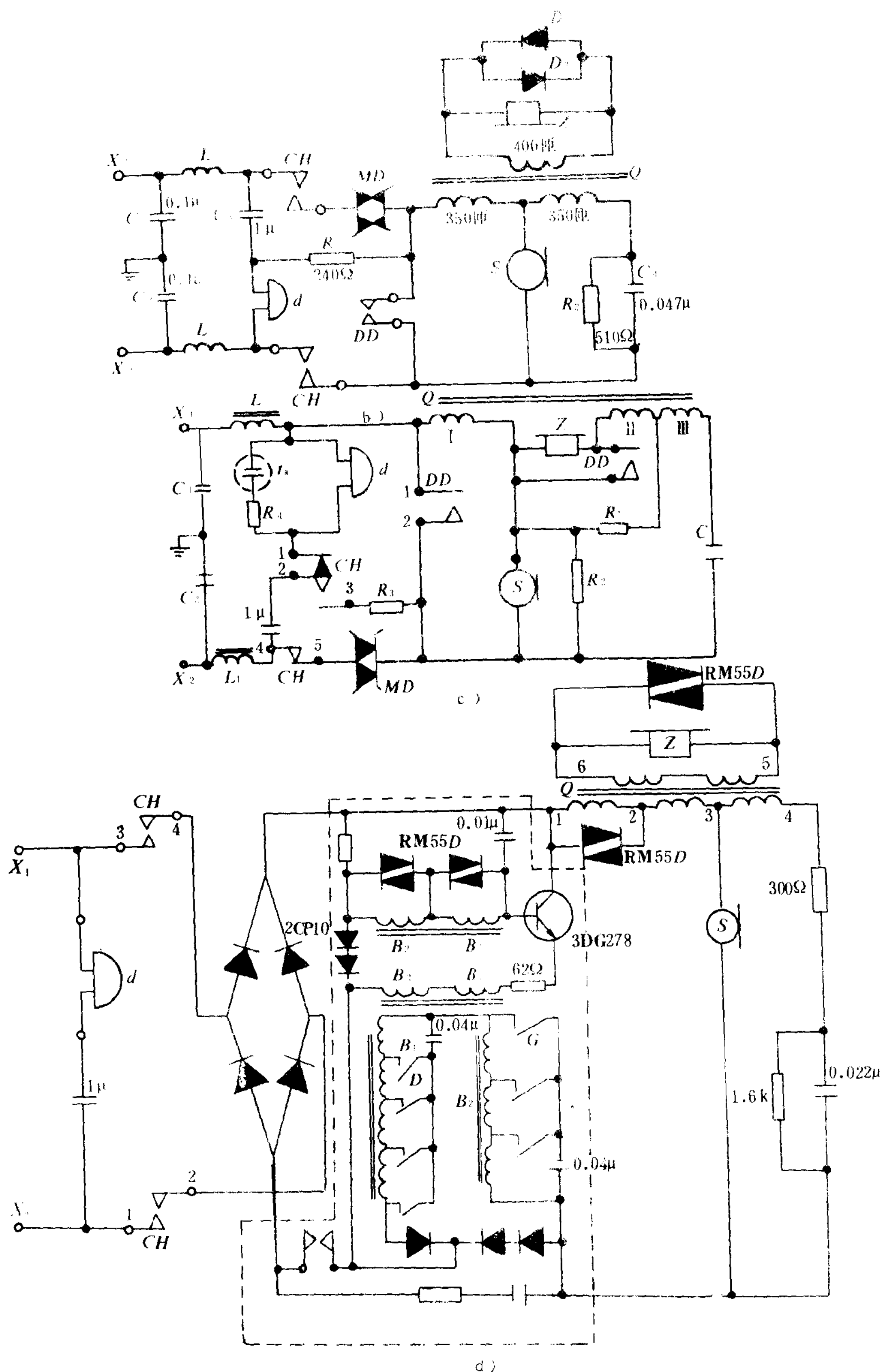


图 8.3.12 13 自动电话机电路原理图

b)ZC 3A 型船用桌式自动电话机电路原理图;c)KATC 10 型自动电话机电路原理图;d)音频按键式电话机电路原理图

MD 断续触点;DD 短路触点;L 电感;C 电容;RM 双向限幅器;D,G 分别为低、高频触点组;K 公共转换触点

2.3 船用对讲机电话系统

对讲机电话系统是用两台声力电话机直接固定联接而成的，故又称为直通电话。它具有可靠、快速接通话路、保密性高等特点，所以在船上多用在驾驶台与机舱等重要部位之间传达命令，指挥航行。图 8.3.12—14 是用两个图 8.3.12—2 声力电话机对接，和用两个图8.3.12—3 的 VSZ3 系列增音式声力电话机对接而成的对讲机电话系统。

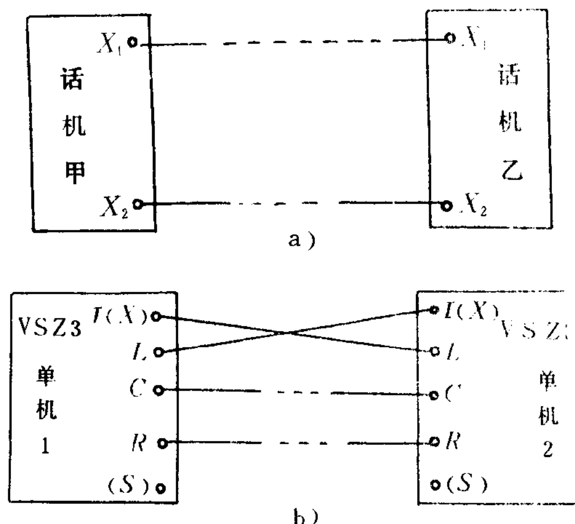


图 8.3.12—14 对讲机电话系统联线框图

a)两台声力电话机对接成对讲机系统；b)两台 VSZ3 系列单机联接成的对讲机电话系统

2.4 船用指挥电话系统

对讲机电话仅限于两台电话机之间通话。而指挥电话系统保持了对讲机的直通、简单、可靠等特点，又能做到一地发出命令，多地同时接收，以协调各舱室工作的目的。指挥电话分为指挥总机电话和单个交换总机电话两种。

2.4.1 指挥总机电话系统

指挥总机电话系统是由一台(或 2—3 台)总机与若干台单机(或称为分机)组成。在系统中可实现总机与单个分机；总机与部分(或全部)单机；单机与单机(要通过总机)；总机与总机等多种的通话方式。

2.4.1.1 声力式指挥总机电话系统

图 8.3.12—15 是由 1 台总机、3 台分机组成的指挥总机电话系统，分机的电路见图 8.3.12—2，在图 8.3.12—15b)中用虚线框表示。

系统有如下工作状态：

1)单机向总机呼叫(以分机 1 为例)

单机向总机呼叫的呼叫电路见图 8.3.12—16。

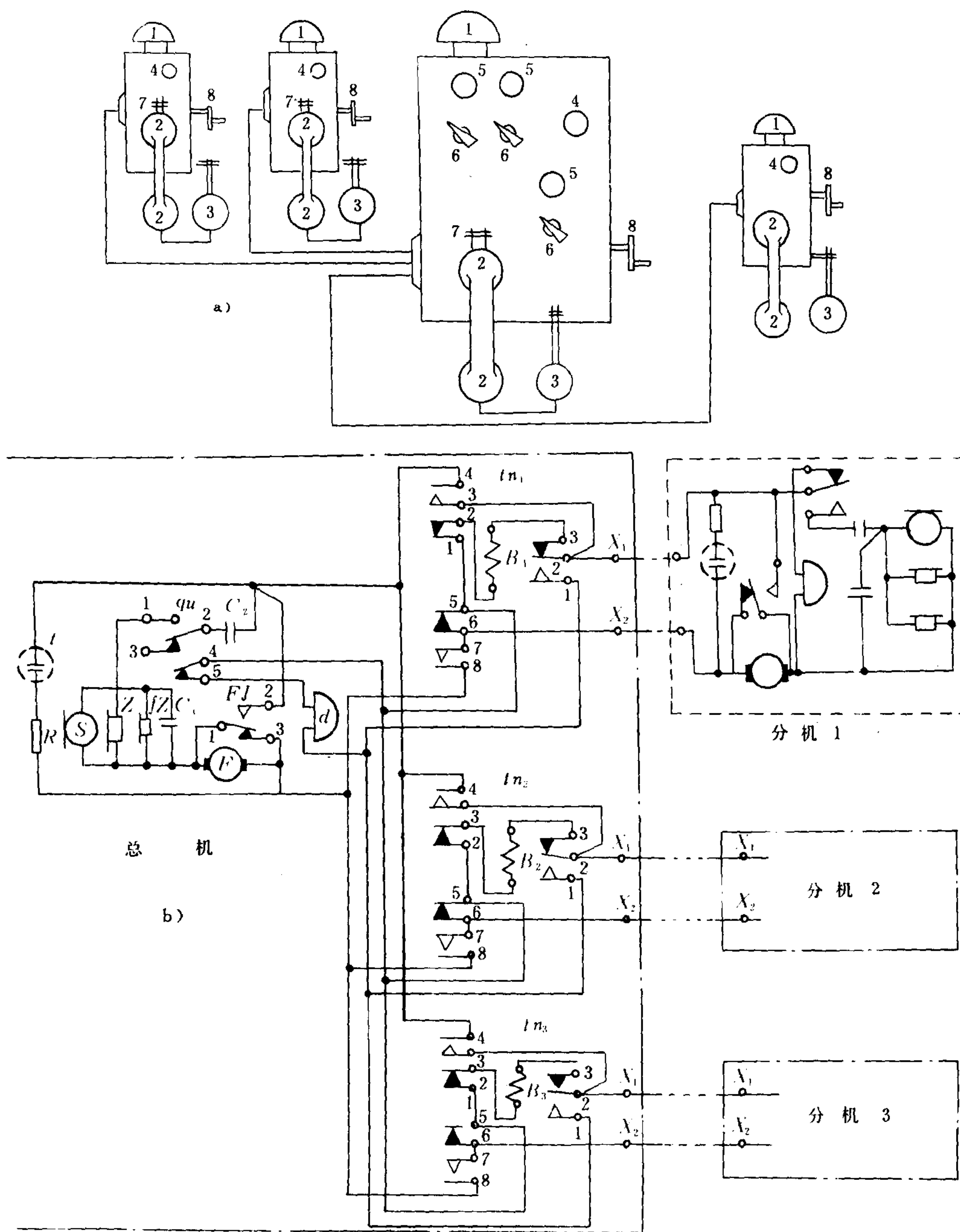


图 8.3.12—15 声力式指挥总机电话系统

a)总机与分机之间的联接图;b)系统的电路原理图

1(d)—碗铃;2(s,z)—耳机;3(fZ)—副听筒;4(t)—工作指示灯(氖灯);5(B_{1-3})吊牌指示器;6(tn_{1-3})—分机电键;7(qu)—杠杆(叉簧)开关;8—手摇发电机

总机应答后的电路状态见图 8.3.12－17。

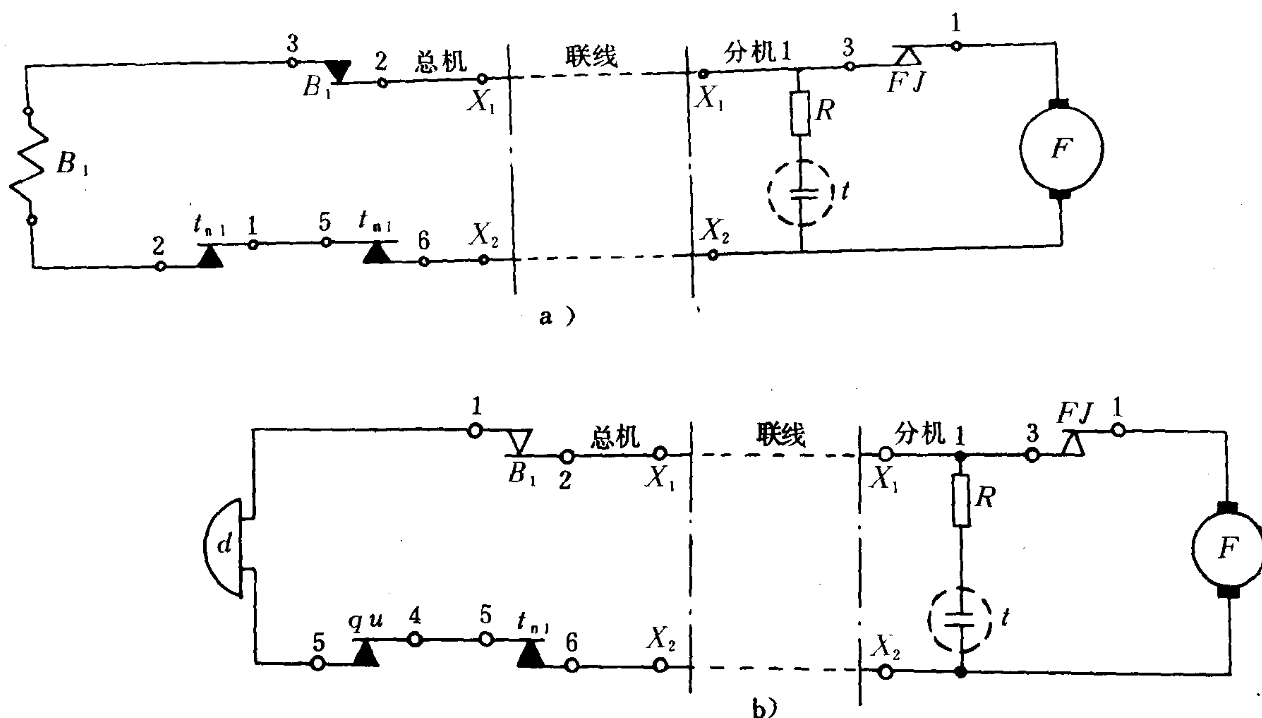


图 8.3.12—16　分机 1 向总机呼叫电路

a)吊牌 B_1 线圈通电回路；b)总机中振铃 d 通电电路

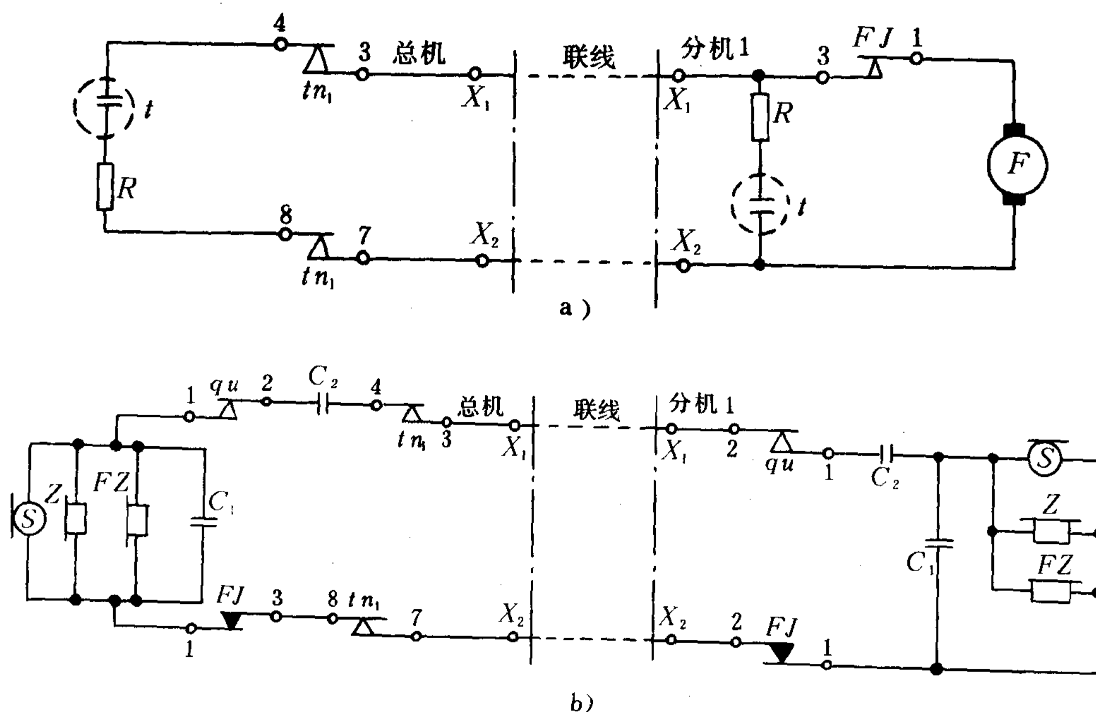


图 8.3.12　17　总机应答后的电路

a)总机中氖灯 t 的供电电路；b)双方摘机后形成的通话电路

2)总机为主叫与单机通话(以分机 1 为例)

总机向单机呼叫电路见图 8.3.12—18。

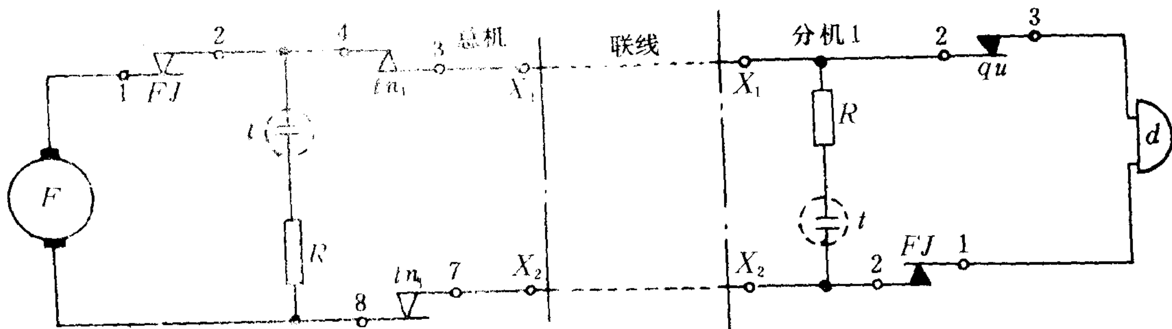


图 8.3.12—18 总机向分机 1 呼叫电路

双方摘机后的通话电路与图 8.3.12—17b)相同。

3)单机与单机通话(以分机 1 与 2 为例)

此种通话由总机转接，呼叫时，主叫单机先向总机呼叫，再由总机呼叫被叫单机，电路与图 8.3.12—16 和图 8.3.12—18 相同。双方摘机后形成的通话电路见图 8.3.12—19。

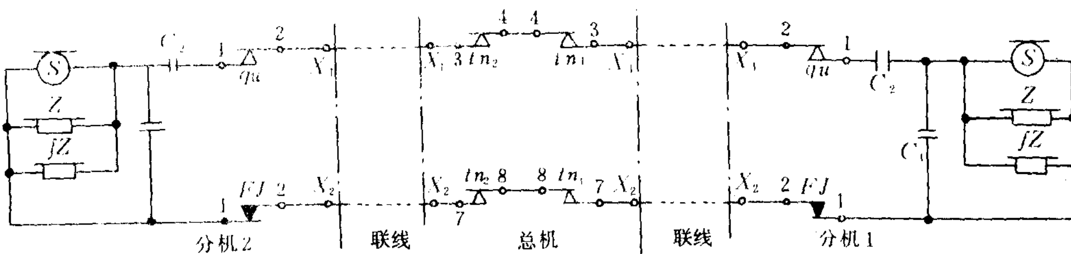


图 8.3.12—19 单机与单机的通话回路

4)总机与全部(或部分)单机同时发话

在传达命令时需要用这种工作状态，呼叫时，总机应把需通话的分机电键都扳到工作位置。其呼叫电路、通话电路与图 8.3.12—18 和图 8.3.12—17b)相同。

2.4.1.2 VSZ3 系列增音式指挥总机电话系统

这种指挥总机电话系统的总机和分机分别用 VSZ3 系列的总机和单机组成。电话机电路见图 8.3.12—3。总机与单机之间的联线见图 8.3.12—20，这个系统是 4 门容量，通常把总机安装在驾驶室，4 台分机分别安装在船首、船尾、主机舱和舵机房。

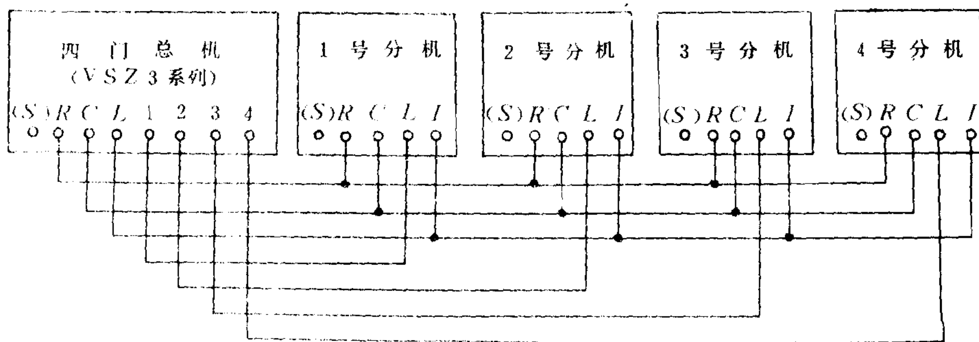
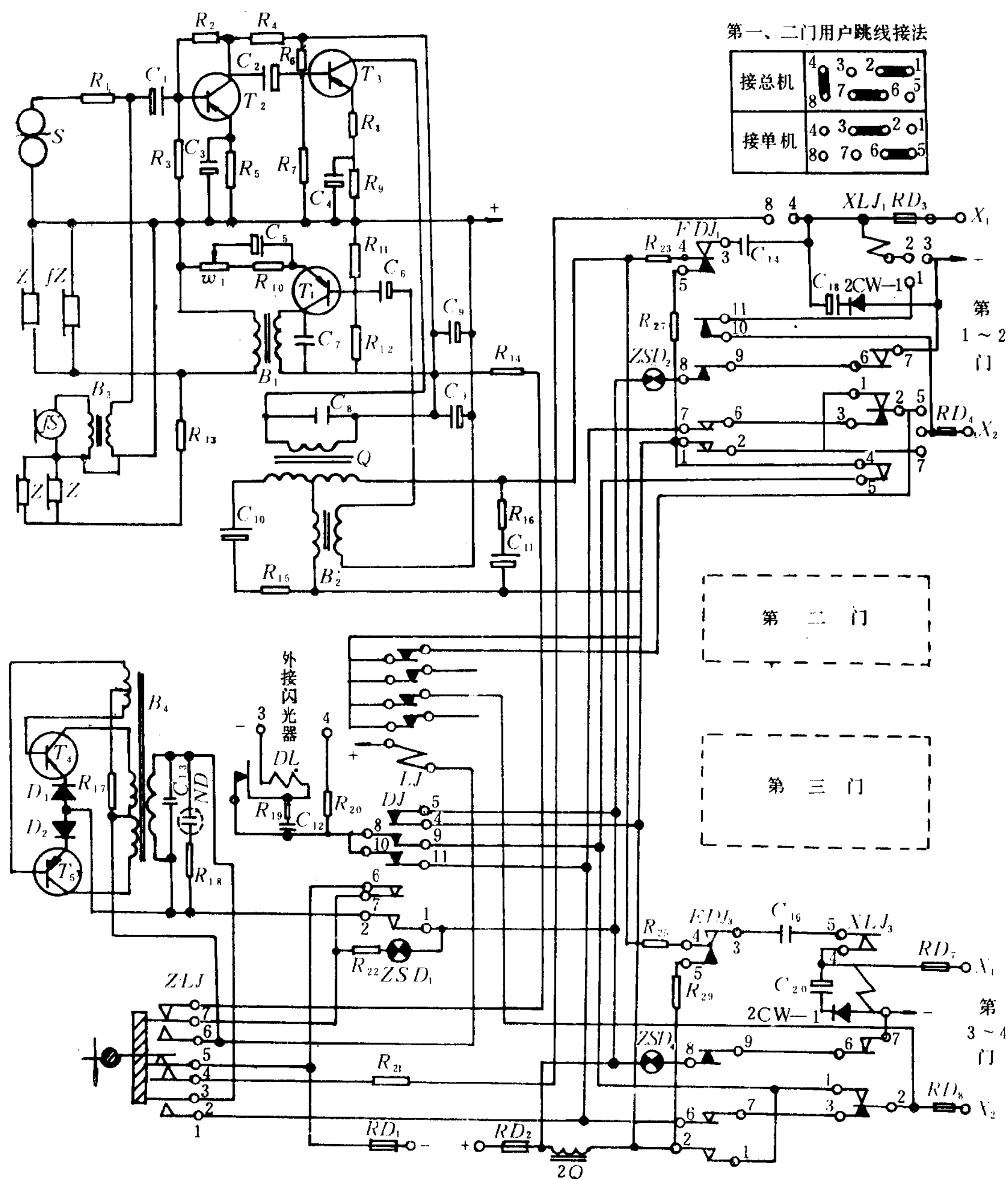


图 8.3.12—20 VSZ3 系列电话机接成的指挥总机电话系统



接总机	4 3 2 1 / 8 7 6 5
接单机	4 3 2 1 / 8 7 6 5

图 8.3.12　21　4ZFC　1 型共电式指挥电话系统

DJ　总电键；ZLJ　呼唤电键；LJ　转换继电器；DL　直流电铃；ZQ　电感；FDJ1-4　用户电键；XLJ1-4用户继电器

2.4.1.3 ZFC—1 系列共电式指挥电话系统

此电话设备属于双线制人工电话，供电电源为直流 24V 蓄电池。ZFC—1 电话总机按容量不同分为 4 门（4ZFC—1）、8 门（8ZFC—1）、12 门（12ZFC—1）三种。其中 4ZFC—1 总机可与 4 部单机联接，或是同 2 部单机 2 部总机联接；8ZFC—1 总机可与 8 部单机联接，或是同 2 部总机 6 部单机联接；12ZFC—1 可与 12 部单机联接，或是 3 部总机 9 部单机联接。用总机作分机时，前两种只能接在第一、二用户上，后一种只能接在第一、二、三用户上。单机是用图 8.3.12—10b）所示的 GC 型电话机。指挥总机与分机的通话方式有单独与某一分机（单机或总机）进行对讲通话，或与全部（或预先选择好的部分）分机同时通话（即指挥形式），或为两个分机之间通话进行转接等。总机向单机呼叫是用总机电路内的专设的 50Hz75V 的铃流发生器产生的交流铃流信号，而总机本身的振铃是用直流电铃。通话电源是 24V 直流。图 8.3.12—21 是 4ZFC—1 型电话总机电路原理图。其中晶体管 T_1、T_2、T_3 组成送、受话的增音式装置（放大器），这部分电路与图 8.3.12—10b）的 GC 型电话机基本相同。T_4、T_5 两管与变压器 B_4 形成 50Hz75V 的铃流发生器，供总机向各单机呼叫时用。用户继电器 $XLJ_{1\sim4}$ 和用户电键 $FDJ_{1\sim4}$ 组成的接向用户电路；第 1，2 门的结构一样，有三组跳接线（1，2，3；5，6，7；和 4，8）供接总机或接单机的选择用（见图 8.3.12—21 中表）；第 3，4 门组成相同，只能接单机。呼唤电键 ZLJ 是总机向单机呼叫时使用。使用时先把总电键 DJ，和要通话的用户电键 FDJ_1（以第一用户为例）扳在接通位置，再按 ZLJ 使铃流发生器送出铃流信号。

系统工作过程如下：

1）单机向总机呼叫时形成电路见图 8.3.12—22。

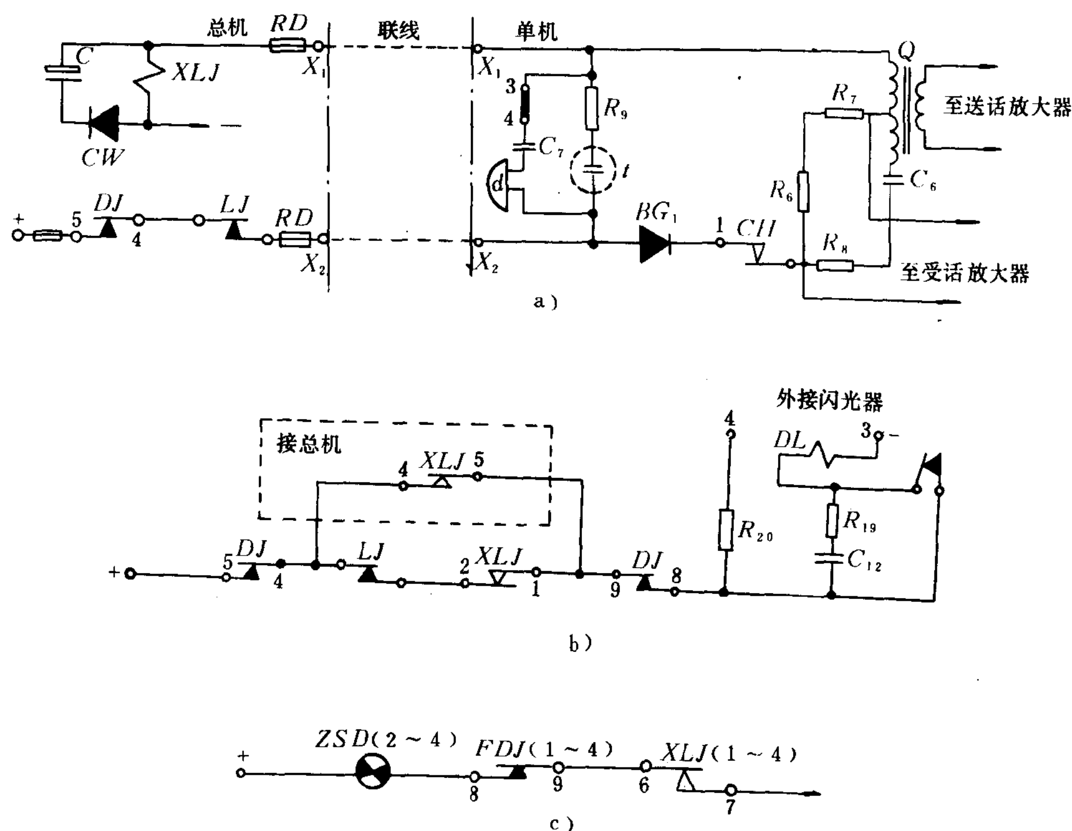


图 8.3.12—22 单机向总机呼叫电路

a）用户继电器 XLJ 供电回路；b）总机电铃 DL 供电电路；c）用户指示灯 ZSD 供电电路

2)单机与总机通话电路见图 8.3.12—23。

a)

b)

图 8.3.12—23 单机与总机通话电路

a)通话时,单机的直流供电电路;b)单机与总机的通话电路

3)总机向单机呼叫时的振铃电路见图 8.3.12—24,通话电路与图 8.3.12—23 相同。

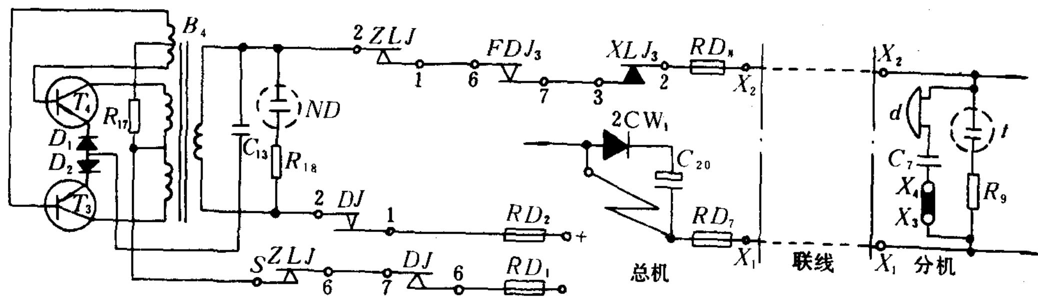


图 8.3.12—24 总机向单机呼叫时的振铃电路

4)总机向总机呼叫时形成的电路见图 8.3.12—25。其中振铃 DL 和指示灯 ZSD 供电电路

与图 8.3.12—22b)、c)相同。

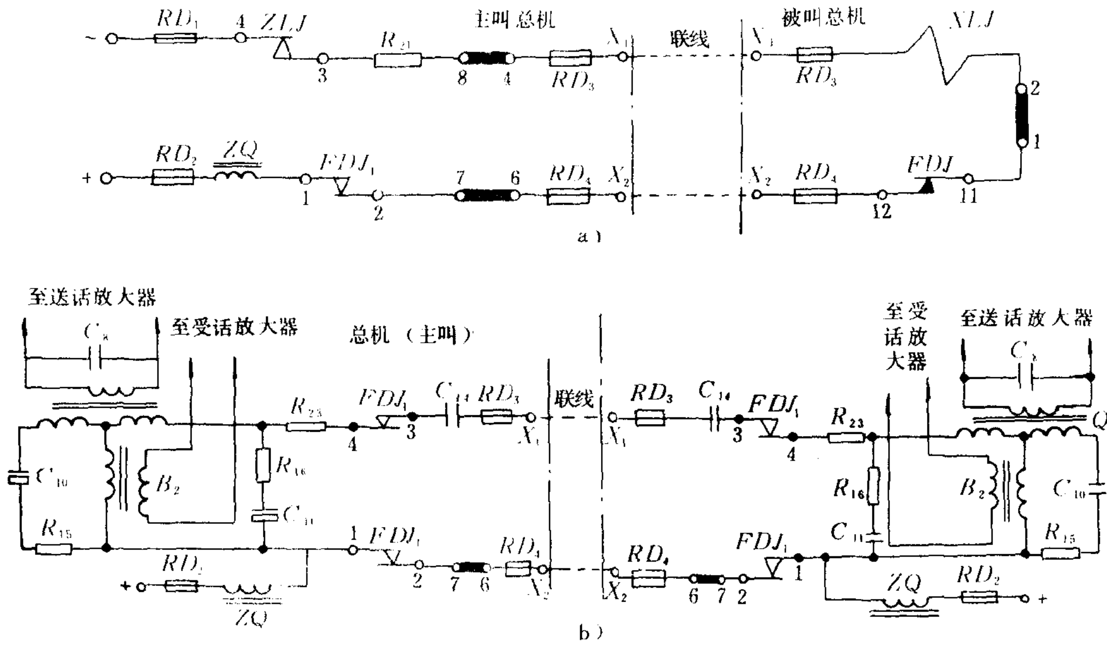


图 8.3.12—25 总机向总机呼叫形成的电路

a)用户继电器 XLJ 供电电路；b)总机与总机通话电路

5)单机与单机之间通话电路(以用户 3、4 之间通话为例)见图 8.3.12—26。此工况的呼叫电路与图 8.3.12—22，8.3.12—24 相同。

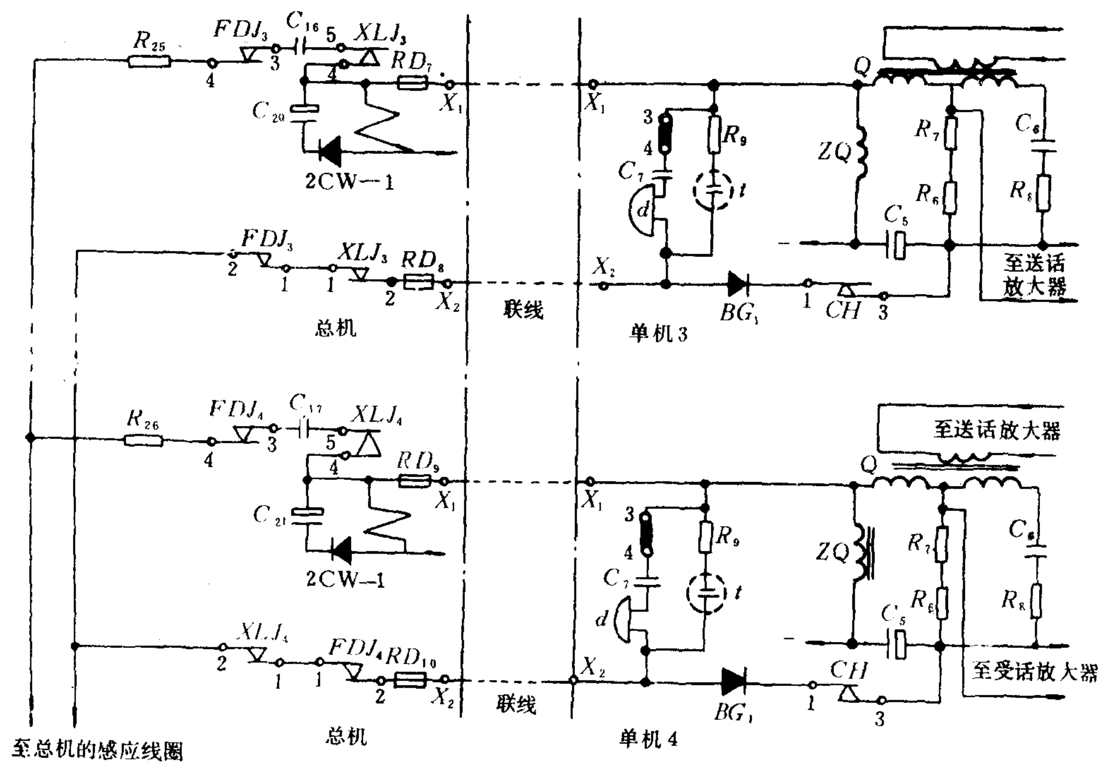


图 8.3.12—26 单机与单机之间通话电路

6)复原不一致时告警电路见图 8.3.12—27。

2.4.2 单个交换总机电话系统

为了克服指挥总机电话系统中单机之间通话需要总机转接的缺点，有些船舶中使用单个交换总机系统。图 8.3.12—28 是 8 门单个交换总机电话系统外接线图和接线盒展开图。

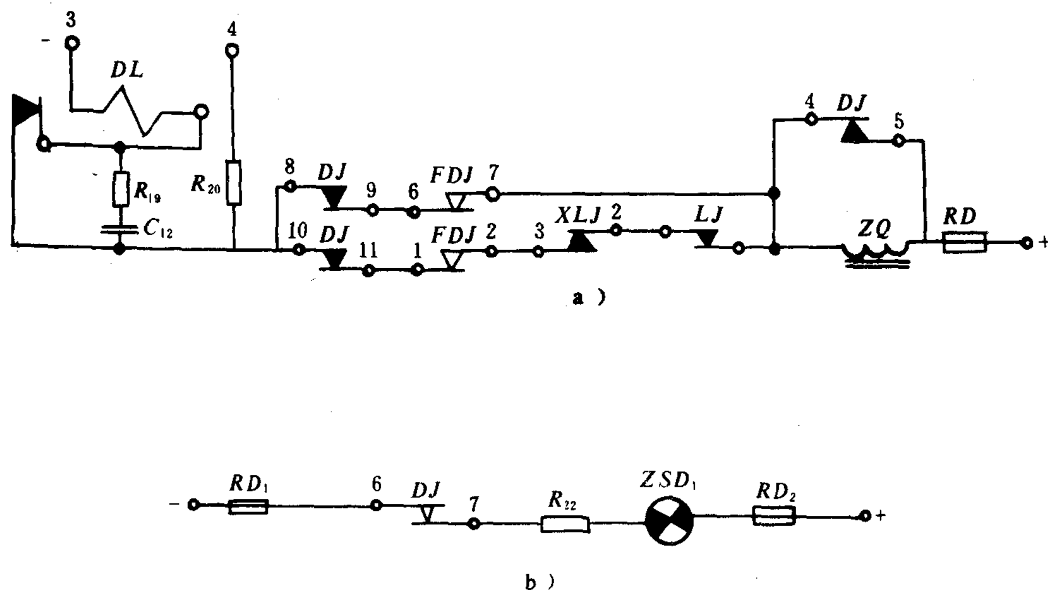


图 8.3.12—27 总机中复原不一致时告警电路

a)总电键 DJ 复原，用户电键 FDJ 未复原时告警电路；b)总电键 DJ 未复原，用户电键已复原时的告警电路

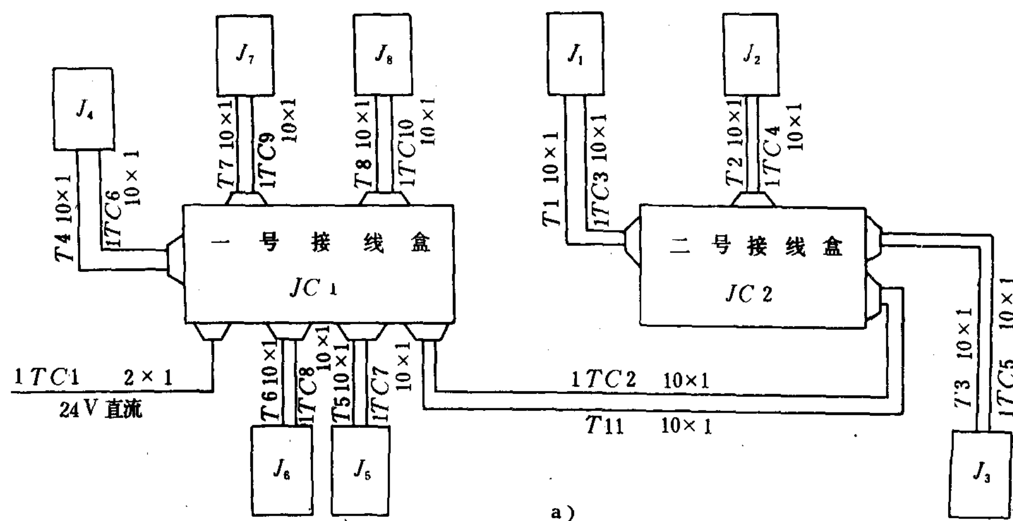
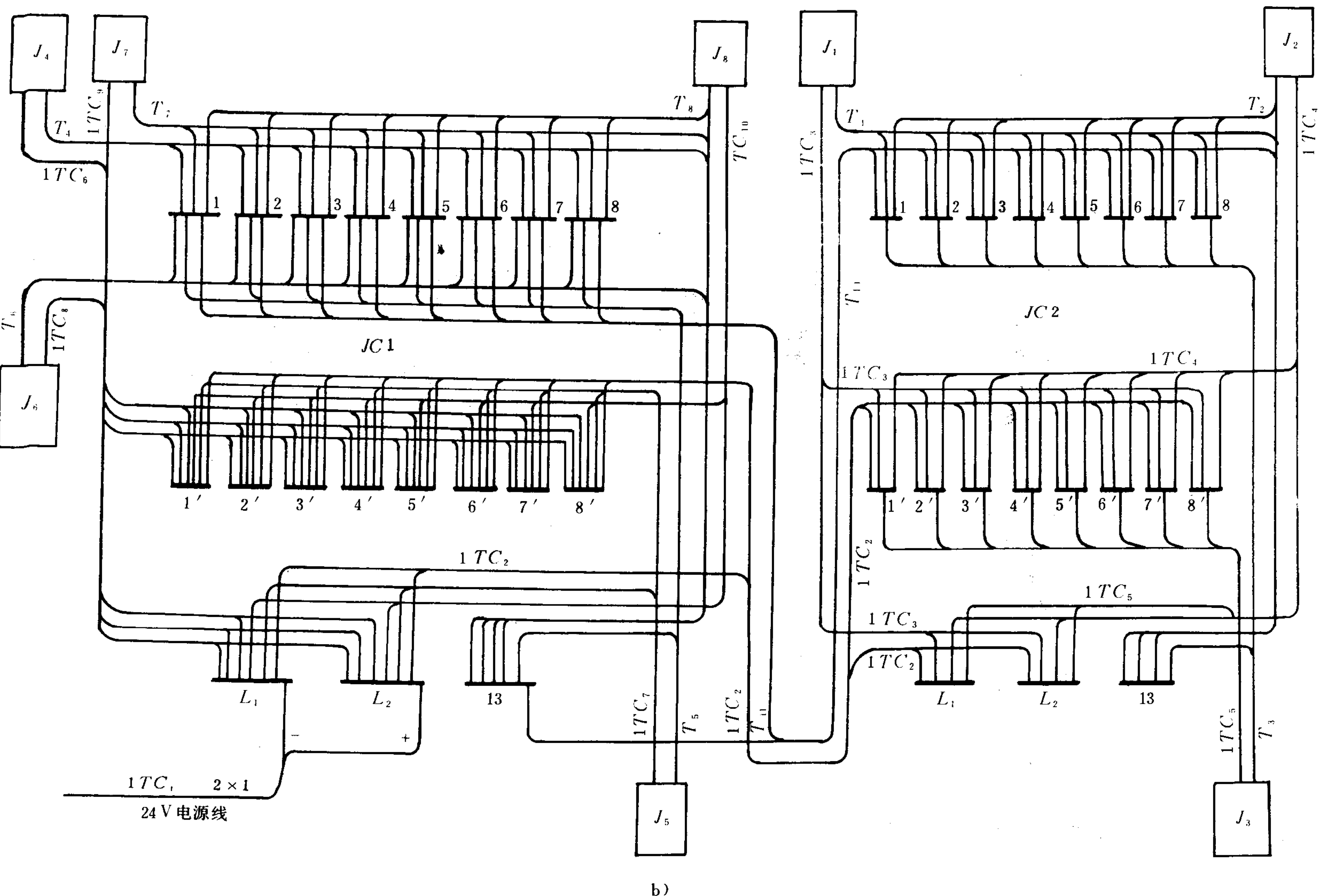


图 8.3.12—28 a)



b）

图 8.3.12—28　8门单个交换总机电话系统联接图

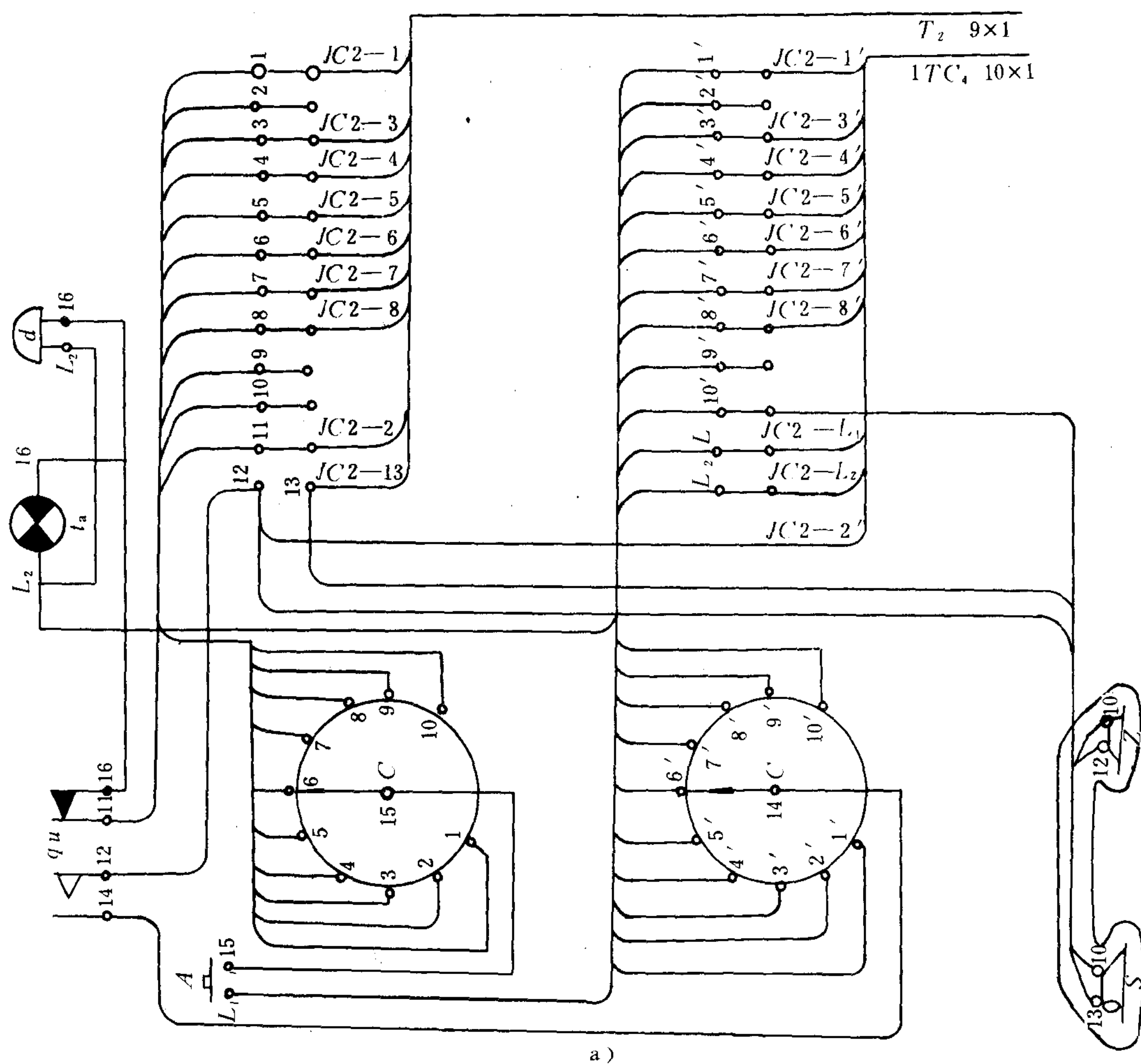
a)单个交换总机与接线盒之间的联接图；b)接线盒 JC1、JC2 展开图 J_{1-8}—8 个单个交换总机；JC1—2—接线盒；1TC1—10(和 T1—8，T11)—10 芯电缆线；1—8，1′—8′，L_{1-2}，13—为接线盒内部接线端子

图 8.3.12—29 为单个交换总机内部接线图和两个单个交换总机之间联接原理图。

本系统的 8 门单个交换总机 J_1—J_8，在船上分别安装在锅炉舱、主机舱，舵机舱，轮机长室，政委室，驾驶室，船长室和报务员室。

从图 8.3.12—29 看出，单个交换总机内部接线的特点是，从外部引进的与本话机同号（2 号）的线（JC2—2，JC2—2′），不是接在本话机选择开关 C 的自己的档位上（2 和 2′），而是通过接线柱 12，13 分别与本话机的叉簧开关 qu 的触点和话筒 s 的一端相接。

根据图 8.3.12—29，以主机舱（J_2）给驾驶室（J_6）打电话为例的振铃通话电路见图 8.3.12—30。此时主机舱 J_2 必须把选择开关 C 扳到第 6 档，再按下按钮 A，形成 24V 直流对 J_6 的呼叫电路。振铃后，双方摘机即可形成通话电路。为了增强发话时的音量，减少侧音，发话方可以把选择开关扳到第 10′档（图中虚线箭头所示），短接己方的听筒 Z 和 qu 的触点，减少通话回路电阻。



a）

图 8.3.12—29

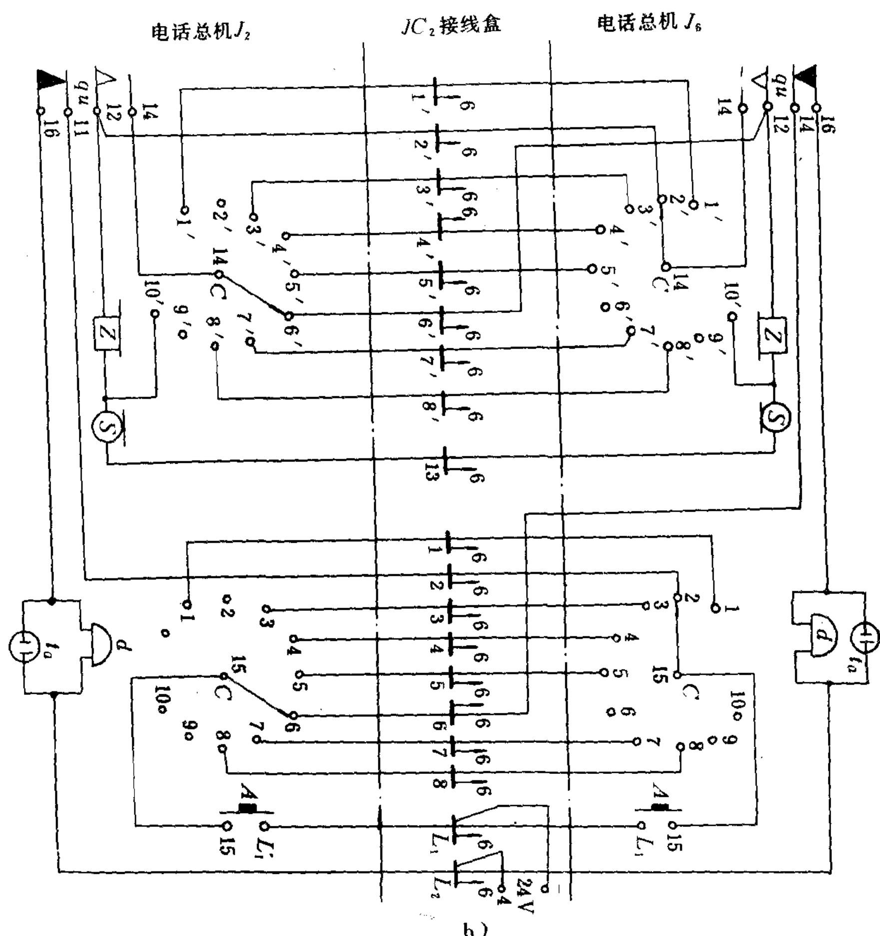


图 8.3.12—29　单个交换总机内部接线图和两话机之间联接图

a)单个交换总机内部接线圈(以 J_2 为例);b)J_2 与 J_6 两个单个交换总机之间的联线原理图

c—选择开关;A—呼叫按钮;qu—杠杆开关;(Z,S)—耳机;d—振铃;ta—氖灯

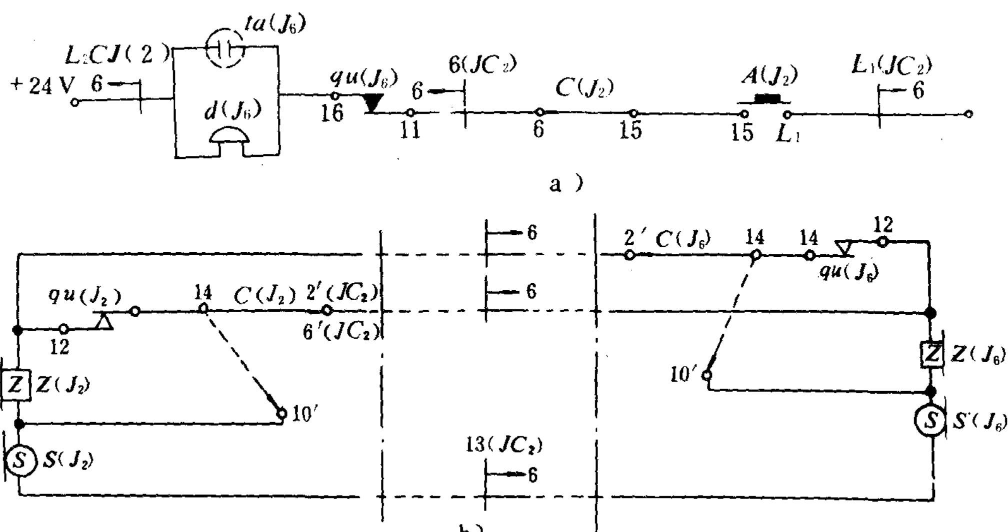


图 8.3.12—30　J_2 给 J_6 打电话时振铃电路和通话电路

a)J_2 对 J_6 的振铃电路;b)J_2 与 J_6 之间的通话电路

单个交换总机系统还可用 VSZ3 型增音式声力电话机组成，见图 8.3.12—31 所示的联接

图。

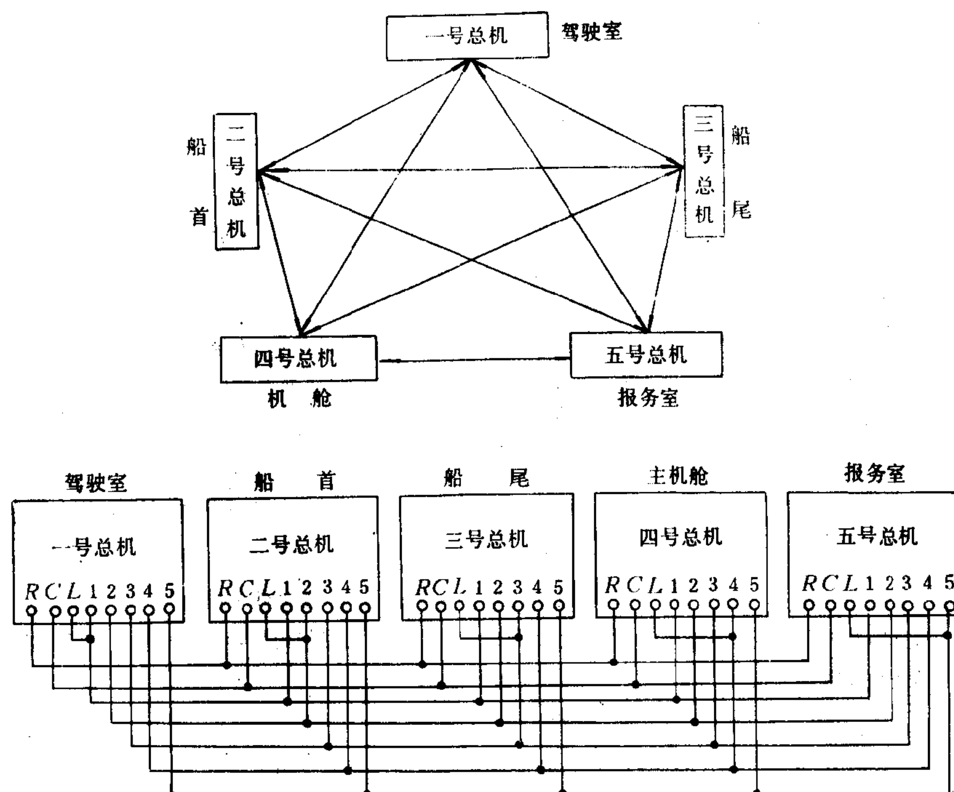


图 8.3.12—31 VSZ3 型电话机组成的单个交换 总机电话系统

2.5 船用自动电话系统

2.5.1 概述

自动电话系统是由一台无须话务员值班的交换机和若干台自动电话机构成。自动电话交换机要代替话务员工作,应有如下功能:

1)查询主叫用户的话机,送拨号音,询问被叫用户号码。

2)测忙:主叫用户拨完号码之后,交换机立即检查被叫话机是否空闲。若忙,要向主叫送忙音,若闲进行接续。

3)被叫话机闲时,交换机应把主、被叫话机联接到空闲绳路上,同时要向被叫用户送振铃声,向主叫用户送回铃声。

4)形成通话回路:双方摘机之后就形成通话回路。同时要向控制设备示忙,保证通话正常进行,并让控制设备能为其它用户服务。

5)复原:双方挂机后,系统应能拆除话机与绳路之间的联接。若挂机不一致,应给未挂机方送忙音,促其挂机。

2.5.2 自动电话的发展与种类

自动电话交换机按组成的元器件分为机电式和电子式两大类。机电式自动交换机是由电磁机构组成,根据控制方式又分为直接控制的步进制自动交换机;间接控制的旋转制自动电话

交换机和纵横制式自动电话交换机三种。电子式自动电话交换机是由电子元件组成，根据电子化程度和接续设备所用机件不同，又分为半电子式，准电子式和全电子式自动电话交换机。各类自动电话交换机的发展与特点见表 8.3.12—3。

表 8.3.12—3　　自动电话交换机的发展与特点

类别		发展概况	性能特点
机电式自动电话交换机	步进制	18 世纪美国史端乔发明、19 世纪德国西门子改进为西门子式	设备简单、初投资少。但接续速度慢易磨损、寿命短、维护量大、杂音大、不适于长途电话机
	旋转制	19 世纪初美国发明，19 世纪 20 年代传到欧洲，19 世纪 50 年代西德改进为马达旋转型交换机	比步进制接续快、杂音小、寿命长、成本不高、适应长途电话交换机的要求
	纵横制	20 世纪初美国，瑞典发明，20 年代瑞典首先使用，30 年代美国开始发展 50 年代已达成熟	接触可靠、杂音小、通话质量好、寿命长、故障少、维护量少。属于间接控制，灵活性高、接续快、业务范围广、便于长途电话交换机使用。但贵金属使用多，成本高
电子式自动电话交换机	半电子式	20 世纪 60 年代之后，随着电子技术的迅速发展而发展	控制部分实现电子化。但接续机件仍采用纵横接线器的电磁元件
	准电子式		控制部分实现电子化。接续机件采用笛簧管或铁簧管。能与当前广泛使用的空分制通信网络相衔接，是近期电子化交换技术发展最有前途的一种
	全电子式		控制部分和接续部分全部采用电子元件。由于不能与空分制通信网络相衔接，功率又小，目前未获得广泛使用

2.5.3　船用步进制自动电话系统

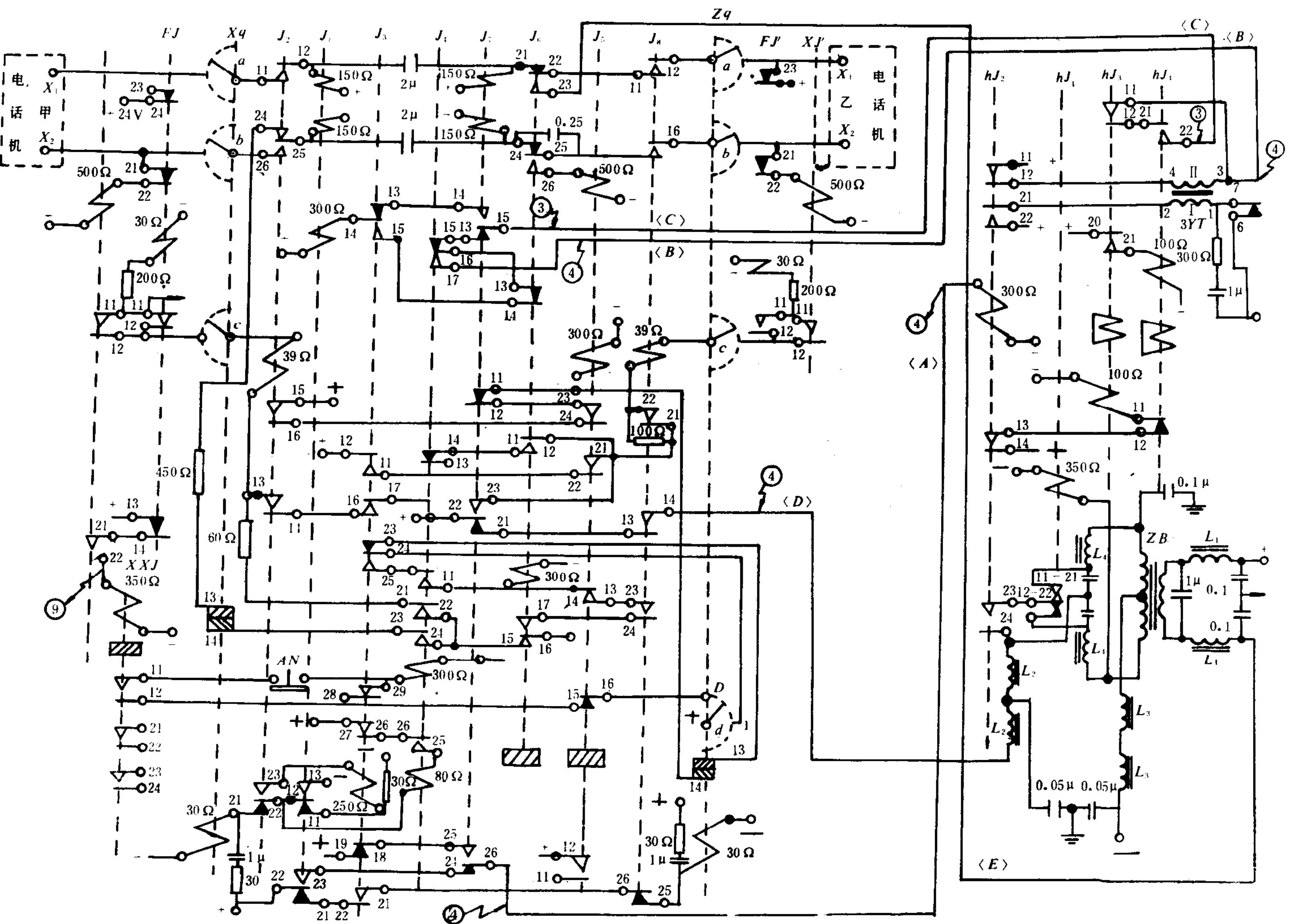
本电话系统有一台交换机（又称总机）10 门分机，4 对绳路。其中一门分机和一对绳路为特殊的，供船长使用，只要特殊话机通过特殊绳路与任意一台话机通话时，普通话机都得为它让路。普通电话机是采用 KATC—10 型自动电话机（见图 8.3.12—13c））。交换机普通绳路的电路原理图和展开图见图 8.3.12—32。图中各符号说明列于表 8.3.12—4。

表 8.3.12—4　　KATC—10 型自动电话交换机符号说明

符号	名　称	所属部位	触点数 常开/常闭	说　明
XJ	线路继电器	电话机	2/0	共 9 个，每个普通话机 1 个
FJ	分隔继电器	电话机	1/3	共 9 个，每个普通话机 1 个
Xq	寻线器	普通绳路	一个断续接点 Xq(13—14)	共 3 个，每对普通绳路 1 个，属于步进制选择器，有 3 对触排(a,b,c)，每排有 10 位，对应 10 台话机，作为寻找主叫话机的作用
Zq	终接器	普通绳路	同 Xq	与 Xq 相似，但有 4 对触排(a,b,c,d)，在系统中受拨号脉冲控制，把被叫话机接到所选绳路上
XXJ	组线路继电器	交换机	3/0	只有 1 个，9 个普通话机共用，所以在其线圈一端有 9 根引出线。图中标有⑨

续上表

符号	名　称	所属部位	触点数 常开/常闭	说　明
J_1	主叫继电器 或 脉冲继电器	普通绳路	2/2	共3个，每对绳路1个，本继电器有3个线圈，其作用有：主叫摘机时，与寻线器Xq配合，把主叫话机与空闲的绳路联接（寻主叫）；通过300Ω和两个150Ω线圈的变送把拨号音传给主叫话机；主叫话机拨号后，控制终接器Zq把被叫话机与所选绳路联接
J_2	主叫继电器	普通绳路	5/2	共3个，每对绳路1个，测试主叫是否接通空闲绳路，若接通了停止寻线器Xq工作，记住了主叫话机
J_3	中间继电器	普通绳路	7/3	共3个，每对绳路1个，有延时释放作用，是系统接完主叫，准备接被叫的中间转换继电器
J_4	中间继电器	普通绳路	5/2	共3个，每对绳路1个，有两个线圈，也有延时释放，是绳路的示忙继电器
J_5	中间继电器	普通绳路	3/2	共3个，每对绳路1个，也有两个线圈，是延时动作，其作用是呼叫到通话的转换
J_6	中间继电器	普通绳路	4/4	共3个，每对绳路1个，是延时释放，形成测试被叫终接器电路和送振铃信号电路
J_7	被叫继电器	普通绳路	3/4	共3个，每对绳路1个，有两个线圈，其电路即为通话电路的被叫端一侧，是切断信号装置的供电电路
J_8	被叫继电器	普通绳路	5/1	共3个，每对绳路1个，是测试被叫接续情况，同时形成忙线封锁电路
AN	绳路按钮	普通绳路	0/1	是手动示忙控制，通过控制监测继电器J_4来实现的
hJ_1	振子继电器	信号装置	1/1	线圈与自己的常闭触点串联，形成产生铃流信号的振荡电路
hJ_2	起动继电器	信号装置	4/0	信号装置的起动继电器
hJ_3	时间继电器	信号装置	2/0	都是断电延时，两继电器接成联锁振荡电路，控制蜂鸣变压器3YT工作，形成忙音信号
hJ_4	时间继电器	信号装置	1/1	
3yT	蜂鸣变压器	信号装置	0/1	原边绕组与自己的常闭触点串联，形成产生400—600Hz的拨号音电路
ZB	振子变压器	信号装置		把hJ_1产生的40—50Hz铃流信号送出去
〈A〉	呼叫信号装置起动线			共4根，每对绳路（包括特殊绳路）1根
〈B〉	拨号音传递线			共4根，每对绳路（包括特殊绳路）1根
〈C〉	忙音传递线			共3根，每对绳路1根
〈D〉	铃流传递线			共4根，每对绳路（包括特殊绳路）1根
〈E〉	振子起动线			共4根，每对绳路（包括特殊绳路）1根



电话甲机
X_1
X_2
电话乙机
乙
FJ
Xq
Zq
FJ'
XJ'
J_1
J_2
J_3
J_4
J_5
J_6
hJ_1
hJ_2
hJ_3
XXJ
AN
ZB
$3YT$
L_1
L_2
L_3
L_4
〈A〉
〈B〉
〈C〉
〈D〉
〈E〉
24V
500Ω
30Ω
200Ω
150Ω
2μ
0.25
300Ω
39Ω
450Ω
60Ω
350Ω
100Ω
80Ω
250Ω
1μ
0.1μ
0.05μ
0.1

图 8.3.1…

…电路原理图

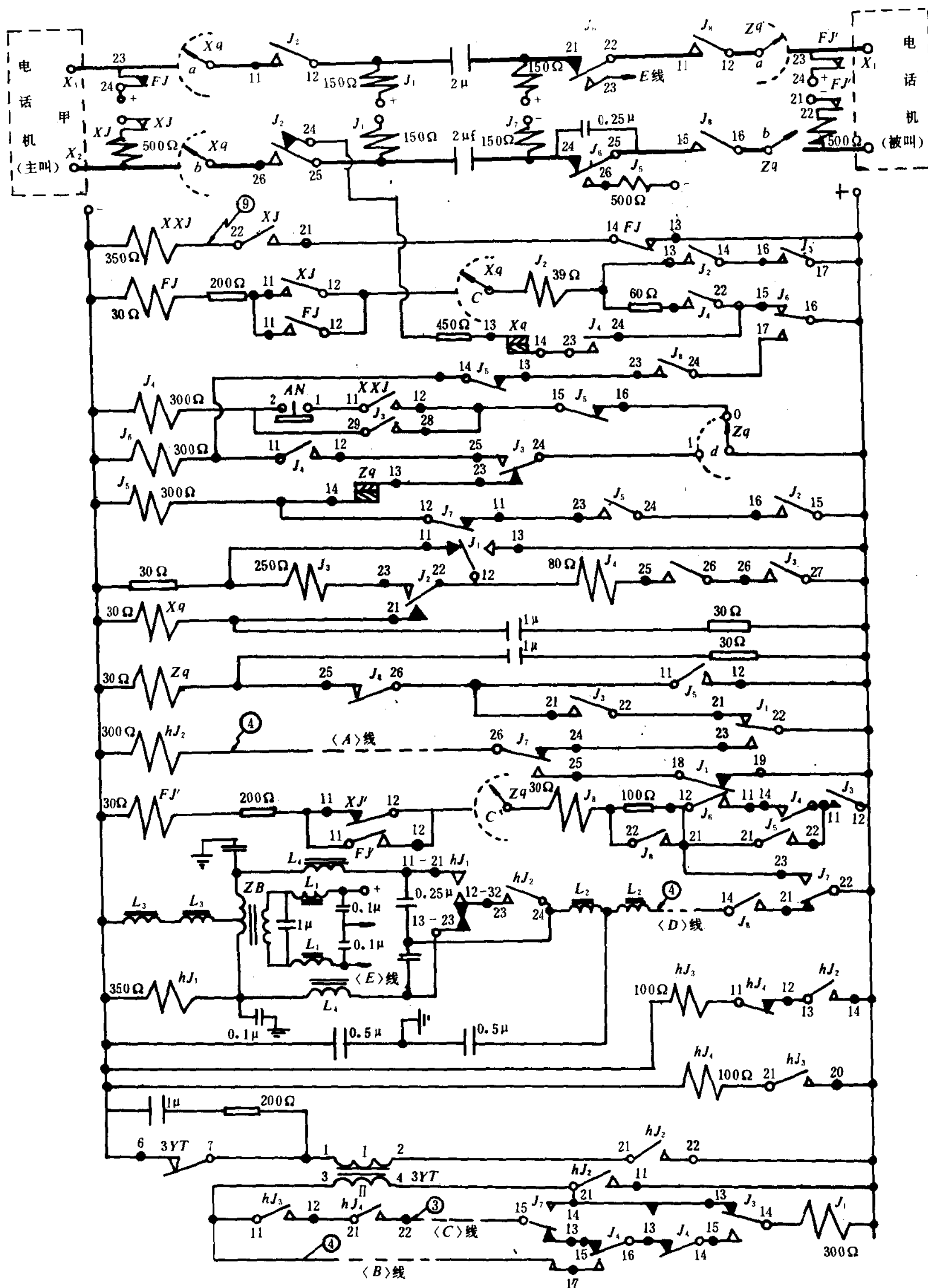


图 8.3.12-32 步进制交换机普通绳路电路图

b)原理展开图

为了说明方便，把电路原理图又画成展开图，下面以电话机甲为主叫、乙为被叫说明普通绳路的接续过程：

1)主叫话机甲与空闲绳路接通过程

话机甲取下耳机，话机内叉簧开关动作形成直流通路→线路继电器 XJ 的 500Ω 线圈得电动作→组线路继电器 XXJ 的 350Ω 线圈得电动作→中间继电器 J_4 的 300Ω 线圈得电动作(即启动本绳路)→主叫继电器 J_1 的 150Ω 线圈(下)得电动作→一方面与寻线器 Xq(步进选择器)配合寻找主叫，另一方面通过呼叫信号装置起动线〈A〉起动信号装置，产生拨号音和忙音→当 Xq 的触排转到话机甲位置时，主叫测试继电器 J_2 和分隔继电器 FJ 同时动作→寻线器 Xq 的 30Ω 线圈可靠断电，弧刷停在话机甲的位置(即找到主叫)。

2)主叫示忙，听拨号音

主叫继电器 J_{1-2} 动作后→中间继电器 J_3 的 250Ω 线圈得电动作→把 J_2，FJ 两线圈的供电回路中的 60Ω 电阻短接，形成主叫端的忙线封锁。同时，把蜂鸣变压器 3yT 产生的 400—600Hz 拨号音通过传递线〈B〉送到主叫继电器 J_1 的 300Ω 线圈→通过电磁感应关系，拨号音由主叫继电器 J_1 的两个 150Ω 线圈送给电话机甲，使之听拨号音。

3)被叫话机乙与所选绳路接通过程

电话机甲听到拨号音后，即可拨话机乙的号码→拨号脉冲使主叫继电器 J_1 时断时通(所以也叫脉冲继电器)→终接器 Zq 的 30Ω 线圈在 J_1(21—22)触点控制下也断续得电，使弧刷向前移动，拨完号后即停在话机乙对应的触排上→中间继电器 J_4 的 80Ω 线圈得电，300Ω 线圈断电；J_6 的 300Ω 线圈也得电→拨号结束，主叫继电器 J_1 稳定吸合，使 J_4 的 80Ω 线圈断电→被叫测试继电器 J_8 和分隔继电器 FJ′同时得电动作→话机乙与绳路被叫端联接。同时把 J_8 和 FJ′线圈电路中的 100Ω 电阻短接，形成忙线封锁。再一个是通过振子起动线〈D〉启动振铃装置→通过铃流传递线〈E〉给电话机乙振铃，给电话机甲回铃音。

4)通话电路的形成

电话机乙听到振铃声后，摘下耳机，话机内叉簧开关 CH 动作形成直流通路→中间继电器 J_5 的 500Ω 线圈得电动作→为本身(J_5)的 300Ω 线圈形成通电回路，并切断中间继电器 J_6 的 300Ω 线圈的电路→形成通话回路。并使被叫继电器 J_7 的两个 150Ω 线圈得电动作→切断信号电路的起动线〈A〉，〈D〉和中间继电器 J_5 的 300Ω 线圈回路。

5)系统复原

双方通话结束之后，把耳机(包括送、受话器)放回原处(挂机)，使两电话机内的直流通路切断 →主、被叫继电器 J_1、J_7 的 150Ω 线圈断电释放→被叫继电器 J_8、分隔继电器 FJ′、中间继电器 J_3 断电释放→主叫继电器 J_2，分隔继电器 FJ 断电释放；中间继电器 J_5 的 300Ω 线圈又得电动作→J_5 与终接器 Zq 的互相联锁作用，使弧刷步进移动，直到零位，彻底断开 J_5 的 300Ω 线圈供电回路，使系统全部复原。

若讲话完毕，挂机不一致，应给晚挂机方送忙音。若被叫话机忙，主叫用户拨完号后形不成 J_8、FJ′两线圈的得电回路，使接续失败，应能给主叫话机送忙音。

2.5.4 20JZDX—1A 型准电子自动交换机

目前我国制造的大中型船舶和舰艇普遍使用国产 20 门电子交换机 JZDX 型。20JZDX 型产品有三种，它们的共同点是控制部分都是晶体管电子电路，不同点是：

20JZDX—1 型：接续部件(包括接线器、绳路、执行电路)全部采用笛簧管(准电子)。

20JZDX—1A 型：接线器和执行电路采用笛簧管；绳路采用 JRXB—1 型小型电磁继电器

（准电子）。

20JZDX—1B 型：接线器、执行电路采用新型 JRXB26F 小型电磁继电器；绳路采用 JRXB—1 型小型电磁继电器（半电子）。

这种交换机的工作环境温度为－10℃～45℃；相对湿度允许达 80%。

2.5.4.1 20JZDX—1A 型自动交换机的结构

交换机的所有部件全装在一个控制箱内，图 8.3.12—33 是箱内布置示意图。

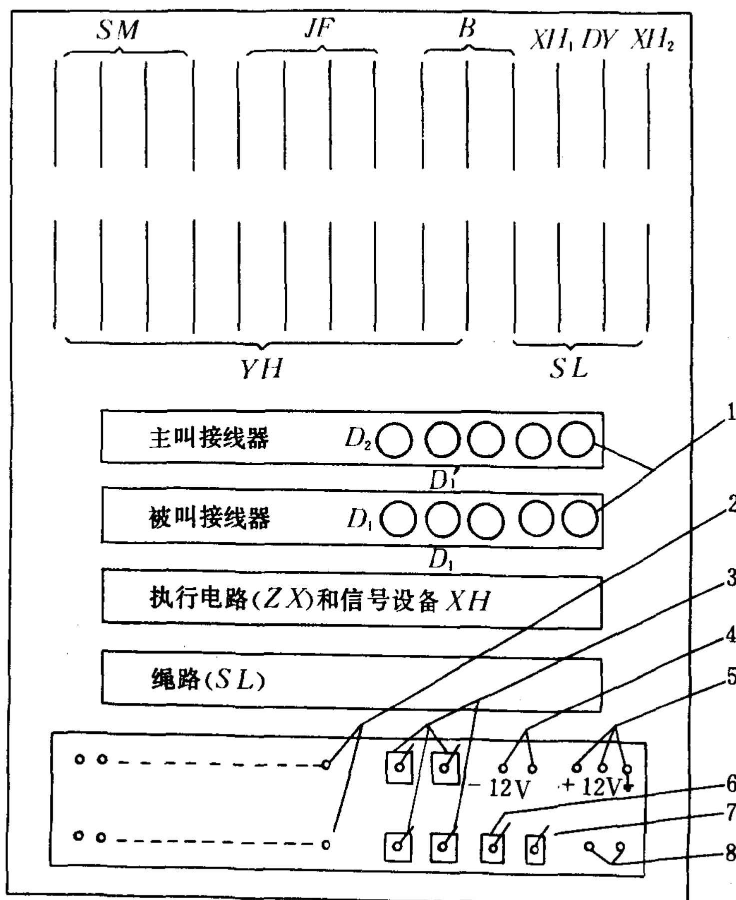


图 8.3.12—33 20JZDX—1A 型交换机控制箱布置图

SM—扫描器板（4 块）；JF—记发器板（4 块）；B—标志器板（3 块）；XH—信号电路板（2 块）；DY—电源板（1 块）；YH—用户电路板（10 块）；SL—绳路板（4 块）1—指示灯（10 个，2 个红，8 个白）；2—用户话机接线柱（20 对）；3—绳路闭塞开关（4 个）；4 外接指示灯插孔（2 个）；5—电源接线柱（±12V 和地）；6—信号灯开关；7—电源开关；8—保险丝插座

1）最上层是印刷板插件，共 28 块板，每块板均为双面的，有 22 个插孔。

2）中间是 4 个屉式大插件，从上至下依次是主叫接线器、被叫接线器、执行电路和信号设备、绳路。各部件中的电磁器件都装在这里。

3）主、被叫大插件的面板上各装有 5 个指示灯（共 10 个），其中两个红色的是指示接续过程；8 个白色的是 4 对绳路工作指示。

4）最下层是接线板。

2.5.4.2 20JZDX—1A 型自动交换机的组成

自动电话系统分为接续部件和控制部件。

1）用户电路 YH

原理图见图 8.3.12—34。在系统中作用为：

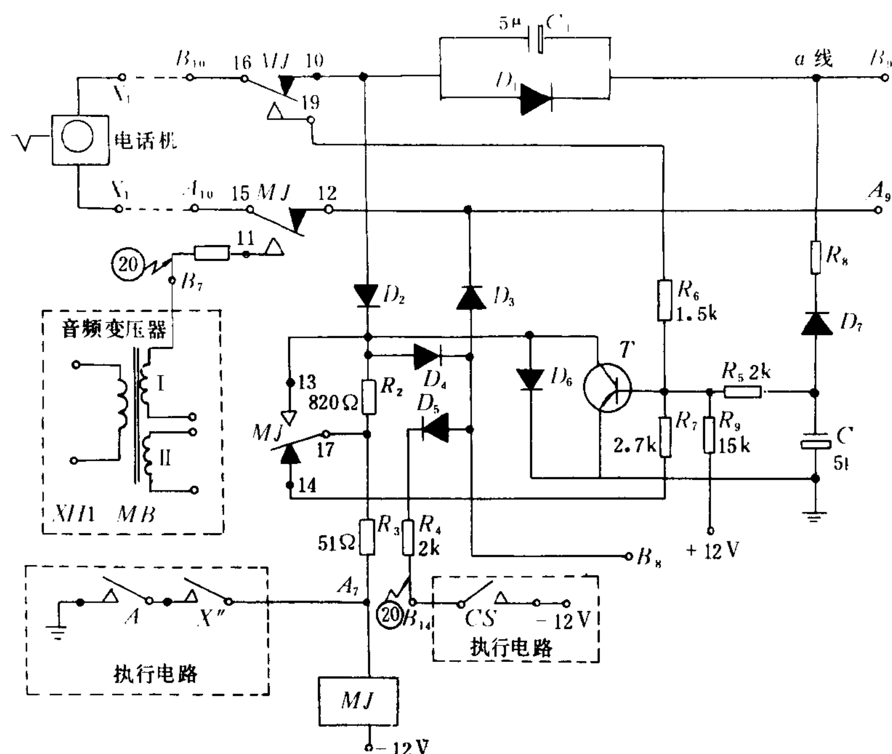


图 8.3.12—34　20JZDX—1A 型交换机的用户电路原理图

①电话机为主叫用户时，通过输出端 B_8 向控制设备的扫描译码器送 1 信号（负逻辑）。

②拨号时，通过 B_8 端给控制设备送拨号脉冲信号。

③电话机与绳路接通后，通过 B_8 端给控制设备送 0 信号示忙。

④作为主叫用户遇忙时，应能让本话机听忙音。

⑤作为被叫用户时，在系统测忙时应能做出正确的回答（忙时送 0 信号，闲时送 1 信号）。

2）接线器电路

接线器有主叫接线器和被叫接线器两台，分别负责主、被叫的接续，它们都是由笛簧管组成，所以又称为笛簧（或干簧）接线器。图 8.3.12—35 是 20JZDX—1A 型交换机接线器的原理图。

对接线器的要求：

①可以完成任意一条绳路与任意两台电话机联接。还可以完成把任意 一台电话机接在绳路的主叫端或接在被叫端。即使任意一台电话机既可以做为主叫，也可以做为被叫。

②在接续过程中不允许有误接、重接、接不通和不释放等 。具有一定的快速性和可靠性

③通话期间应能接受绳路控制，保证通话电路畅通。

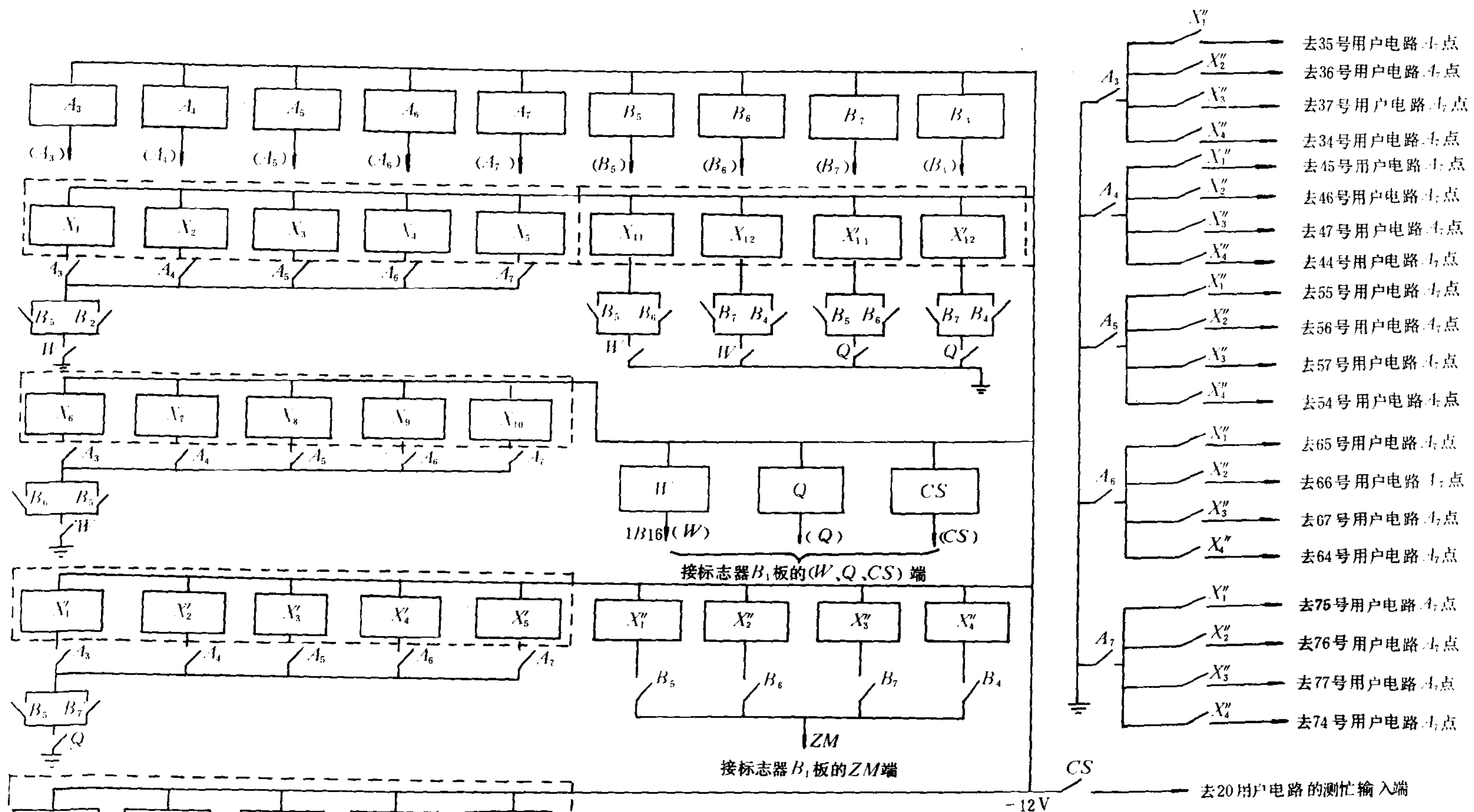
④主叫接线器完成接续后应能立即示忙，被叫接线器完成接续后，应起动铃流设备，向被叫振铃。

3）执行电路 ZX

执行电路所用的元件全是笛簧管，电路原理图见图 8.3.12—36。

对执行电路的要求：

①系统测忙时，应同时给 20 个用户电路送去测忙信号（1 信号）。



注：1） A_3、A_4、A_5、A_6、A_7　B_4、B_5、B_6、B_7 九个继电器的输入端是由扫描器SM_3板的输出端来。

2） 虚线内的继电器均装在接线器上。

图 8.3.12－36　20JZDX－1A 型交换机的执行电路原理图

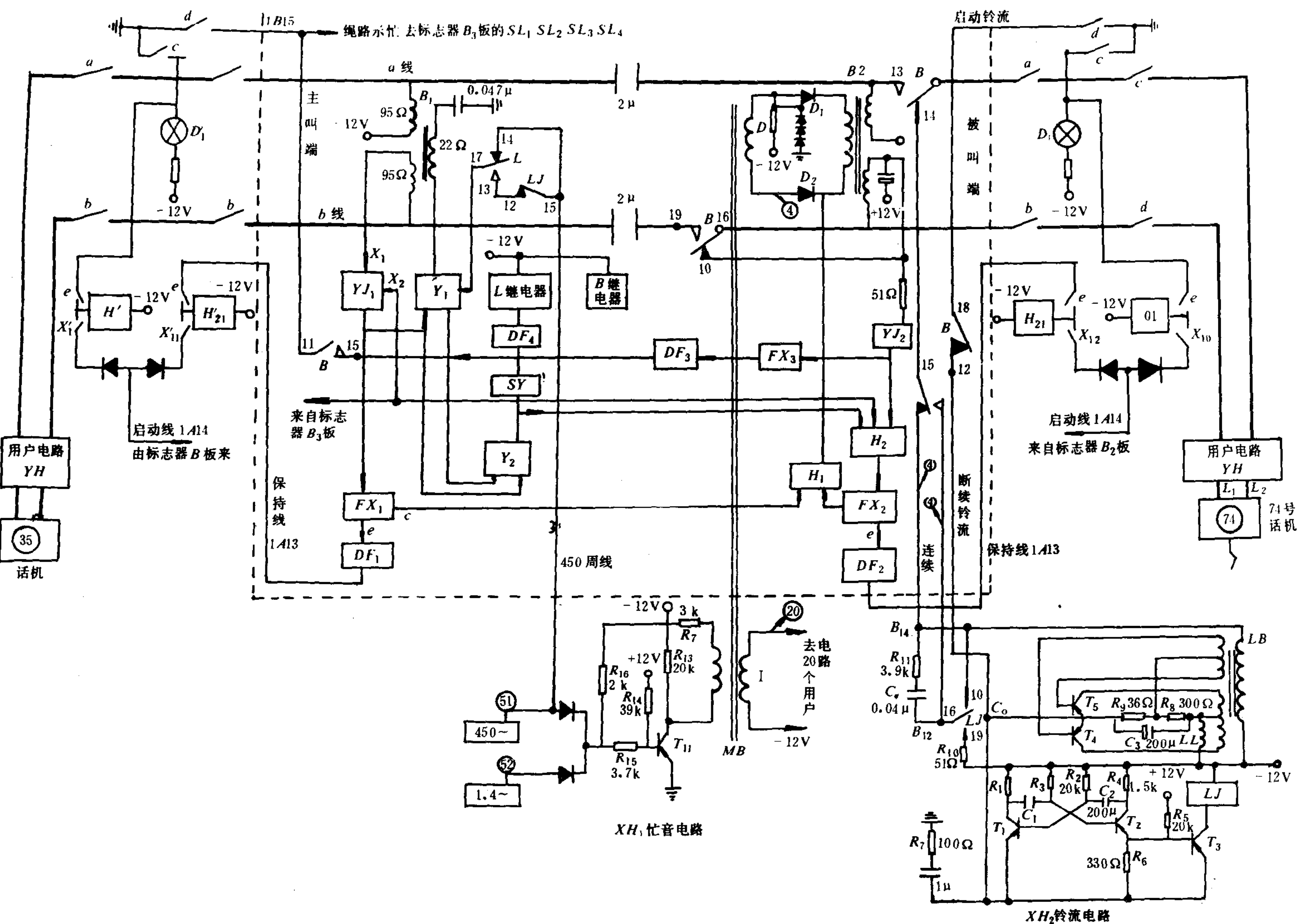


图 8.3.12—37　20JZDX—1A 型交换机的绳路原理图

YJ_1—主叫用户监视电路；YJ_2—被 叫用户监视电路；FX_{1-3}—反相器电路（3 个）；DF_{1-4}—驱动器电路（4 个）；Y_{1-2}—与门（2 个）；H_{1-2}—或门（2 个）；SY—延时电路；L—铃 流转换继电器；B—被叫摘机继电器

②当主叫遇忙时，能给主叫用户送去启动忙音继电器 MJ 的 0 信号。

③接续时应能可靠地先起动被叫接线器，后起动主叫接线器。

4）绳路 SL

绳路接续设备中重要部件之一，是两个用户完成接续之后进行通话时的控制中心。所以绳路除了通话电路、振铃电路之外，还有一些逻辑控制电路。用来监视通话双方的话机状态，进行必要的逻辑操作。如振铃、示忙 、保持、复原等功能。

绳路的电路原理见图 8.3.12—37。可分为通话电路（主回路）和逻辑控制电路两 大部分。

绳路的作用如下：

①系统在呼叫阶段的功能是传送呼叫信号。给被叫电话机送振铃信号，给主叫电话机送回铃音。而且保证在刚接通的 400ms 内为连续的初振铃 ，而后转变为响 1s，停 4S 的继续信号。

②系统在通话过程中的功能是提供通话回路；给两话机馈送 24V 电源；给用户电路送－12V 电源，向控制设备送示忙信号；给主、被叫接线器送保持信号，给控制设备直接送示忙 信号。

③系统复原时的功能是双方同时挂机时，使主、被叫接线器复原。双方挂机不一致时，应使先挂机方的话机复原，对未挂机方的话机送忙音，催促挂机。

5）信号设备（XH）

20JZDX—1A 型自动交换机使用的信号有拨号音、振铃声、回铃音和忙音。

拨号音的产生电路见图 8.3.12—38a），回铃音也是用这个电路；它还供寻找主叫时做为扫描脉冲。其频率为 450Hz。忙音电路见图 8.3.12—38b），产生断续为 0.46s 的 450Hz 的忙音信号。振铃信号的电路原理见图 8.3.12—38c），产生频率为 25Hz 的响 1s，停 4s 的振铃声和回铃音。

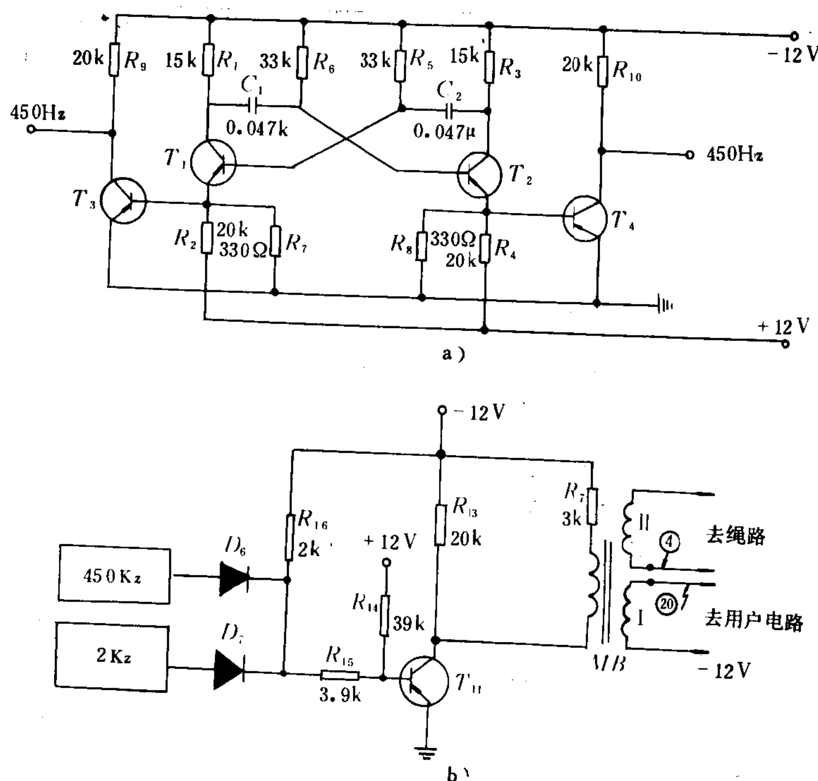


图 8.3.12—38

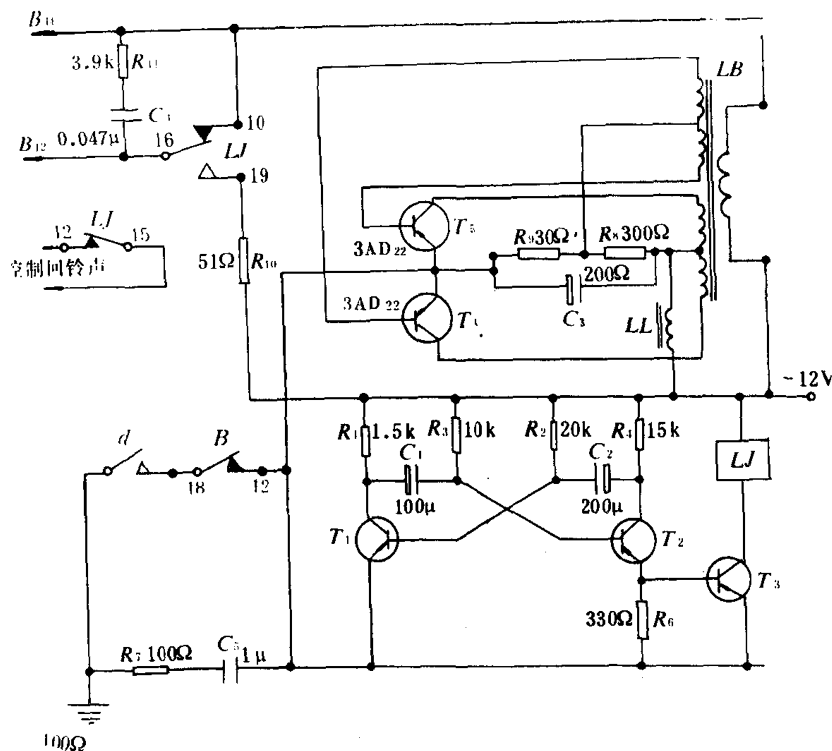


图 8.3.12—38 信号设备电路原理

a)拨号音、回铃音和扫描脉冲产生电路;b)忙音信号电路;c)铃流信号产生的电路原理图

6)接续部件之间的联接关系

图 8.3.12—39 是 20JZDX—1A 型电话系统采用的收敛一扩散联接方法示意图。共有 20 门电话机,4 对绳路,通过主、被叫接线器联成通话电路。

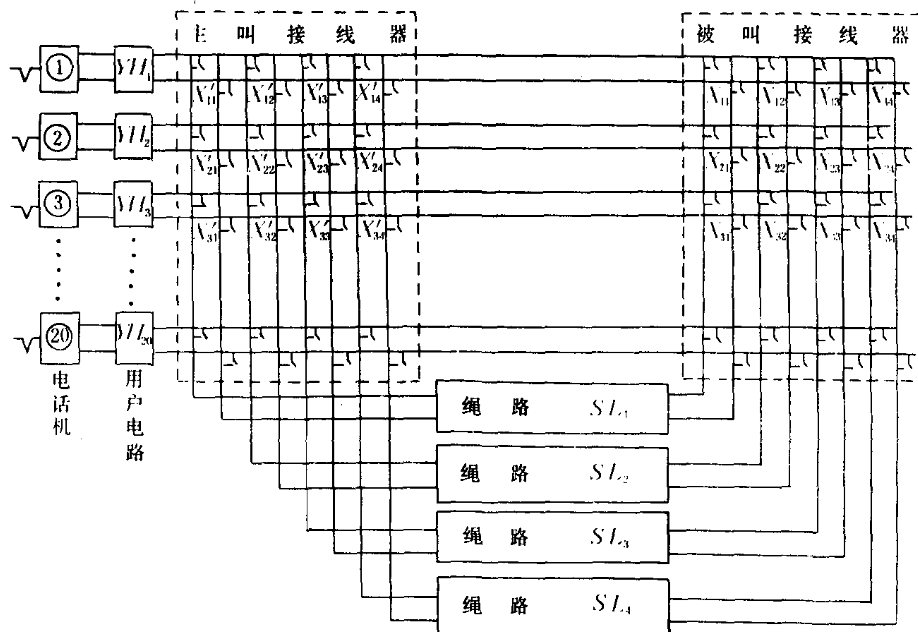


图 8.3.12—39 20JZDX—1A 型通话电路联接示意图

2.5.4.3 20JZDX—1A 型准电子自动电话交换机的控制逻辑部件

20JZDX—1A 型准电子自动电话交换 机的控制逻辑框图见图 8.3.12—40。图中主要符号说明列于表 8.3.12—5 中。

表 8.3.12—5　　　20JZDX　1A 型交换机总逻辑框图符号说明表

符号	名称	所属部位	说明
Y_{s1-9}	与门	扫描译码器 SM_1	由二极管组成，做为电话机号码输出门
H_{s1}	或门		由二极管组成，做为呼叫信号输出门
FX_{s1-5}	反相器	译码放大器板 SM_2	把记发器送来的电话机编码信号，放大后供译码器译码。它们都是由三极管为主体联接而成
DF_{s1-10}	大电流放大器		
FX_{S11-19}	反相器	取数电路板 SM_3	全部由三极管为核心联接成的，其中 FX_{S11-19} 为射极端输出，所以不反相
DF_{s11-19}	大电流放大器		
H_{S2-5}	或门	扫描器控制板 SM_4	与或门由二极管组成；反相器由三极管组成。控制进入译码放大电路是主叫话机的编码，还是被叫话机的编码
Y_{s10-20}	与门		
$F_{X56,8}$	反相器		
Y_{S21}	与门		扫描脉冲 450Hz 的输入电路
F_{xS7}	反相器		
FX_{S9}	反相器		拨号音的通路（也是 450Hz）
FX_{S10}	反相器		呼叫信号的逻辑控制，输出为 SM 信号
C_{J1-5}	双稳态触发器	记发器 $J_{1主}$	由扫描脉冲（450Hz）控制，分别记存主叫电话机个位，十位号码的编码，其对应关系见表 8.3.12－6
C_{J6-10}	双稳态触发器	记发器 $J_{1被}$	由拨号脉冲控制，分别记存被叫电话机的个位。十位号码的编码，其对应关系同主叫见表 8.3.12－6
FX_{J1-4}	反相器	记发器 JF_2 印刷电路板	由二极管、三极管等组成的接续过程控制逻辑。其中延时电路 QL 的时限为 150ms，阻塞拨号脉冲对控制逻辑状态的影响。延时电路 SX_2 的时限为 10S 作为监视主叫用户摘机时间，若摘机 10S 内不拨号应给主叫送忙音。 与门 Y_{J2-3} 分别是拨号脉冲个位，十位的门控；CJ1 和 YJ1 是个位拨空号的检测电路
FD_{J1-3}	功率放大器		
QL	延时电路		
SX_{12}			
Y_{J1-3}	与门		
C_{J11}	双稳态触发器		
FX_{J5-8}	反相器	记发器 JF_3 印刷电路板	C_{J12-13} 支路是拨号顺序控制，保证拨十位、个位的脉冲正确送到各自的记存单元中。Y_{J5}：FD_{J4}、FX_{J8} 支路为占标信号 C_3 的控制逻辑。与门 Y_{J4} 是送拨号音的控制门，或门 H_{J1} 是监视绳路是否全忙，若是就启动总忙信号，给主叫送忙音。
FD_{J4}	功率放大器		
C_{J12-13}	双稳态触发器		
Y_{J4-5}	与门		
H_{J1}	或门		
SX_1	延时电路		延时 150ms，保证拨号脉冲对 C_{J12-13} 不影响
FX_{B1-8}	反相器	标志器 B_1 印刷电路板	由二极管、三极管等组成选绳路、测忙、接主、被叫、送总忙信号等控制逻辑
DF_{B6-9}	大电流放大器		
Y_{B1-6}	与门		
H_{B1-4}	或门		

续上表

符号	名称	所属部位	说明
FX_{B17-21}	反相器	标志器 B_2 印刷电路板	由二极管、三极管等组成接续步骤程序逻辑，两个延时电路 QL 的时限都是 6ms，安排了拨号完后测忙，接被叫，接主叫的顺序间隔。时间电路 SX_1 延时 200ms，要求测忙之后 200ms 内要完成接续任务。反相器 FX_{B21} 是输出选绳路信号给 B_3 板，DF_{B1-4} 是送启动接线器信号给主、被叫接线器，DF_{B5} 是控制取数电路 SM_3 板
DF_{B1-5}	大电流放大器		
Y_{B7}	与门		
Q_L	延时电路(3个)		
SX_1			
FX_{B9-16}	反相器	标志器 B_3 印刷电路板	由二极管、三极管等组成选绳路的逻辑控制。它保证选出一对空闲绳路，并进行自保，排斥其它绳路，防止重选
Y_{B8-19}	与门		
H_{B5-8}	或门		
FX_{X1-3}	反相器	信号电路板 XH_1	由红色指示灯 D_1、D_2 组成系统接续中拨号过程的指示电路
DF_{X1-2}	大电流放大器		
D_{1-2}	红色指示灯		
Y_X	与门		形成忙音信号电路
1.4～	多谐振荡器		
450～			产生 450Hz 脉冲信号，作为扫描脉冲。拨号音、忙音、选绳路信号源
C_X	双稳态触发器		与 450Hz 信号源配合选绳路
FX_{D1-2}	反相器	电源板 DY	形成电源自动供电控制电路。延时电路 SX_2 的时限为 10s，一方面是保证在接续过程中输入信号 SM'变化不影响可靠供电，另一方面是系统完成一次接续后，在 10s 内无任何用户摘机，就停止向全机供电
FD_D	功率放大器		
DF_D	大电流放大器		
Y_D	与门		
SX_2	延时电路		

表 8.3.12—6　　**电话机号码的编码关系**

十位数编码[即计数器 C_{J5-3} 或 C_{J10-8} 状态]	100	011	010	001	000
对应话机号码十位数	3	4	5	6	7
个位数编码[即计数器 C_{J2-1} 或 C_{J7-6} 状态]	11	10	01	00	
对应话机号码个位数	4	5	6	7	

2.5.4.4　20JZDX—1A 型自动交换机的接续过程

系统在无人摘机打电话时，只有电源板 DY 和 20 个用户电路 YH_{1-20} 有电，其余各部分均处于继电状态。

1)主叫摘机听拨号音

主叫摘机后第一步是启动电源自动控制电路。第二步是寻找主叫电话机号码，扫描脉冲 450Hz 通过与门 y_{S21} 使主叫编码计数器 C_{J5-1} 不继计数(扫描)，找到主叫号码机之后，SM 信号为 O，封锁与门 Y_{S21}，使 C_{J5-1} 记存了主叫电话机的编码。第三步是给主叫话机送拨号音，同时使红色指示灯 D_1 亮，表示准备接受主叫拨号。它们的信号流程如图 8.3.12—41 所示。

2)主叫用户拨号阶段

拨号顺序由触发器 C_{J12}，C_{J13} 控制，第一步是拨被叫电话机的十位数，拨完十位数之后应使触发器 C_{J12-13} 翻转为封锁十位数的脉冲通路，打开个位数脉冲的通路，同时使指示灯 D_1 灭、D_2

亮。第二步是拨个位数，拨完个位数之后，使指示灯 D_{1-2}全亮，表明拨号完毕。同时应使占标信号 C_3 为 1，启动标志器工作。拨号脉冲流程见图 8.3.12—42。

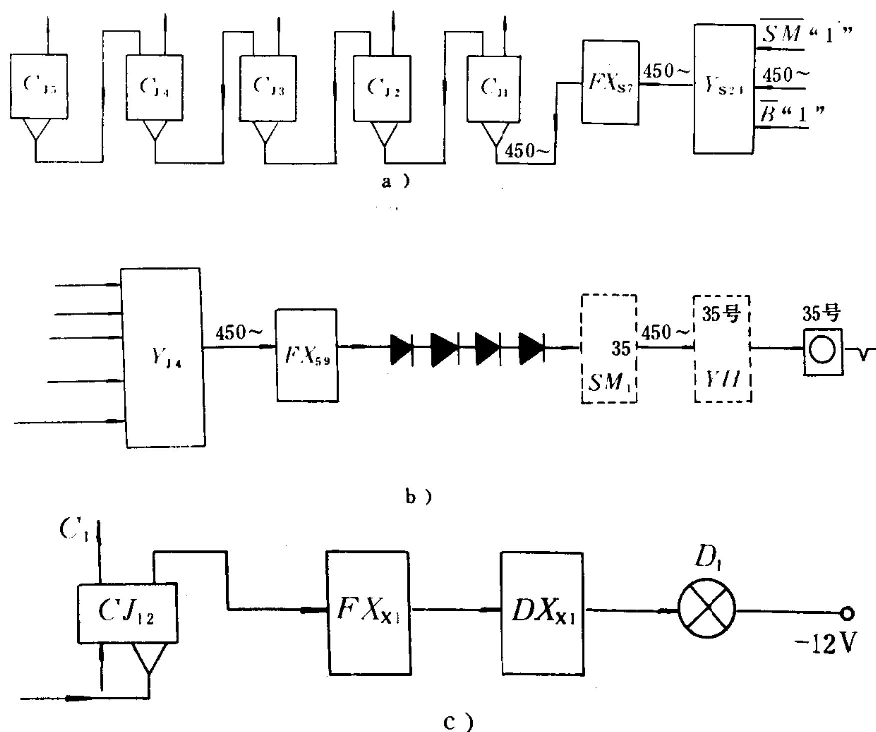


图 8.3.12—41　主叫摘机到听拨号音阶段信号流程

a)寻找主叫话机号码时 450Hz 扫描脉冲流程；b)给主叫送拨号音流程；c)红色指示灯 D_1 供电电路

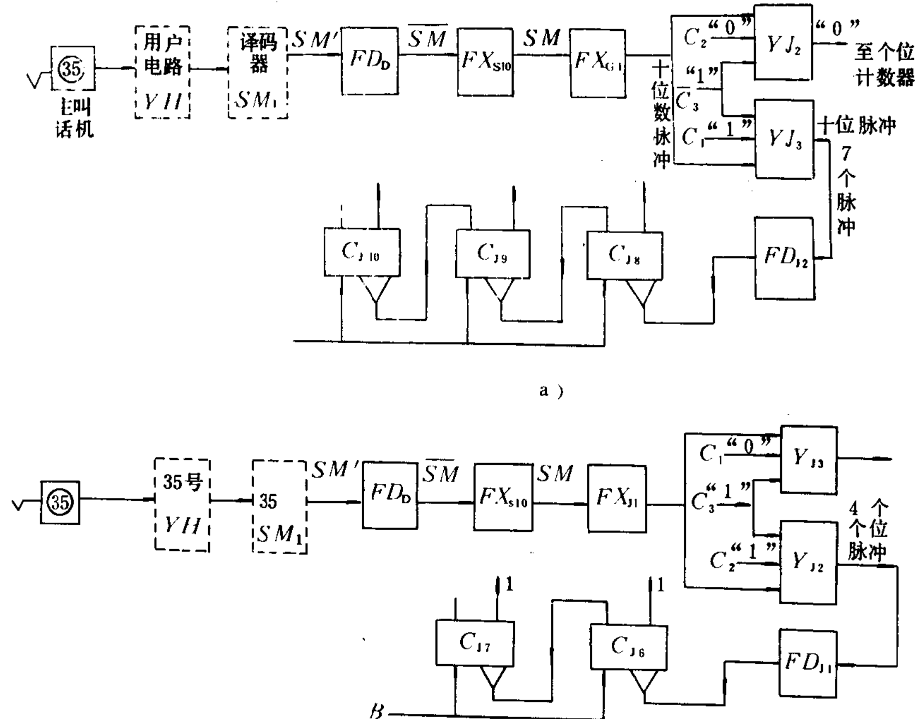


图 8.3.12—42　拨号脉冲流程图

a)被叫话机十位数脉冲流程图；b)个位数脉冲流程图

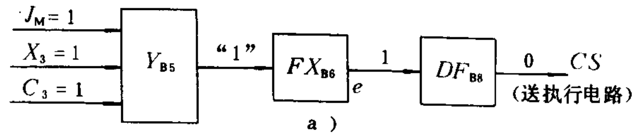
3)接主、被叫阶段[设被叫话机闲]

主叫用户拨完号之后，占标信号 C_3 为 1，控制逻辑电路应完成如下操作。

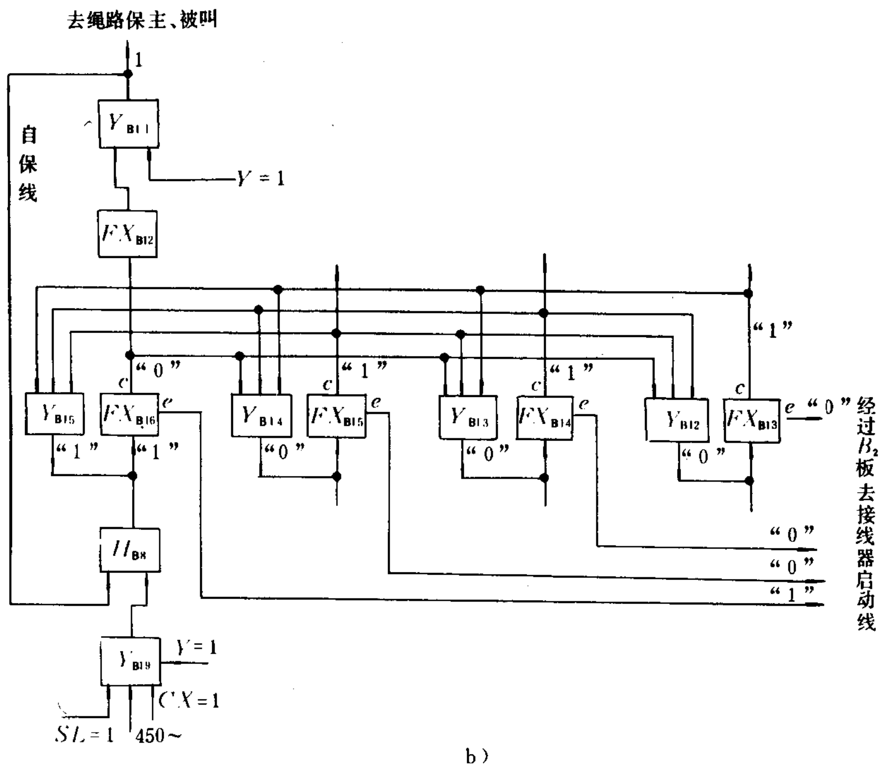
①测忙：在 $C_3=1$ 后，6ms 内，应给执行电路送测忙信号 $C_3=o$ 信号。见图 8.3.12-43a)。

②接被叫：在 6ms 之后，标志器 B_1 一方面启动互斥电路开始选绳路，另一方面给执行电路送接被叫信号 w=0，和被叫话机十位数 A，个位数 B 的 0 信号。见图 8.3.12－43 b)、c)、d)。

③接主叫：把被叫话机接到所选空闲绳路的被叫端 6ms 后，一方面给执行电路送接主叫信号 Q=0，另一方面送主叫话机十位数 A，个位数 B 的 O 信号。见图 8.3.12－43d)、e)。



a)



b)

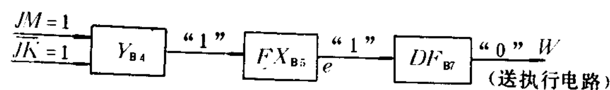


图 8.3.12—43

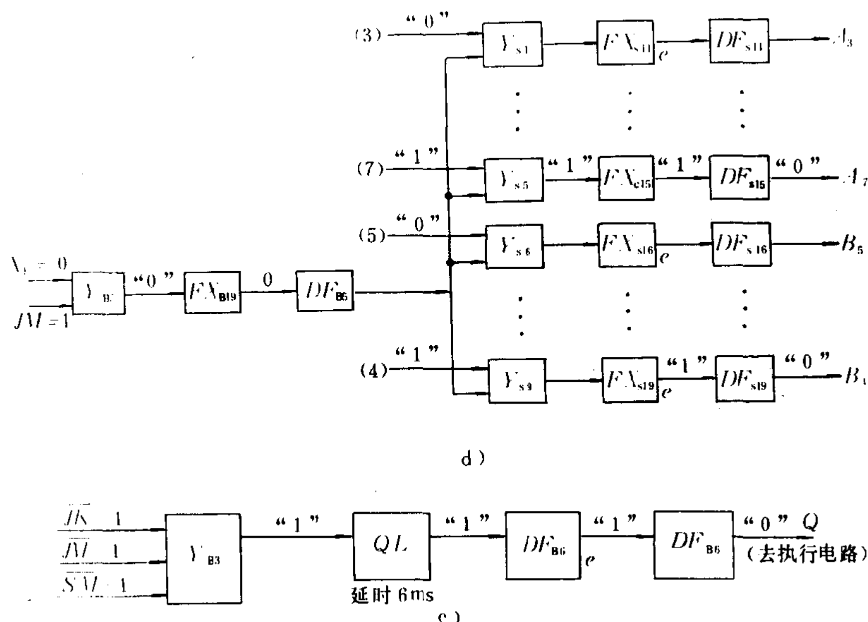


图 8.3.12—43　接主、被叫阶段信号流程图

a)产生测忙信号 $C_3=0$ 的逻辑框图；b)选空闲绳路逻辑框图；c)产生接被叫信号 w=0 的逻辑框图；

d)送话机号码十、个位数信号逻辑框图；e)产生接主叫信号 Q=0 的逻辑框图

4)控制逻辑电路复原

主、被叫话机与绳路接通之后，通话电路由绳路的逻辑电路控制，控制逻辑电路即可复原。再经过 10s 钟后无人再摘机，电源自动控制电路也复原，停止向全机供电。

5)交换机送忙音原理

交换机在下述五种情况中任何一种，都要给执行电路送总忙信号(ZM＝o)。见图 8.3.12—44。

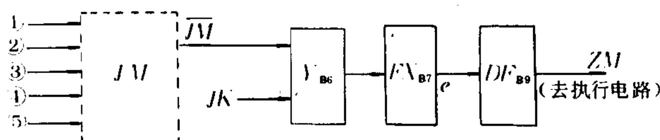


图 8.3.12—44　产生总忙信号 ZM＝o 的逻辑框图

①—主叫摘机后久不拨号(超过 10s)为 1 信号；②—测忙时用户忙 SM＝1；③—绳路全忙时为 1 信号；④—主叫拨空号(个位)为 1 信号；⑤—测忙后的接续时间超过 200ms 时为 1 信号。

2.5.5　VMP—112/8 型船内通信系统

VMP—112/8 型船内通讯系统是微处理器控制的程控电话系统，容量为 112 个用户话机，8 对绳路。通过程序编排，本系统能把船 内通讯系统中各自独立的对讲电话系统、指挥电话系统 、自动电话系统、有线广播系统融为一体。另外，在交换机上附加一些接口装置，还可实现与外部通信[卫星通信、播话机(VHF、HF)通信、与海岸市局电话联接]系统联接，实现船员在海上航行时，能直接与岸上人员直接通话。

2.5.5.1　VMP—112/8 系统的电路板及作用

本电话系统所用的印刷电路板见表 8.3.12—7。

表 8.3.12—7　**VMP—112/8 电话系统的印刷电路板**

名　　称	型　　号	作　　用　　说　　明
绳路板	SB—6105	每一对绳路一块板，共 8 块印刷电路板
用户电路板	AB	一个用户对应一个用户电路，每块印刷板装 4 个用户电路。共 28 块印刷电路板
中央处理器板	PMC—6308	是本交换机的控制中心，包括 CPU 和存贮器
处理器接口板	PMI—6310V	是微处器与交换机之间的联接板
中央逻辑板	CLM—6315	通过接口电路完成一些特殊控制功能
功率调节单元	PVRB—6371	把交流 220V 变为±24V、15V、5V 等直流电源，板面有 4 个指示灯(LED)，每 80 个用户需要一个电源装置
总/组呼叫板	GCP—6320V	插入此板，可实现总/组呼叫，占用一个用户线，每 80 个用户需要一个 GCP—6320V 板
电话机并联板	VA—114C	插入此板，可实现两话机并联在同一个电话号码的用户线上，通话时，按"O"键可实现转换
功率放大器附加板	VA—115(2×14w)	输出电压 100V，包括两个独立的 14W 电源，各供一个用户
	VA—116	输出电压 100V，功率 50W 总/组呼叫时扩大音量
	MF—100W	输出电压 100V，最大功率可达 150W，安装在交换机外部
继电器驱动板	VA—117C	用于无"保密"功能的话机，增强并延长振铃声
警报控制板	VA—161	与外部警报信号源联用，控制警报信号，有两个按钮，一个是激励所有用户，另一个是激励某一组用户
	VA—162	作用同 VA—161。但本身有一只装入式警报信号发生器，可选择"脉冲信号声音"或连续两声报警声音
卫星通信接口板	VA—164	插入此板，可实现卫星通信

2.5.5.2 VMP—112/8 电话系统所用的电话机

本电话系统所用的电话机见表 8.3.12—8。

表 8.3.12—8　**VMP—112/8 自动电话系统的电话机**

型　　号	功能和使用说明	安装地点
VMP—119 型	具有保密功能，通话方式有内部扬声器——麦克风和耳机(送——受话器)两种，没摘机用扬声器——麦克风通话，摘机后自动转为耳机通话，通话时按"M"键，可实现"单工"或"双工"通话方式	船员私人房间
VMP—207C 型	不具有保密功能，耳机与话机本体分开。暂短振铃后自动转入扬声器——麦克风通话，摘机后自动转为耳机通话，同样可实现"单工"、"双工"通话方式	驾驶室，机控室等处
VMP—203C 型	只比 VMP—207C 型多了一个外接大功率扬声器——麦克风	厨房、防火站、泡沫间等大房间
VMP—203B 型	把 VMP—203C 型的手提耳机改为头戴送——受话器，同时增设一个扬声器——麦克风与送——受话器的转换按钮	工作间，发电机燃料仓等噪音大的场所
VMP—108 型	带有防爆装置的电话机	用于危险易爆地点

2.5.5.3 VMP—112/8 电话系统功能

本电话系统除通常电话系统的通话功能外，还具有表 8.3.12—9 所示的功能。

表 8.3.12—9　　**VMP—112/8 电话系统的功能表**

序号	功　能	具 体 操 作 和 简 要 说 明
1	总/组呼叫	总呼叫：在主叫键盘上按"84"后听到两声响，再按"M"键。组呼叫：把按"84"改为按"85"—"89"中的任一个，即可实现不同组的呼叫。总/组呼叫时，可使正在通话的话机暂停，但未被取消，总/组呼叫结束，即可自动恢复
2	节目选择	把收音机、录音机等声源接到交换机上，按"81"—"83"中一个进行节目选择，节目播放不占用通话电话，可被 总/组呼叫或本话机呼叫中断，但呼叫后又能恢复播放节目。按"80"后才取消节目选择功能。
3	主叫遇忙后的处理	主叫拨完号后，遇忙音的处理： ①按"C"键，取消本次呼叫，等待后再挂 ②等待。但过 30S 后，放叫还忙，即被取消 ③按"8"键，排队自动叫回，5min 后即被取消。若按"8"后，仍听忙音，只能等待。
4	询问呼叫	A 与 B 正在通话时，A 要询问 C 时，A 按"2"+C 的号码后，可与 C 通话，B 暂被抛锚，询问完，A 按"C"键中断 A、C 联系、恢复 A、B 通话
5	呼叫转换	在询问呼叫时，用户 C 按"3"键，中断 A 与 C；A 与 B 之间联系，建立 C 与 B 的通话联系
6	保密功能	不让对方听到与旁边人商量的声音，按"O"键 。但不中断通话联系
7	跟随功能	用户 A 到 B，可在 B 话机上按"72"+A 话机号码+"M"键。可把给话机 A 呼叫转到 B 。若再到 C，在 C 上按同样键即可。最多允许 4 台话机同时使用跟随功能 。在 A 上按"70"或在其它话机按"73"+A 话机号码可取消此功能
8	会议通话	在询问呼叫状态，用户 C 按"4"键，A、B 、C 之间可实现讨论式双工会议，最多允许 4 个用户，用户 C 按"5"键形成单工会议，讲话时按"M"键，多台话机都要讲话，以先按"M"键者讲话
9	通话优先级选择	①选译优先权：优先级高的话机拨完号后听忙音，按"M"键给通话双方送"催促音"或与要通话的话机通话，使另一话机听等待声。 ②重点优先权：具有重点优先级话机，遇忙时在 1 秒内按两下"M"键，强制中断原通话电路。建立自己的通话电路
10	扩音与播叫功能	有线广播系统占用一个用户号码时，任一台话机都可向它呼叫，实现有线广播，但讲话时要按"M"键

续上表

序号	功能	具体操作和简要说明
11	两话机并联在同一号码上的功能	交换机上插有VA—114C印刷电路板时，可以把两话机用同一号码进行并联联接。通话时可按"O"键，把通话转到本机上。在这里有使用保密话机时，一个话机通话，另一个话机听不到声音，若使用不具有保密话机时，一个话机通话，另一个话机可听到声音
12	卫星通信	交换机上附加VA—164印刷电路板，且岸上有卫星地面接收站，能进行卫星通信。做为主叫时，按卫星通讯接口号码，若不占线再按岸上被叫用户号码，即可接通通话。做为被叫时，岸上用户要通卫星通讯接口后再按本系统的具体被叫号码，即可接通通话
13	高频呼叫	交换机中有VHF/HF控制站，占用一个话机号码。做为主叫时，先按VHF/HF控制站号码，接通后再按"M"键进行VHF或HF呼叫。做为被叫时，外部VHF或HF播话机先呼叫船上的VHF/HF控制站，要通后告知被叫用户，再由被叫用户按主叫操作方式叫通，进行通话
14	靠岸后与市局电话联接	交换机有一接口与市局电话联接，做为市局的一个单位。做为主叫时，先按接口号码，要通后再按市局中具体被叫用户号码。做为被叫时，市话用户先要通船舶的接口号码，再拨本系统中的被叫号码

2.5.5.4 VMP—112/8电话系统的编程方法

VMP—112/8电话系统的编程方法有硬件编程和软件编程两种

1)硬件编程：本系统只有相对排除总/组呼叫由硬件编程完成。它是把同一房间或同一场所能产生声音反馈的话机分成一组，在总/组呼叫时，其中一台参预总/组呼叫，同组的其它话机都排除在外。其方法是：在用户电路板上把同组各话机的用户电路中的反馈端用导线联接起来即可。

2)软件编程：软件编程由编程控制板控制，编程时把编程转换开关扳到编程接通位置。

①通过用户话机键盘编程：见表8.3.12—10。

表8.3.12—10　**VMP—112/8电话系统通过用户话机编程方法**

实现功能		按键方法	说明	
绝对排除总/组呼叫	总呼叫中排除这个电话机	在该话机键盘上按 "782"+"84"+"M"+"9"	总呼叫标准号码为"84"	
	总呼叫中加入这个电话机	在该话机键盘上按 "783"+"84"+"M"+"9"		
	组呼叫中加入这个电话机	在该话机键盘上按 "782"+"组呼叫号码"+"M"+"9"	组呼叫标准码	"85"—组呼1的号码 "86"—组呼叫2的号码 "87"—组呼叫3的号码 "88"—组呼叫4的号码 "89"—组呼叫5的号码
	组呼叫中排除这个电话机	在该话机键盘上按 "783"+"组呼叫号码"+"M"+"9"		

实现功能		按键方法	说明
总/组呼叫等级选择	为总呼叫置起动等级	在所有电话机的键 盘上按 “782”+“002X”+“M”+“9”	①分为 4 个等级 X=0,1,2,3 0 为标准级，3 为最高级 ②某级话机只能起动同级或低级的总/组呼叫
	为组呼叫置起动等级	在同组的所有话机的键盘上按 “782”+“003X”+“M”+“9”	
	为单机用户置起动等级	在该话机的键盘上按 “782”+“001X”+“M”+“9”	
用户电话机优先级选择	优先级选择一般按键式	在该话机键盘上按 “782”+“000X”+“M”+“9”	①分为 4 个等级，X=0,1,2,3 ② x=0 为标准级，无优先权 ③X=1 的话机，拨号后遇忙时按“M”键，使通话双方听催促声 ④x=2 的话机，拨号后遇忙时按“M”键，插入通话使另一方听等待声 ⑤X=3 为重点优先，拨号后遇忙时，1s 内按两下“M”键，切断原通话电路，建立 自己通话电路
	① 标准级(无优先选择)X=O	在该话机键盘上按 “782”+“0000”+“M”+“9”	
	②催促式优先级编程 x=1	在该话机键盘上按 “782”+“0001”+“M”+“9”	
	③插入式优先级编程 X=2	在该话机键盘上按 “782”+“0002”+“M”+“9”	
	④重点优先级编程 X=3	在该话机键盘上按 “782”+“0003”+“M”+“9”	
改变单机用户的电话号码		在该话机键盘上按 “782”+“用户新号码”+“M”+“9”	

②通过磁带转录编程

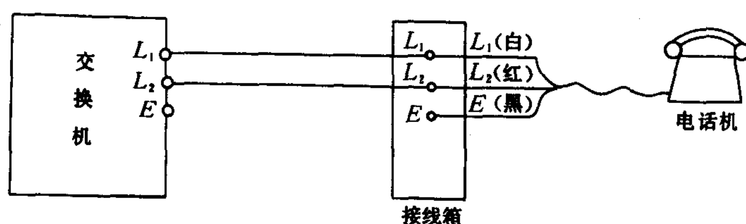


图 8.3.12—45　单独占用一个电话号码的电话机与交换机联接图

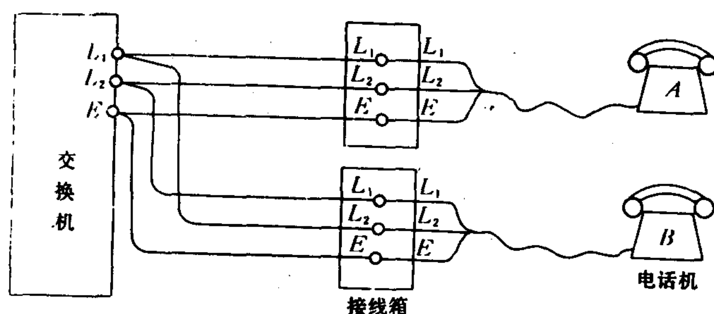


图 8.3.12—46　合用线上两台不同号码的话机与交换机联接

把存有电话机程序的磁带装入录音机后，通过调制一解调器与交换机联接，然后操纵编程控制板上“LOAD”(装入)，“DVMP”(转贮)，“VERIFY”(检验)等 按钮可实现程序从磁带装入交换机，或从交换机转贮到磁带，或进行检查转录过程是否正确。

2.5.6 NCF—900 型船 用电子交换机系统

NCF—900 型船用电子自动交换机系统 是由微处理器控制的程控电话系统，根据不同容 量，有 NCF—914A，NCF—924A，NCF—934A，三种类型供选择使用。

2.5.6.1 NCF—900 型电话系统的功能

1)单独占用一个电话号码的用户可直接拨号呼叫,此时话机内印刷板线路不用改接,与交换机的联接见图 8.3.12—45。

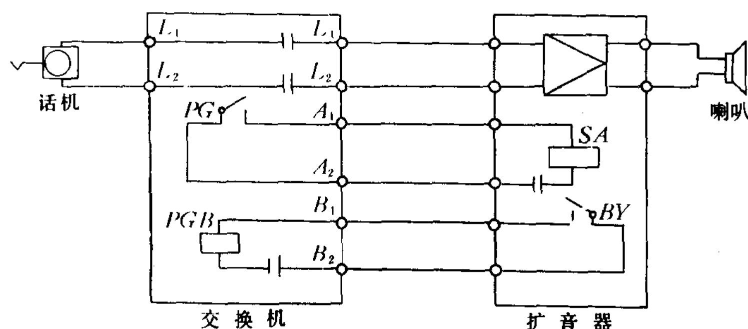


图 8.3.12—47 播叫时接续示意图

2)合用线上两台话机的功能

两台不同号码的电话机共用一个交换机的用户口,联线方法见图 8.3.12—46。其中电话机 A 的号码小于话机 B 的号码。

①做为被叫时,一台被呼叫,另一台不会同时被振铃。

②做为主叫时,A、B 可以单独向其它话机呼叫。但一台工作时,另一台就不能使用,即不完全独立。

③A 与 B 之间可以互相呼叫,若 A 摘机拨 B 的号码后,再把耳机放回搁叉上,此时 A、B 都振铃,B 摘机后,双方振铃都停止,A 应立即摘机,双方即可通话。若 B 无人接电话,A 要重新摘机使振铃停止,切继双方联系。

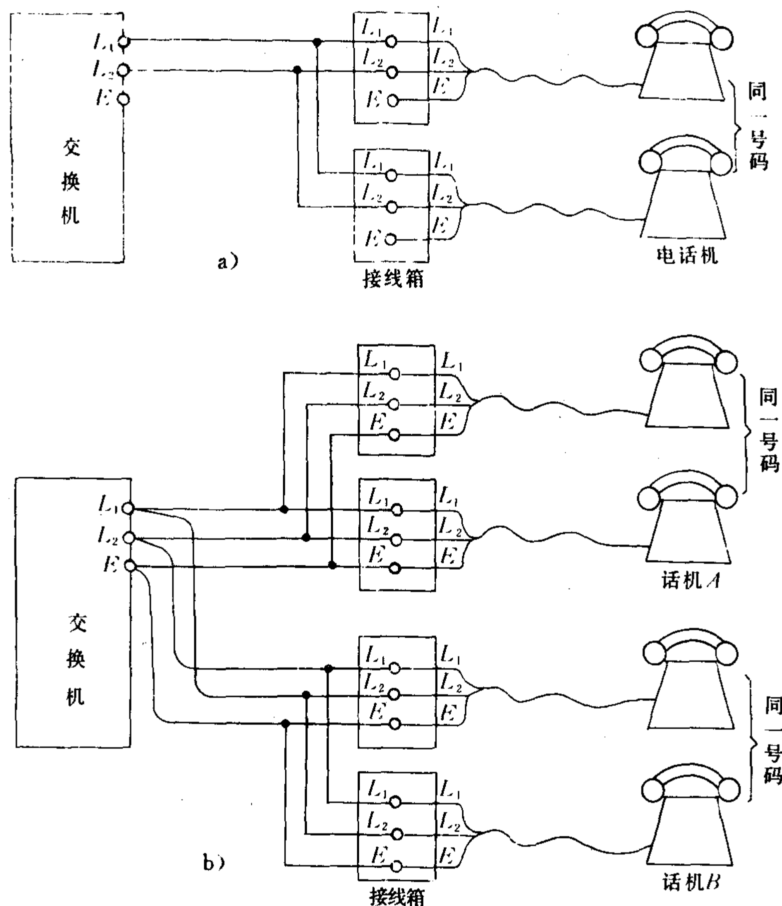


图 8.3.12 48 并联话机与交换机的联接图

a)两台电话机并联接法; b)4 台电话机两台一组采用合用线接法的联接

3)广播呼叫

船舶广播系统若占用交换 机一个用户号码,在程序控制下,任一台话机都 可通过拨号实现 广播呼叫,播叫的接续情况见图 8.3.12—47。

4)并联联接

两台电话机共用一个电话号码时的并联联接见图 8.3.12—48a)。若做为被叫时,两台话机同时接受振铃 ,同时听到主叫讲话。做为主叫时,不能同时对外拨号。并联时最多只能是 4 台话机,若 4 台中每两台一组,两组之间采用合用线接法,其联接方法见图 8.3.12—48b)。

5)通话优先级的选择

①一对一中继呼叫

这是对讲电话系统的功能,但两台电话机都应有一对一中继呼叫按钮,而且它们之间与交换机联接应有专线,见图 8.3.12—49 。呼叫时,先摘机,再按按纽给对方振铃 ,对方摘机即可通过专用线通话,若被叫占线这种呼叫可使 之中继。

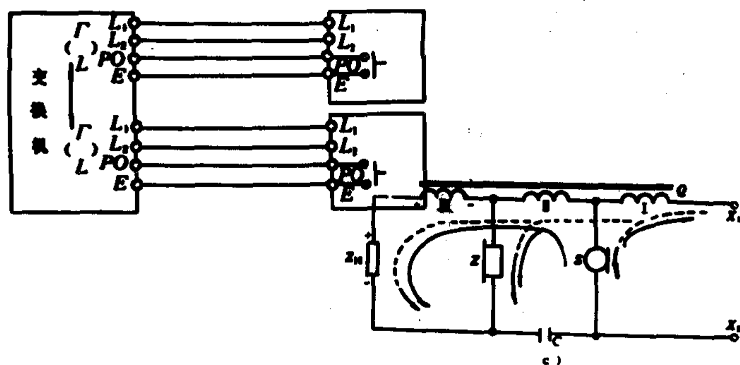


图 8.3.12—49 一对一中继呼叫电话机与交换机的联接

②一对四单向中继呼叫

具有一对四单向中继呼叫的主叫电话机与交换机的联接见图 8.3.12—50。主叫话机应具有一对四单向中继呼叫按钮和 4 档的选择开关。呼叫时转好开关位置后摘机并按按钮,即可 实现对其中一台话机进行呼叫,若被叫占线,这种呼叫可使之中继。

③拨号引起通话线路中继

本电话系统在主叫拨完号后遇忙时,可按“1”键,使主叫插入通话电路,当第三用户挂机后即可建立新的通话电路,若有必要还可实现三个用户之间的通话联络。但对于一对一或一对四单向中继呼叫无法中继。

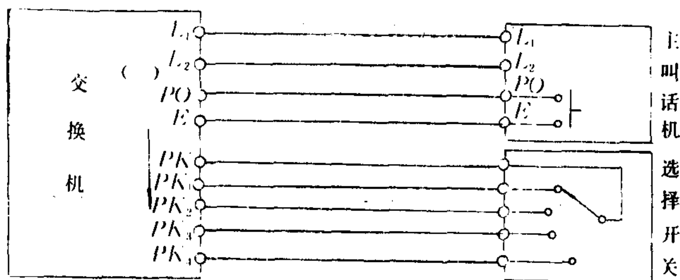


图 8.3.12—50 一对四单向中继呼叫的主叫电话机与交换机联接

在拨号优先级选择中,有两台电话机通过专线实现第一和第二优先。它们之中的每一台都 可在任何情况下拨号呼叫本电话系统的其它话机,若被叫占线,通过按“1”键使它们中继。但第二优先级不能中继第一优先级建立的通话电路。通常第一优先级的话机安装在驾驶室,第二优先级的话机安装在机控室。

6)报警功能

①不息呼叫报警

通话后耳机未放好或线路故障,先是 10s 拨号音,继之是 40s 忙音,再后是发出声光报警,

警笛可通过“P · BZ · SP”开关继开，但光报警直到故障排除为止。

② 熔继器烧继报警

电源熔继器烧继，立即发出声光报警，同样可用“BZ · SP”开关继开声报警，但光报警直到故障排除为止。

7)备用直流电源的自动投入

在交源电源失电或欠压时，直流电源会自动投入。交源电源修复后，又会自动转换为交流供电。在转换过程中应保证不能瞬时继电。

2.5.6.2 本电话系统电话机号码的编排

电话机号码的编排与交换机型号，联接方法有关，见表 8.3.12—11

表 8.3.12—11　　**NCF—900 型电话机号码编排**

交换机型号	单独与交换机联接的话机号码	合用线上两台话机的号码	
		用户 A	用户 B
NCF—914A	20—31	20	—
		21	—
		22	32
		23	33
		⋮	⋮
		31	41
NCF—924A	20—39	20	—
		21	—
		⋮	⋮
		24	—
		25	45
		26	46
		⋮	⋮
		39	59
NCF—934A	20—51	20	—
		21	—
		22	—
		⋮	⋮
		36	—
		37	67
		38	68
		⋮	⋮
		51	81

2.5.6.3 被叫电话机号码与铃流发送继电器关系

在合用线上两台电话机，A 为小号码，B 为大号码。本电话系统的振铃是由振铃继电器控制，单独与交换机联接的电话机和合用线上的话机 A 的铃流信号发送继电器 RT 是与话机号码一一对应的，而合用线上的电话机 B 的铃流信号发送除继电器 RT 外，还应有继电器 RV 中的一个动作，才能听到铃流，见表 8.3.12—12。

表 8.3.12—12　　**被叫电话机号码与铃流发送器关系表**

交换机型号	用户话机号码		铃流发送继电器	
	与交换机联接方式	号码	RT	RV
NCF—914A	单独联接或合用线上话机 A	20—21	RT1—RT12	—
	合用线上话机 B	32	RT3	RVO
		33	RT4	
		34—37	RT5—RT8	RV1
		38—41	RT9—RT12	RV2
NCF—924A	单独联接或合用线上话机 A	20—39	RT1—RT20	—
		45—47	RT6—RT8	RV1
	合用线上话机 B	48—51	RT9—RT12	RV2
		52—55	RT13—RT16	RV3
		56—59	RT17—RT20	RV4
NCF—934A	单独联接或合用线上话机 A	20—51	RT1—RT32	—
	合用线上话机 B	67—69	RT18—RT20	RV4
		70—73	RT21—RT24	RV5
		74—77	RT25—RT28	RV6
		78—81	RT29—RT32	RV7

2.5.6.4　NCF—900 型电话系统简要工作过程

NCF—900 型电话系统的工作过程是在中央控制电路的统一指挥下完成的，其功能框图如图 8.3.12—51 所示。

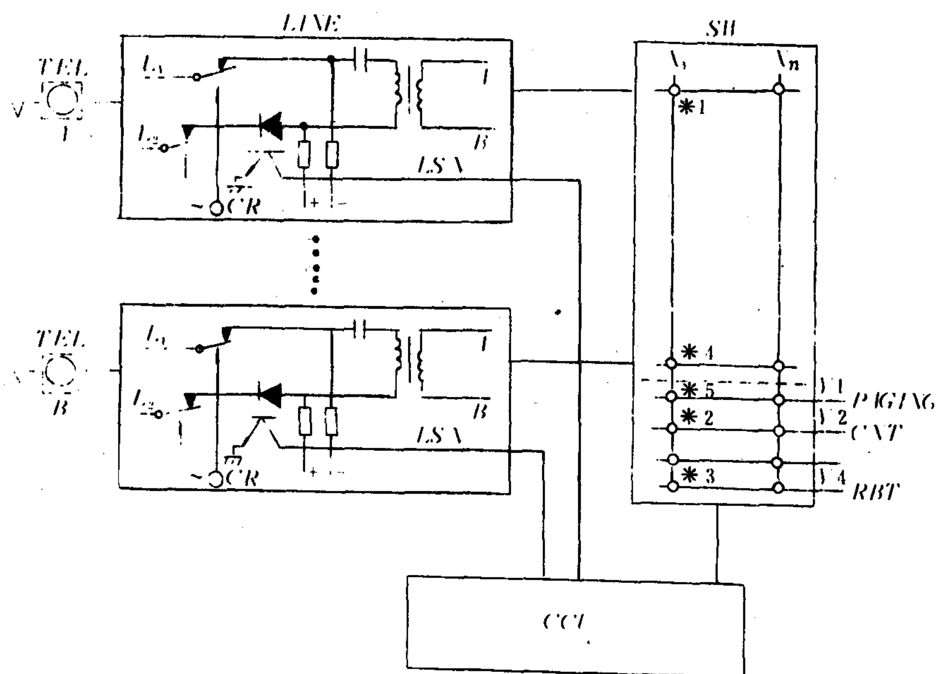


图 8.3.12—51　NCF—900 型自动交换机系统的功能框图

TEL—电话机装置；LZNE—用户电路；SW—开关电路(交换电路)；CCU—中央控制电路；PAGZNG—播叫电路；CNT—拨号音通路；RBT—振铃与回铃音电路；CR—连续振铃信号；LSN—扫描线

1)两电话机正常通话的工作过程

①主叫用户 A 摘机并听到拨号音过程

主叫摘机，在电话机 A 内形成直流通路，从扫描线 LSN 送摘机信号给 CCU 电路，CCU 记存主叫号码，并选择一条空闲的交换电路(X_1—X_n；$n_{max}=8$)，把主叫 A 与拨号音通路 CNT 经过※2 接通，主叫听到拨号音。

② 主叫拨号并接通铃流电路

主叫拨号脉冲也是通过扫描线 LSN 送给 CCU 电路记存。接着 CCU 电路对被叫用户进行测忙，若是空闲，就控制交换电路 SW 继开※2，接通※3，即切继拨号音通路 CNT，接通振铃—回铃音电路 RBT。使铃流继电器 RT(RV)动作，产生呼叫信号。

③被叫摘机形成通话电路

被叫用户 B 摘机，同样形成直流通路，从扫描 LSN 给 CCU 电路送信号，使 CCU 控制交换电路 SW，继开※3，接通※4，形成了通话电路。

④话毕，双方挂机复原，使交换电路中的※1 和※4 继开，整个系统复原。

2)系统进行播叫时的工作过程(设 A 为主叫)

①主叫话机 A 摘机后按“o”键，脉冲由扫描线送给 CCU 电路记存。

②CCU 电路对播叫(被叫)系统进行测忙，若是闲就切继拨号音通路 CNT(继开※2)，接通※5，使主叫与播叫电路 PAGING 接通。

③主叫 A 广播呼叫结束，把耳机放回原处，交换电路中※1 和※5 继开，系统复原。

2.6 光纤通信

由于光纤传输损耗小，信息传输容量大，抗电磁干扰，体积小重量轻，等效话路费用低，以及传 输数字信号误码小等优点，在通信中得到广泛应用，发展极其迅速。

光纤通信系统自 80 年代问世以来，很快在许多国家被 用于电话公司远程干 线和交换网，后来用于数字环路载波系统。当前开发的最大光纤系统，信息比特率达 1666Mb/s，等 效话路数为 24192 路，中继器距离为 80km。许多国家在采用高速数字电话和电话局与集线器之间的传输线路传送窄带数字业务的基础上，开发端—端视频分配业务和宽带业务。这些成果能提供交换的交互式可视电话，宽带数据，数字高保真和电话业务，这也将为船舶通信带来巨大变革。

今后的通信网络应能提供各种信息业务，如常规电话，多功能电话，电视会议及各种窄带/宽带数传业务，提供一种能灵活而透明地处理从窄带到宽带信号的可变速率数字通路。就中继光纤系统而言，今后的发展趋势是：①为增大中继距离，开发长波长和超长波长光纤，以及开发相干光传输技术；②开发大容量光纤系统 ；③改进系统可靠性。

3 船舶操纵信号设备

3.1 概　　述

船舶操纵信号设备是供船舶驾驶员对船舶进行操纵和指挥的重要装置。通过这些设备下达各种操纵命令，了解命令的执行情况和各种航行机械装置的运行情况。

船舶操纵信号设备主要包括电气传令钟，舵角指示器和船用电动转速表等。

3.2 电气传令钟

电气传令钟又称电车钟或机舱传令钟，是用在驾驶室与机舱集中控制室和机旁操作部位之间，传送改变主机转速和回令的装置。按“规范”要求：在船上应设置把驾驶室的命令发送至机舱的主机传令钟，主机传令钟应具备复示装置。应于驾驶室内设置主机传令钟的失电声光警报器，失电声光警报器一般应由蓄电池供电。若采用船电时，则不应与传令钟接入同一电源线路上。

船用电气传令钟可分为灯光传令钟，直流电动传令钟和交流电动传令钟三种。

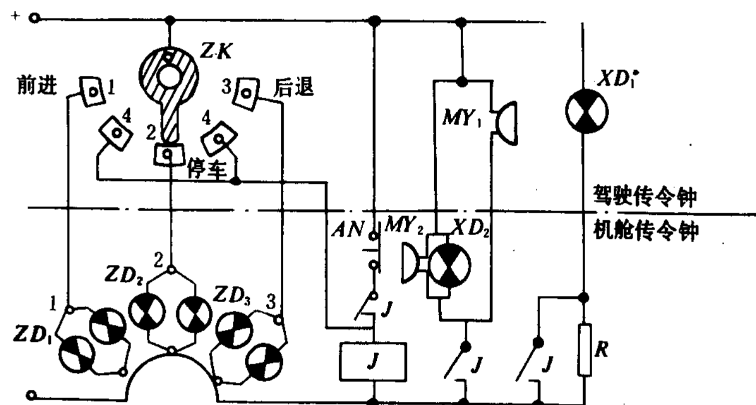
3.2.1 灯光传令钟

灯光传令钟是由发送器和接受器两部分组成。发送器是一组电源开关，用来接通接受器中相应的指示灯。接受器是一组装在彼此隔开，互不透光壳体内的指示灯，壳体的表门面标有主机转速的车令。表 8.3.12—13 列出部分灯光传令钟的型号和规格。

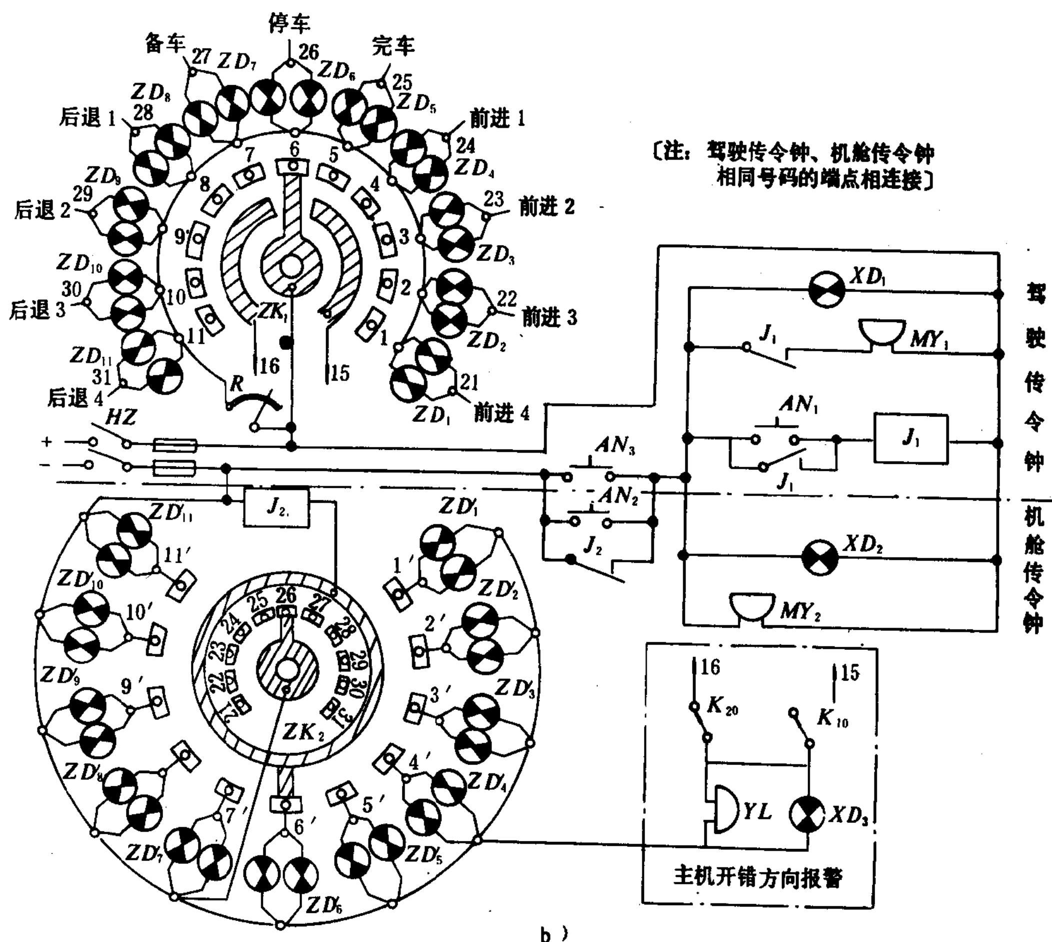
表 8.3.12—13　**灯光传令钟的型号与规格**

序号	类别	型号	名称	电流种类	电压(V)	档数(档)	防护型式	重量(kg)	外形尺寸(长·宽·高)(mm)
1	EG—24Z	EG－24ZJ	驾驶传令钟	直流	24	3	防水式	2	230×76×235
2		EG—24ZC	机舱传令钟				防溅式	6	264×210×148
3	EG15－24Z	EG115—24ZJ	单机驾驶传令钟			11	防水式	16	200×260×900
4		EG215—24ZJ	双机驾驶传令钟						
5		EG115—24ZC	机舱传令钟					8.2	285×140×420
6		YLX—24Z	带信号灯电铃					3.4	
7	EG32—220/110Z	EG132－220/110ZJ	单机驾驶传令钟		200/1110	11	防溅式		390×450×1140
8		EG232—220/110ZJ	双机驾驶传令钟						
9		EG132—220/110ZJ	机舱传令钟					16	485×220×450
10		YLX—220/110Z	带信号灯电铃				防水式	3.4	
11	EG32—220/110J	EG132－220/110JJ	单机驾驶传令钟	交流	220/110	11	防溅式		390×450×1140
12		EG232—220/110JJ	双机驾驶传令钟						
13		EG132—220/110JC	机舱传令钟					16	485×220×450
14		YLX—220/110J	带信号灯电铃				防水式	3.3	

图 8.3.12—52 为各种类别的灯光传令钟的原理电路图。


ZK
前进
1
3
后退
4
2
4
停车
MY₁
XD₁
驾驶传令钟
机舱传令钟
AN
MY₂
XD₂
2
ZD₂
ZD₃
1
3
ZD₁
J
J
J
J
R

a)


停车
备车
完车
后退 1
后退 2
后退 3
后退 4
前进 1
前进 2
前进 3
前进 4
〔注：驾驶传令钟、机舱传令钟相同号码的端点相连接〕
XD₁
MY₁
AN₁
J₁
AN₃
AN₂
J₂
XD₂
MY₂
驾驶传令钟
机舱传令钟
HZ
R
ZK₁
ZK₂
16
15
K₂₀
K₁₀
YL
XD₃
主机开错方向报警

b)

图 8.3.12—52

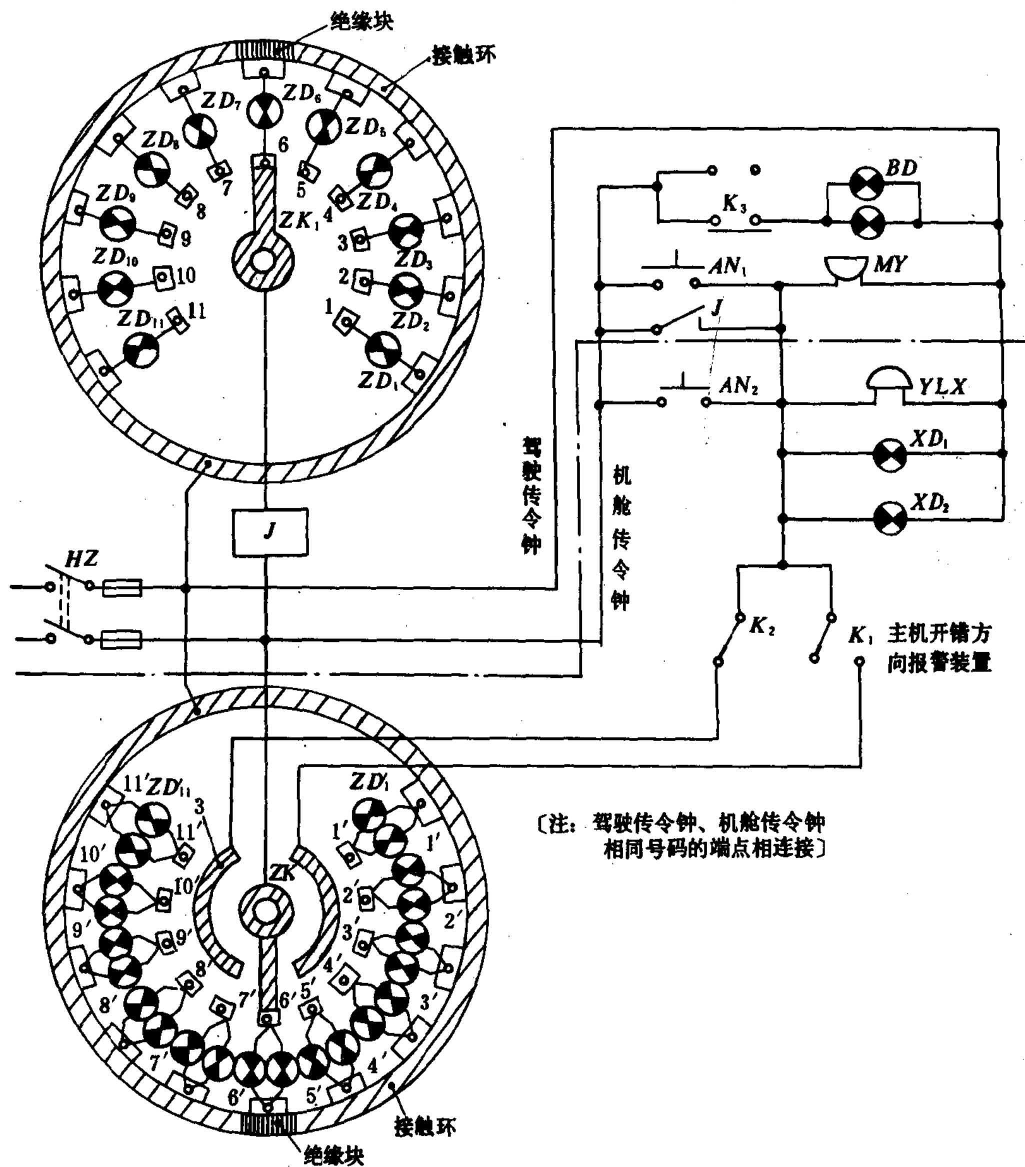


图 8.3.12—52 灯光传令钟电路原理图

a)EG－24Z 型灯光传令钟电路原理图；b)EG115－24Z 型灯光传令钟电路原理图；c)EG－32 型灯光传令钟电路原理图

ZK－车令转换开关；ZD－车令指示灯；AN－回令按钮；XD－信车灯；MY－蜂鸣器；J－继电器；R－调光电阻；K－微动开关；YL－电铃；HZ－电源开关

[注]：驾驶传令钟与机舱传令钟相同号码的端点、相互联接

EG—24Z 型灯光传令钟只有前进、停车、后退三档，可用在具有 24V 直流电源的小船上作为应急车钟。

EG15－24z 型和 EG－32 型灯光传令钟都是 11 档，除“停车”，“完车”，“备车”三档外，前进与后退各 4 档。EG15—24Z 型 用在有直流 24V 电源的中、小刑船舶的主传令钟或大型船舶的应急传令钟。EG－32 型 用在大型船舶的主传令钟。

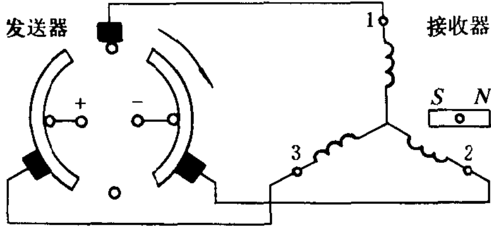


图 8.3.12—53　直流同步传动原理图

3.2.2　直流电动传令钟

直流电动传令钟是利用直流同步传送原理。发送器是由两个弧形接触环和三个互成 120°的电刷组成，直流电源加在两接触环上。接收器是永磁式自整角机，三相定子绕组分别与发送器的三个电刷联接，见图 8.3.12—53。它们的传动原理见表 8.3.12—14 。

表 8.3.12—14　**直流同步传动原理表**

电刷转动角度		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
接收器定子三相绕组输入端极性	1	无	—	—	—	—	—	无
	2	+	+	+	+	无	—	—
	3	—	—	无	+	+	+	+
接收器转子角度								

常用直流电动传令钟的型 号、规格见表 8.3.12—15 所示。

表 8.3.12—15　**常用直流传令钟型号、规格**

序号	型　号	名　称	电压 (V)	电流 (A)	功率 (W)	档数 (档)	内部照明	继电指示器	防护形式	重量 (kg)	外 型 尺 寸 (长·宽·高)(mm)
1	ED1—24ZJ	驾驶传令钟	24	0.9	32	9	有	无	防水式	6.3	348×136×352
	ED1—24ZC	机舱传令钟		1.5	36					9.0	292×171×381
2	ED11—ZF	驾驶传令钟	110			11		有		10.5	212×206×362
	ED11—ZS	机舱传令钟					无			10.6	212×200×362
3	ED12—ZF	驾驶传令钟	220			12					212×206×362
	ED12—ZS	机舱传令钟									212×200×362

直流电动传令钟的电路原理图见图 8.3.12—54。

它是由 ED1—24ZJ 和 ED1—24ZC 组成。机舱传令钟 ED1—24ZC 中的铃路装置 MD 是由内铜环，电刷 7 和 8 组成。内铜环上镶有一块胶木，由本身的接收器带动，电刷 7,8 由本身的发送器带动。

3.2.3　交流电动传令钟

交流电动传令钟是由两对自整角机组成的双向同步传动系统。目前获得最为广泛的应用，它的型 号与规格见表 8.3.12—16。ED13 型的档数都是 13 档，除停车、备车、完车 3 档外，余下

10 档是“前进”和“后退”各 5 档。其电路联接见图 8.3.12—55。它由驾驶传令钟 ED13—JF、机舱传令钟 ED13—JS 通过接线装置联接成交流车钟系统。此系统多用在中、大型船舶中用为主传令钟用。

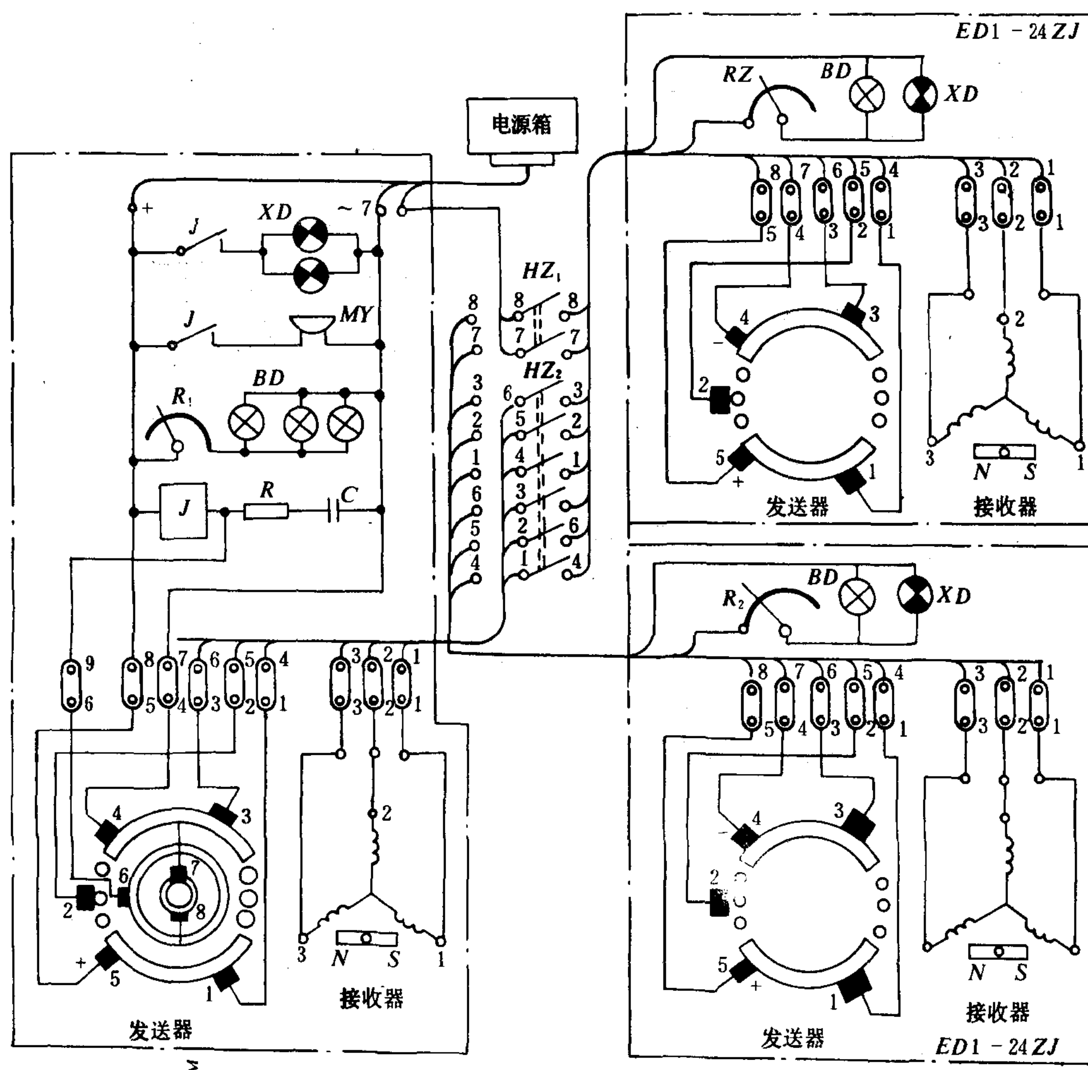


图 8.3.12—54　直流电动传令钟电路原理图

XD—信号灯；BD—白色照明灯；$R_{1,2}$—减光电阻；HZ_1—电源转换开关；HZ_2—驾驶台左、右车钟转换开关；MD—铃路接触装置；MY—蜂鸣器；J—继电器

表 8.3.12—16　**常用交流电动传令钟型号、规格**

序号	型号	名称	自整角机型号		蜂鸣器型号	电压(V)	内部照明	继电指示	防护型式	重量(kg)	外型尺寸(长·宽·高)(mm)
			发送器	接收器							
1	ED13—JF	驾驶传令钟	DN—500	BS—500	YMD—127J	127	有	有	防水式	95	480×460×1200
	ED13—JS	机舱传令钟			YZM—127J		无			9.6	274×210×574
2	ED13—JF2	驾驶传令钟	ND—501	BS—501	YMD—110J	110	有			95	480×460×1200
	ED13—JS2	机舱传令钟			YZM—110J		无			9.6	274×210×574
3	ED13—JF3	驾驶传令钟	ND—404A	SB—404A	YMD—220J	220	有				480×460×1200
	ED13—JS3	机舱传令钟			YZM—220J		无				274×210×574

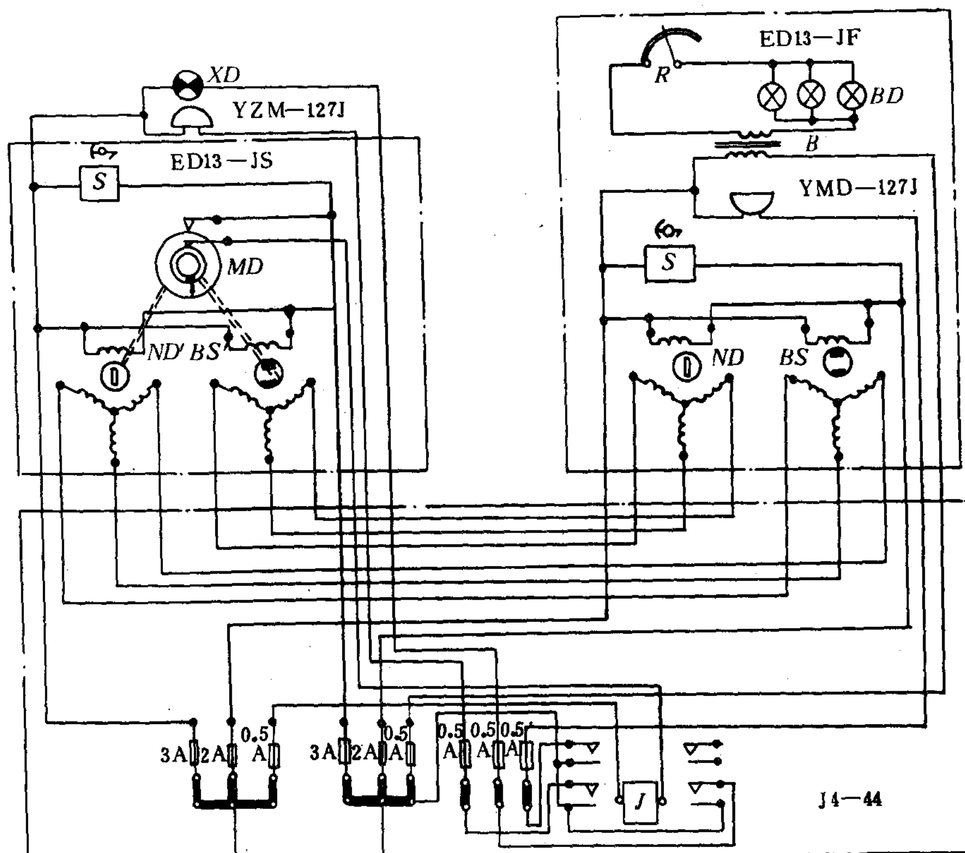


图 8.3.12—55 ED13—J 型交流电动传令钟联接原理图

ED13—JF—驾驶传令钟；ED13—JS—机舱传令钟；J4—44—接线箱；ND，ND'—车令发送器；BS，BS'—车令接收器；S—继电指示器；J—继电器；R—调光电阻；BD—照明灯；XD—信号灯；MD—铃路接触装置；YMD—127J—蜂鸣器；YZM—127J—警钟；

3.2.4 车钟自动记录仪

为了船舶航行安全，对船舶中每次车令和回令都要准确无误地记录。记录的内容包括车令、回令，螺旋桨转速 和对应的年、月、日、时、分等。对于无人机舱的船舶，省去回令的记录。车钟自动记录仪就是代替值班人员，自动记录上述内容 的一种自动 装置。目前常用的车钟自动记录仪是电子数字式，其原理框图见图 8.3.12—56。各种车令对应的符号见表 8.3.12—17。从图中看出：系统对指令信号和时间信号是分别进行译码后，送给编码电路（包括模数转换）转换 为二进制数码。然后在控制打印电路的控制下，把需要打印的车令编 码送给比较电路，与打印顺序编 码电路送来的信号进行比较，如果相同，送出指令代码和时间代码给驱动打印电磁铁电路，打印出相应的字符。

指令发信回路，通常是用按钮开关或主令控制器，共可发出 17 种车令信号，见表 8.3.12—17；译码电路是由与非门组成的逻辑电路，把 17 种车令译成 21 种信号送给编码电路，同时送出“A”、“T”、“E”、“U”代码，启动控制打印的电路；编码电路是由字符寄存器和编码器两部分组成，其中寄存器是由触发器、与门电路构成，用以寄存操纵指令和时间指令，编码器

是由数组与非电路组成，把译码后的操纵信号，时间信号编制 8421 数码；比较电路是由与非门电路、整形电路，驱动电路等组成；打印控制电路是本系统 的控制中枢，它能使 各部分按次序，协调地工作；打印机是本系统的执行机构，一般多用窄行打印机，如 CYD—103 型窄行打印机等。

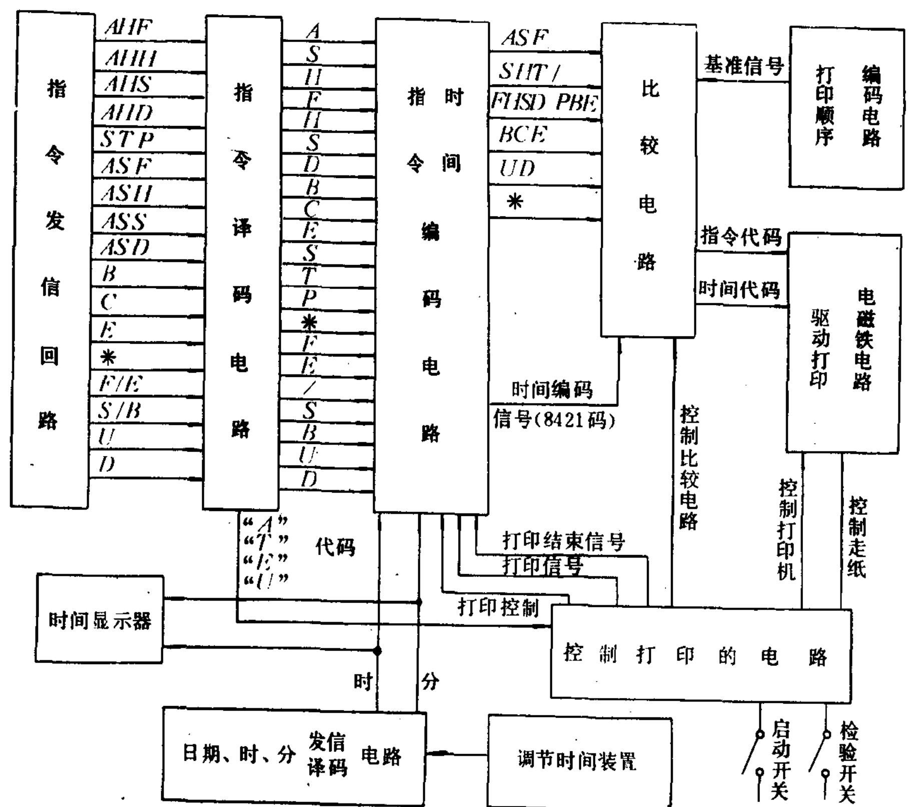


图 8.3.12—56 电子数字式车钟自动记录仪原理框图

表 8.3.12—17 各种车令符号表

车令	正车全速	正车半速	正车慢速	正车微速	停车	备车	倒车全速	倒车半速	倒车慢速	倒车微速	完成	机舱同令	驾驶台操纵	机控室操纵	机旁操纵	手操程序加速	手操程序减速
符号	AHF	AHH	AHS	AHD	STP	S/B	ASF	ASH	ASS	ASD	F/E	※	B	C	E	U	D

3.3 舵角指示器

舵角指示器是用来检测舵叶相对于船舶首尾线的转向和转角的设备，其原理与电动传令钟相同。但是，传令钟的发送器是由手柄操纵，舵角指示器的发送器是通过机械传动由舵杆驱动。常用的舵角指示器见表 8.3.12—18。

图 8.3.12—57 为 ODA—JF 和 ODA—JS 舵角指示发送器和接收器联接成的舵角指示系统。它是通过带有热保护装置 EJ 的接线箱相互联接。在工作中若电流太大，热保护装置 EJ 动作，其 4 对常 闭触点打开，切断自整角机三相绕组之间的电路。同时还切断断电指示器 S 线圈的电路，使吊牌落下，告知有故障。

表 8.3.12—18 **舵角指示器的型号与规格**

序号	型号	名称	电流种类	电压(V)	指示范围(°)	误差(°)	内部照明	断电指示	自整角机型号	防护型式	重量(kg)	备注
1	ODA—JF	舵角发送器	交流	127	45—0—45	$\pm\frac{1}{2}$	无	无	DN—500	防水式	8.0	可带10个接收器
2	ODA—JF2			110					ND—501		8.0	
3	ODA—JS	舵角发接收器		127	40—0—40		有	有	BS—500		8.2	
4	ODA—JS2			110								
5	ODA—JS3			110/127			无					
6	ODB—JF	舵角发送器		220				无	ND—501A			
7	ODB—JS	垂直舵接收器					有	有	BS—404A			
8	ODB—JS2	首水平舵接收器										
9	ODB—JS3	尾水平舵接收器										
10	ODC—JF	螺距发送器		110			无	无	DN—500			
11	ODC—JS	双指针舵角接收器					有	有				
12	ODC—JS2											
13	ODC—JS3	螺距接收器							DSB—500			
14	ODM—JS	舵角接收器		220					BS—500A	潜水式		
15	ODN—ZS		直流	110					SP—401			
16	ODM—ZS2			220								
17	OD—ZF	舵角发送器		110			无	无	DKN—184	防水式		
18	OD—ZF2								DKN—284			
19	OD—ZS	垂直舵接收器					有	有	SP—401			
20	OD—ZS2	首水平舵接收器										
21	OD—ZS3	尾水平舵接收器										

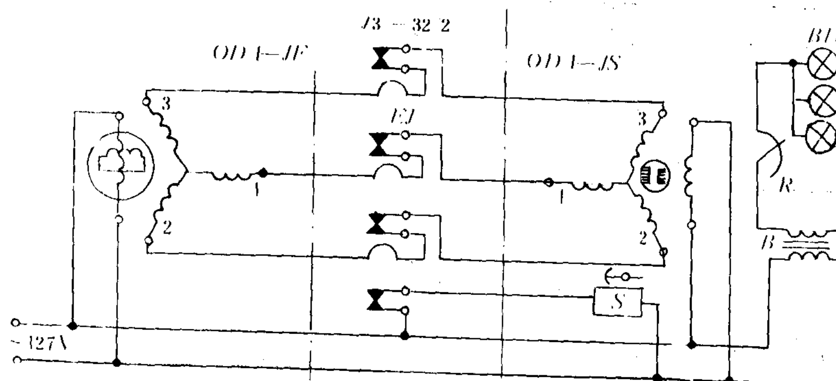


图 8.3.12—57 舵角指示器系统电路图

ODA—JF—舵角发送器；ODA—JS—舵角接收器；JS—32/2—接线箱；BD—照明灯；R—调光电阻；B—变压器；S—断电指示器(吊牌式)

3.4 电动转速表

电动转速表是供驾驶员、轮机员随 时了解主机转速和船舶实际航行速度。通常在驾 驶室、机控室、机旁操作部位、海图室、船 长室、轮机长室等处都安装电动转速表。

电动转速表作为远距离测量主机推进轴转速的仪器，是由发送器、指示器、链轮和链条等组成。如图8.3.12—58所示。发送器和指示器的型 号和规格，分别见表 8.3.12—19 和表 8.3.12—20。

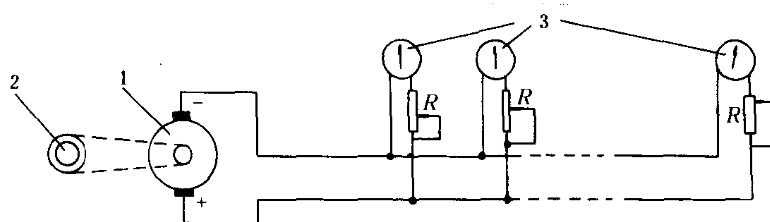


图 8.3.12—58　电动转速表原理系统图
1—发送器（直流恒磁测速发电机）；2—主推进轴；
3—指示器（磁电式电压表）；R—校正电阻

表 8.3.12—19　**电动转速表发送器型号与规格**

序号	型　号	电压（V）	电流（A）	功率（W）	转速（r/min）	负载电阻（Ω）	带指示器个数（个）	防护型式	重量（kg）	备　注
1	ZYSH—44/55	55	0.08	4.4	1900	700	8	封闭式	13	配 ZZ2 和 ZZ1 指示器
2	ZCFY－12						10	防水式	8.5	配 ZZ3 指示器

表 8.3.12—20　**电动转速表指示器型号与规格**

序号	型　号	电压（V）	电流（A）	测　速　范　围（r/min）		误差（%）	防护形式	内部照明	重量（kg）
1	ZZ1－1	55	0.006	100—0—100	700—0—700	±1	防水式	有	8
2	ZZ1－2			150—0—150	800—0—800			无	7
3	ZZ2－1		0.005	250—0—250	900—0—900			有	
4	ZZ2－2			350—0—350	1000—0—1000			无	
5	ZZ2－3			450—0—450	0—1400	±1.5	防溅式		3
6	ZZ3－1		0.0035	550—0—550		±1	防水式	有	6.5
7	ZZ3－2			600—0—600				无	

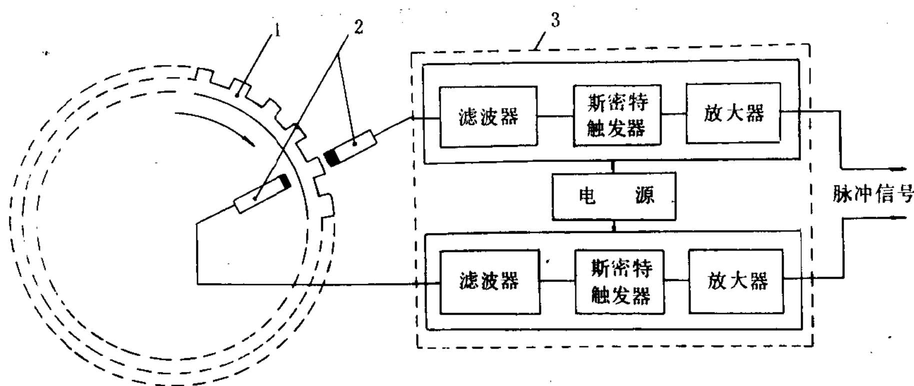


图 8.3.12—59　数字式转速(或位置)发送装置

1—飞轮;2—GF—1 型电磁传感器(两个);3—GFA—1 型信号转换 器

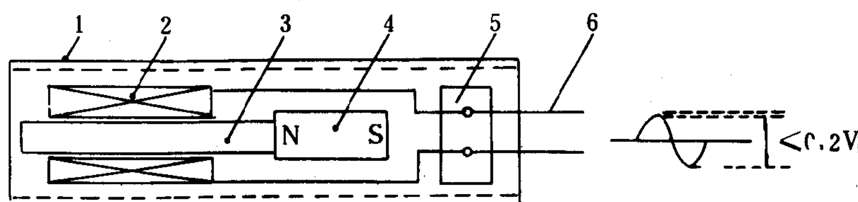


图 8.3.12—60　GF—1 型电磁传感器结构示意图

1—封闭盒;2—线圈;3—铁芯;4—永久磁铁;5—接 线板;6—引出线

近来,数字式转速(或位置)发送装置获得广泛应用,图 8.3.12—59 是这种发送装置的一种形式。飞轮是与要测速的转轴联接,随轴同步旋转,使电磁传感器 GF—1 的磁路磁阻不继交变,在其线圈(见图 8.3.12—60) 上产生交变信号,这个信号经过信号转换器 GFH—1 型 的滤波—整形—放大,形成 0.2～8 V 的方波脉冲信号,供计数装置计数,并显示出该转轴的转速值。

电磁传感器 GF－1 和信号转换器 GFA－1 的技术参数见表 8.3.12—21。

表 8.3.12—21　**GF—1 和 GFA—1 的技术参数**

名称	型号	电　源	技　术　性　能	环境条件		重量 (kg)	外型尺寸 (mm)
				温度	相对湿度		
电磁传感器	GF—1	无电源	探头与飞轮距离 0.5mm,当飞轮转速为 1m/s 时,输出信号为 0.2V(P·P)	+10℃ ～ +60℃	95%	0.9	直径×长度 M20×65
信号转换器	GFA—1	电压 24V 电流 ～0.08A (直流)	输入信号:0.1V(P·P) 输出信号:(相对电源负端) 0.2～8V 耐压≤400V				长×宽×高 90× 120×163

4　船舶航行信号设备

船舶在夜间航行需要表明本船的位置、状态、类型、有无拖船等,必需依照《海船信号设备规范》,配置各种航 行灯。

船舶在发生火灾需要立即援助灭火,需要交通船等状态;或表明船舶失去控制;载有爆炸、

易燃危险货物等；或表示船舶经狭水道、转弯等动向，需要配置各种信号灯。

船舶在雾天航行，避免碰撞，必需装设自动雾号汽笛。

上述三种航行信号设备，都 是保证船舶安全航行的重要信号设备。

4.1 航 行 灯

航行灯是船舶照明系统中的一个独立部分，是保证船舶夜间安全航行的重要信号设备之一，必需严格遵守国家有关规定配置与维护。

4.1.1 航行灯种类与配置

根据我国《海船信号设备规范》规定：一切海船，不论其航 区及用途，在信号号具配备方面，按照 总吨位（机动船以40登记吨，非机动船以20登记吨为界）分为两大类，第一类船 舶用的航行灯为“甲种灯”，第二类船舶用的航行灯为“乙种灯。”目前我国海洋运输船舶均属于第一类，其航行灯配置见图 8.3.12—61 和表 8.3.12—22。

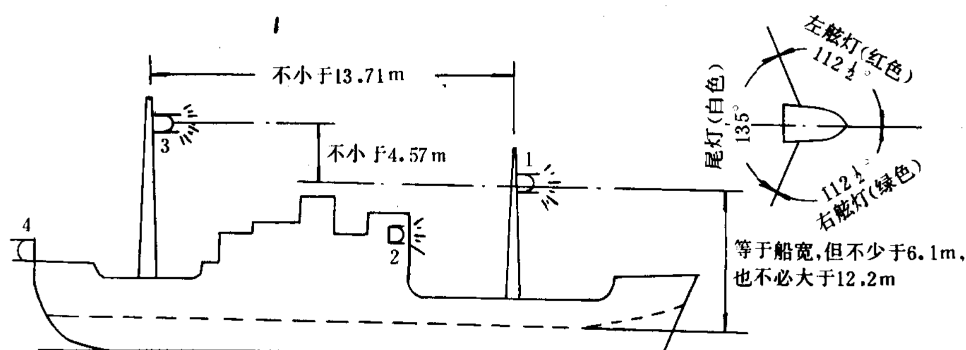


图 8.3.12—61 船长为 20M 及 20M 以上机动船航行灯配置图

1—前桅灯（白色）；2—左、右舷灯（左红、右绿。弧光各 $112\frac{1}{2}$°）；3—后桅灯（白色）；4—尾灯（白色，弧光 135°）

表 8.3.12—22 **第一类船舶航行灯配置表**

<table>
<tr><th rowspan="2">序号</th><th rowspan="2">船 类</th><th colspan="11">灯 种</th></tr>
<tr><th>桅灯</th><th>右舷灯</th><th>左舷灯</th><th>尾灯</th><th>拖船灯</th><th>白色环照灯</th><th>白色引水灯</th><th>闪光灯</th><th>红色引水灯</th><th>白色灯</th><th>三色灯</th></tr>
<tr><td>1</td><td>机动船</td><td>2/1</td><td rowspan="10">1</td><td rowspan="10">1</td><td rowspan="10">1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>2</td><td>拖船</td><td>1</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>3</td><td>电缆船及测量船</td><td rowspan="4">2/1</td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>4</td><td>机动引水船</td><td></td><td></td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>5</td><td>渔捞船</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>2,3</td><td></td></tr>
<tr><td>6</td><td>拖捞船</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>1</td></tr>
<tr><td>7</td><td>非机动船、驳船</td><td rowspan="4"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>8</td><td>非机动帆船</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>9</td><td>非机动引水船</td><td></td><td></td><td>1</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>10</td><td>渔帆船</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>2</td><td></td></tr>
</table>

注：1 分数中：分子为船长大于 45.75m 者，配置前后桅灯各一只；分母表示船 长等于及小于 45.75 者，只须配置桅灯一只。

2 两个数字：前一数字为渔捞船的网或绳伸出船外不超过 153m 者应备白色灯 2 只；后一数字为伸出船 外超过 153m 者应备白色灯 3 只。

各种航行灯的性能和所选用的型号见表 8.3.12—23。

表 8.3.12—23　　**航行灯的种类、型号及要求**

名称	灯的型号（电压为 220V）	灯光颜色	可见距离（n mile）		在水平面上灯的可见角度			备注
			甲种灯	乙种灯	方位点	总角度	可见角度分布	
右弦灯	DH1—1;CXH1—1	绿	2	1	10	$112\frac{1}{2}$	自船首起至正横后 $22\frac{1}{2}$°	
左弦灯	DH2—1;CXH2—1	红						
前后桅杆	DH3—1; CXH3—1	白	5	3	20	225°	自船首起至每弦各 $112\frac{1}{2}$	
拖船灯		绿						
尾灯	DH4—1;CXH4—1	白	2	2	12	135°	在船尾，自纵中剖面二边各 $67\frac{1}{2}$°	
三色灯	DH6—1 CXH6—1	白绿红			20	225°	白光从船首笔直正中分射各边 221/2°;右弦绿的部分为 90°;左弦红的部分为 90°	
双色灯	DH7—3 CXH7—3	红 绿	1	1			自船首起至每弦各 $112\frac{1}{2}$°,左红右绿	小船上用以代替左右弦灯
白色环照灯	固定式： DH5—1;DC6; CXH5—1;CCD6; 可携式： DH9—1CXH9—1	白	2		32	360°	环照,四面可见	
引水灯		红、白	3	3				
小船号灯		白	1	1				
渔船用灯			2	2				
固定式锚灯	CXH8—1,2 DH8—1	红白	3			360°	环照,四面可见	

4.1.2 航行灯的控制

《规范》对航行灯供电及控制的要求：

1)航行灯控制箱应由两路馈电线供电，其中一路应自主配电板或应急配电板(若需 由应急电源供电时) 设独立馈电线供电，而另一路可以从附近的照明分配电板设独立分路供电，两路馈电线的转换开关需设在控制箱上或驾驶室内的适当处所。

每只航行灯均应由航 行灯控制 箱引出的独立分路供电，而且必须在这些分路的每个绝缘板上用安装在该控制箱内的开关和熔断器或自动开关来进行控制和保护。

2)当航行灯配电屏位于船中部的舱室内时，船中部的副配电板若是由主配电板以两 路电缆供电，且每一路电缆均能承担满负载者，则它可以被看作为主配电板的延伸。

3)必须设置在每一航 行灯发生故障时能发出声响和视觉信号的自动指示器。如果采用与航行灯串联连接的灯光信号，应该有防止由于信号灯故障而导致航行灯熄灭的措施(本条要求不适用于小船)。

4.1.2.1 继电器式的航行灯控制器

一般船舶可采用 K 系列继电器式的航行灯控制器，它是防水式，外壳采用铝合金材料制造，能在电源电压变化为额定值＋10～—15％，交流频率变化为额值的 15％时可靠地工作。控

制器采用球面指示器，控制电源能在两路供电电源中选择，并能任意接通，切断每灯中的任一灯丝，每灯的回路内有指示接通，切断及故障报警等装置。

K 系列航行灯控制器规格见表 8.3.12—24。

表 8.3.12—24　　**K 系列航行灯控制器型号和规格**

<table>
<tr><th rowspan="2">序号</th><th rowspan="2">型　　号</th><th rowspan="2">电压（V）</th><th rowspan="2">电流种类</th><th rowspan="2">防护形式</th><th colspan="2">航　行　信　号　灯</th><th rowspan="2">重量（kg）</th></tr>
<tr><th>路数</th><th>特　　征</th></tr>
<tr><td>1</td><td>K3—110Z</td><td>110</td><td rowspan="2">直流</td><td rowspan="22">防水式</td><td rowspan="8">3</td><td rowspan="4">单丝单泡 60W3 只</td><td rowspan="8">13.5</td></tr>
<tr><td>2</td><td>K3—220Z</td><td>220</td></tr>
<tr><td>3</td><td>K3—110J</td><td>110</td><td rowspan="2">交流</td></tr>
<tr><td>4</td><td>K3—220J</td><td>220</td></tr>
<tr><td>5</td><td>K3—110ZG</td><td>110</td><td rowspan="2">直流</td><td rowspan="4">2 级调节，单丝双炮 25W3 只</td></tr>
<tr><td>6</td><td>K3—220ZG</td><td>220</td></tr>
<tr><td>7</td><td>K3—110JG</td><td>110</td><td rowspan="2">交流</td></tr>
<tr><td>8</td><td>K3—220JG</td><td>220</td></tr>
<tr><td>9</td><td>K5—24ZG</td><td>24</td><td rowspan="4">直流</td><td rowspan="2">5</td><td rowspan="2">单丝单泡 40W 4 只，1 级调节，单丝单泡 25W1 只</td><td rowspan="2">9</td></tr>
<tr><td>10</td><td>K5—110ZG</td><td>110</td></tr>
<tr><td>11</td><td>K7—110Z</td><td>110</td><td rowspan="8">7</td><td rowspan="4">双丝单泡 60W6 只，单丝双泡 25W 并联一只</td><td rowspan="8">16</td></tr>
<tr><td>12</td><td>K7—220Z</td><td>220</td></tr>
<tr><td>13</td><td>K7—110J</td><td>110</td><td rowspan="2">交流</td></tr>
<tr><td>14</td><td>K7—220Z</td><td>220</td></tr>
<tr><td>15</td><td>K7—110ZG</td><td>110</td><td rowspan="2">直流</td><td rowspan="4">双丝单泡 60W5 只，2 级调节，单丝双泡 25W 并联 2 只</td></tr>
<tr><td>16</td><td>K7—220ZG</td><td>220</td></tr>
<tr><td>17</td><td>K7—110JG</td><td>110</td><td rowspan="2">交流</td></tr>
<tr><td>18</td><td>K7—220JG</td><td>220</td></tr>
<tr><td>19</td><td>K10—110Z</td><td>110</td><td rowspan="2">直流</td><td rowspan="4">10</td><td rowspan="4">双丝单泡 60W6 只，单丝双泡 60W 并联 1 只，单丝双泡 60W 串联 2 只 单丝单泡 25W1 只</td><td rowspan="4">20</td></tr>
<tr><td>20</td><td>K10—220 Z</td><td>220</td></tr>
<tr><td>21</td><td>K10—110J</td><td>110</td><td rowspan="2">交流</td></tr>
<tr><td>22</td><td>K10—220 J</td><td>220</td></tr>
</table>

K 系列航行灯控制器电路原理见图 8.3.12—62（以 K7 为例）。从图中看出，前 6 路是用双丝单泡 60W，第七路是用单丝双泡 25W 并联 1 只。

4.1.2.2　晶闸管航行灯控制器

目前半导体式的航行灯获得广泛应用，因为它具有结构简单 、无触点，耐冲击、耐振动，体积小。重量轻等优点，其电路原理见图 8.3.12—63。

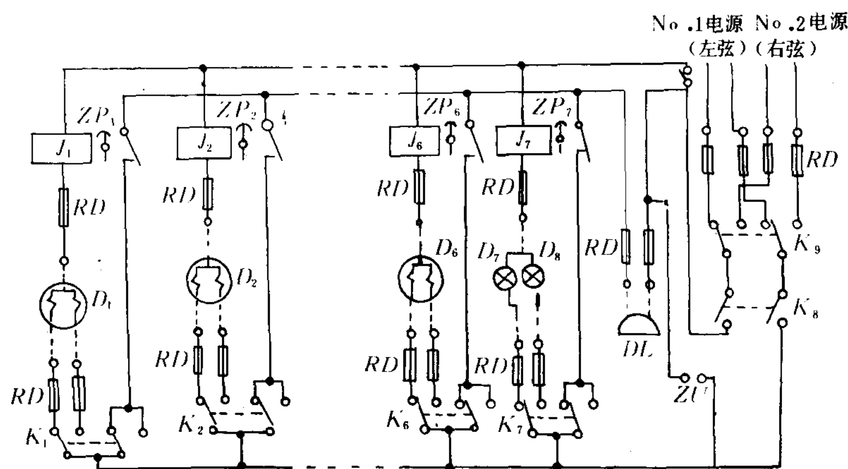


图 8.3.12—62 K7 型航行灯控制器电路原理图

K_{1-7}—灯丝转换开关；K_8—电源开关；K_9—电源转换开关；J_{1-7}—电流继电器；ZP_{1-7}—球面指示器；D_{1-8}—航行灯泡；ZU—测量—绝缘的试验插座；DL—灯丝烧断告警电铃；RD—保险丝

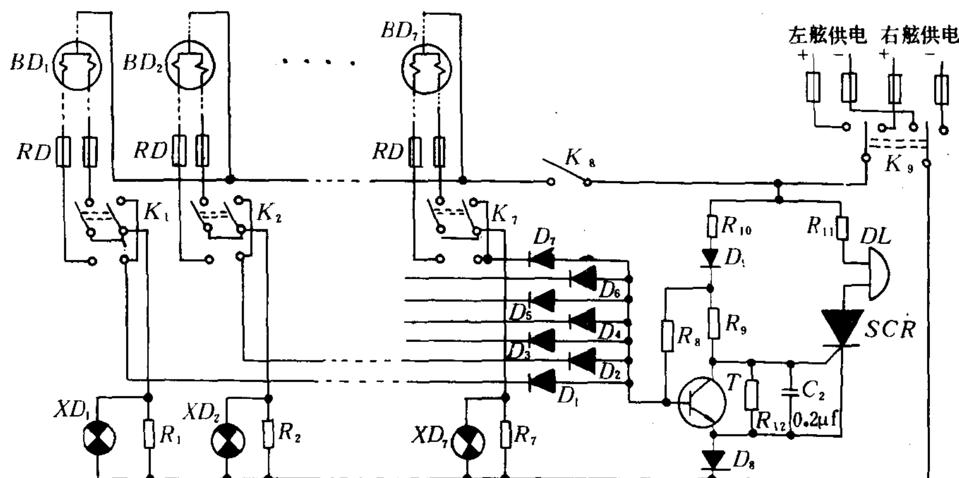


图 8.3.12—63 晶闸管航行灯控制器电路原理图

K_{1-7}—灯丝转换开关；K_8—电源开关；K_9—电源转换开关；D_{1-7}—二极管(2AP10)；D_8—二极管(2AP16)；D_9—二极管(2AP14) T—三极管(3DG6)；SCR—晶闸管(3CTIKE)；BD_{1-7}—航行灯；XD_{1-7}—指示灯；R_{1-7}—电阻(4W7.5Ω 配 60W 灯炮；18W 配 25W 灯泡)；R_8—电阻(18KΩ)；$R_{9,10}$—电阻(3.3KΩ)；R_{11}—电阻(5.1KΩ)；R_{12}—电阻(3KΩ)

4.2 信 号 灯

船舶在各种特殊状态下的灯光标志，需要配置各种信号灯。信号灯的控制一般是集中在驾驶室，要求有两 路供电。但锚灯例外，是由附近的照明分电箱供电，且不在驾驶室控制。

4.2.1 远洋船舶信号灯的种类与要求

1)前、后锚灯：分别装于前桅(或首甲板的灯桅)和后桅(或尾甲板的灯桅)上，采用普通的白 色环照灯。长度小于 50m 的船舶，可以在易见处显示一盏白色环照 灯。

2)失控灯：或叫操纵失灵灯。装于雷达桅或信号灯桅上，为两盏红色环照灯，上下垂直，间距不小于 1.83m。要求有应急供电或直接由电池供电。

3)摩斯灯：装于雷达桅或信号灯桅上，4 盏能见度为 6nmile 的白色环照灯。灯的开关键盘

通常装在驾驶室前面墙上两边。

4)通信闪光灯:有手提式和固定式两种。应有应急电源供电。手提式的电源插座应装在驾驶室的两边,以便驾驶室两侧均能发送信号;固定式的白炽灯瓦数大(可达 1000W),装于驾驶室顶上的逻经甲板上,此灯也可作探照灯用。由驾驶员用电键控制。

5)闪光灯:装于雷达桅或信号灯桅上,其闪光频率为每分种 120 次,可供油轮过狭航道或内河轮转弯时使用。

6)雾笛信号灯:装于雷达桅或信号灯桅上的白色环照灯,与雾笛声同时发出光信号,由雾笛控制器控制 。

7)冲车信号灯:装于尾部左右两舷悬吊型 的两只红灯,对于双螺旋桨船舶尤为必要。

8)领港灯:各港口要求不同,所以信号种类多,常在驾驶室顶上安装一信号桅,或将信号灯安装在雷达桅两旁。分两行安装 8 盏或 12 盏,或三行安装 12 盏红绿白等颜色的环照灯。开启的盏数和颜色配置,应根据港口具体情况决定。布置的例子见图 8.3.12—64。

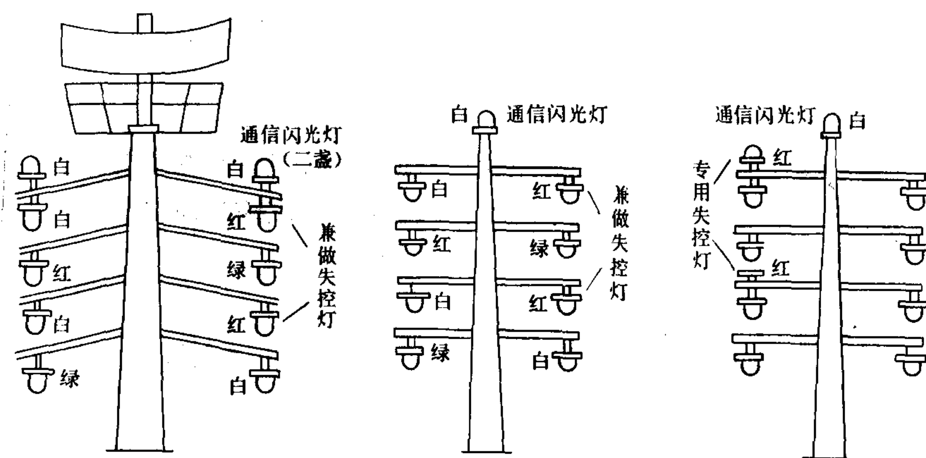


图 8.3.12—64 信号灯布置图

9)苏·伊士运河灯(Suez Canal Light):它包括:

①信号灯(又叫圣诞树灯):装于信号灯桅或雷达桅上的固定型环照灯。包括 4 个红灯,6 个白灯,2 个绿灯。

②船尾灯:装于尾部固定型 的一盏红灯,光弧为 135°。

③探照灯:装于船首一套 2~3kW 白炽灯。

10)基尔运河绿灯(Kial Canal Green Lamp):装于船尾的一盏绿灯,光弧为 135°。

11)巴拿马运河舵机灯(Panama Canal Steering Light):装在前桅后面的固定型绿灯,其开关和亮度调节器都应装在驾驶室内。

12)圣劳伦斯灯(St. Lawrance Seaway Light):船经过加拿大和美国之间一条人工修建的“圣劳伦斯水道”时使用的信号灯。包括:

①导航灯:装于雷达桅或信号桅上的一盏白色环照灯。

②锚灯:4 盏白色环照灯,首甲板,尾甲板各安装两盏。

③甲板灯。

上述各信号灯除已说明瓦数与开关安装地点外,其余都 是 40~60W 的白炽灯泡,开关都安装在驾驶室的信号灯控制箱内。

4.2.2 信号灯的控制

4.2.2.1 信号灯开关箱

图 8.3.12—65 是 FXI—8 型和 FXU—10 型信号灯开关箱电路原理图。前者为 8 路，后者为 10 路，每路中都有指示灯与电阻并联后再与信号灯串联，电阻值根据信号灯功率，电压及指示灯功率进行计算选择。

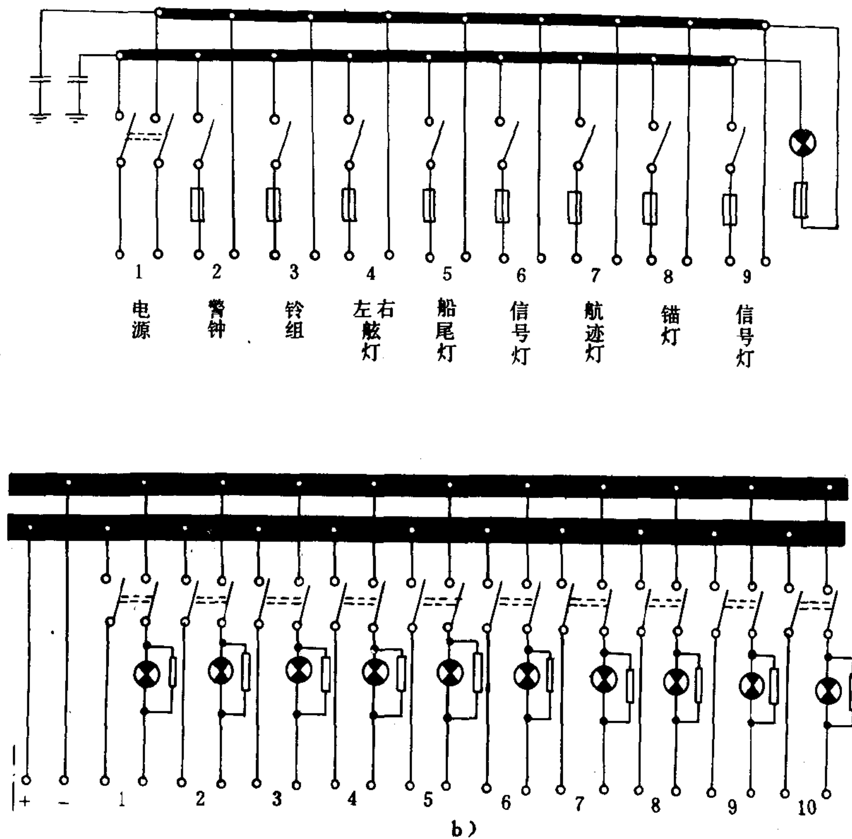


图 8.3.12—65 信号灯开关箱电路原理图

a)FXI—8 型 8 路信号灯开关箱电路图；b)FXU—10 型 10 路信号灯开关箱电路

4.2.2.2 闪光灯的控制

通信用闪光灯的控制是由驾驶员用电键控制。转弯闪光灯控制有继电接触形式和晶闸管无触点控制形式两种。

1)继电接触形式的闪光灯电路

图 8.3.12—66 是 TSGQ 型直流继电器闪光灯原理图和交流继电器闪灯原理图。

2)晶闸管控制的闪光灯电路

图 8.3.12—67 为晶闸管控制的闪光灯电路图。

4.3 自动雾笛控制器

自动雾笛是船舶在雾天航行或锚泊时，自动施放雾号的一种设备。其控制器分有触点和无触点两种类型。

4.3.1 接触式自动雾笛控制器

它由小功率同步电动机(或直流电动机)、继电器、凸轮开关，减速齿轮和控制线路组成。接通电源后，电动机通过减速齿轮带动凸轮开关的凸轮轴旋转，使动、静触点周期性地接通与断

开，控制电磁阀的开闭，让汽笛发出间断的笛声。调节凸轮的位置，可改变声号的长短。时间选择一般有“手动”，“60s”，“120s”三档。图 8.3.12—68 是这种控制器的一种电路原理图。

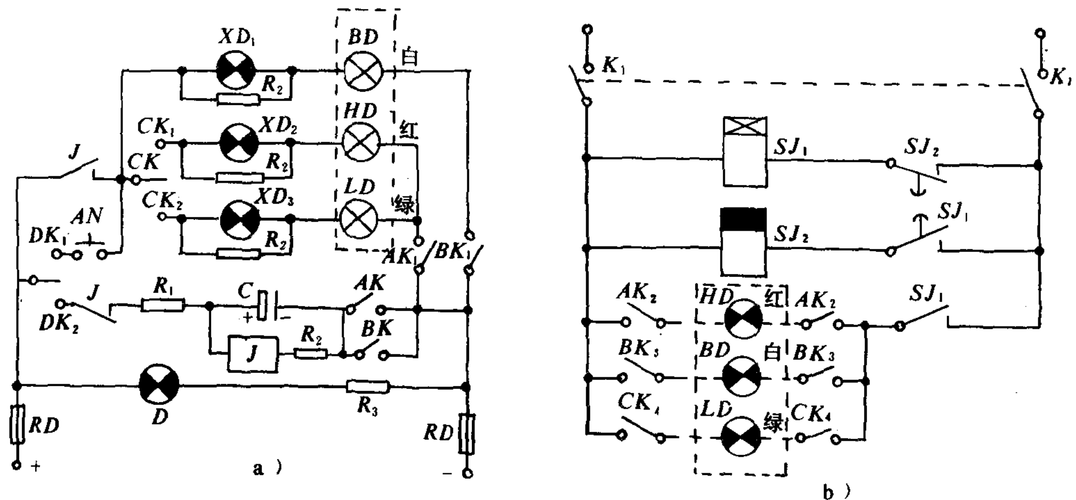


图 8.3.12—66 继电器闪光灯电路原理图

a)FSGQ 型直流继电器闪光灯电路图；b)交流继电器闪光灯电路图

DK_{1-2}—手动/自动转换开关；AK，BK，CK—闪光灯颜色选择开关；HD，BD，LD—分别为红、白、绿信号灯；J，SJ—分别为继电器，时间继电器

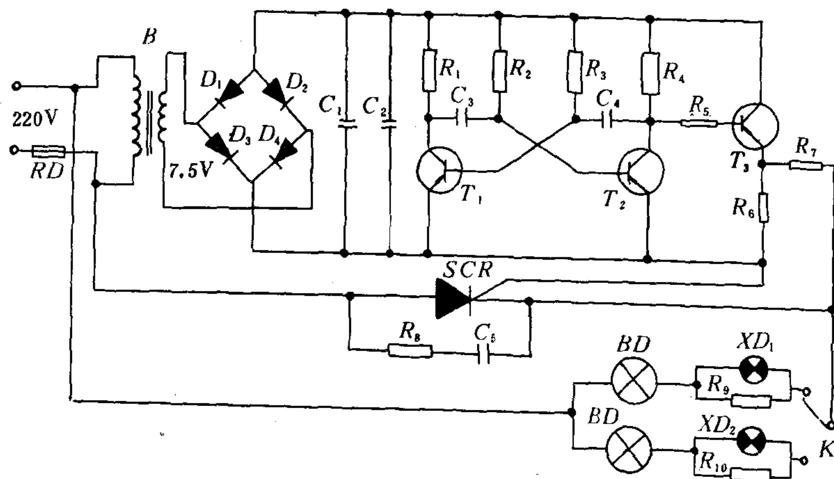


图 8.3.12—67 晶闸管控制的闪光灯电路原理图

SCR—晶闸管(3CT—5/50)；D_{1-4}—整流二极管(2AP23)；T_{1-3}—三极管(3A×31B)；R—电阻[$R_{1,4}$(1.5kΩ)；$R_{2,3}$(10—43kΩ)；R_5(1.3kΩ)；R_6(4.7kΩ)；R_7(约 0.3kΩ)；R_8(39kΩ，4W)；$R_{9,10}$(7.5Ω 配 60W 灯，18Ω 配 25W 灯)]；C—电容[$C_{1,2}$(200μF，15V)；$C_{3,4}$(30μF，10V)；C_5(0.22μF)] B—变压器(220V/7.5V)；BD—白色闪光灯，XD—信号灯；K—转换开关

4.3.2 无触点式自动雾笛控制器

图 8.3.12—69 是 ZND 型无触点式自动雾笛控制器的电路原理图。

控制电路是由尖脉冲发生器 UJT，单稳态电路 DW1 和 DW2 组成。尖脉冲的频率由电容器 C5 的充电时间决定，受开关 K1 控制，可得 60S 和 120S 两种频率。在尖脉冲的作用下，单稳态电路 DW1，DW2 产生各自的脉冲序列。其频率一样，但脉宽分别为：DW_1 是 9S；DW_2 的脉宽

用 K3 转换，可得到 4—6 和 8—12S 两种。主回路是由晶闸管 SCR1—2 和二极管 D16—17 接成桥式的半控整流电路，给汽笛电磁阀 DF_{1-2} 供电。

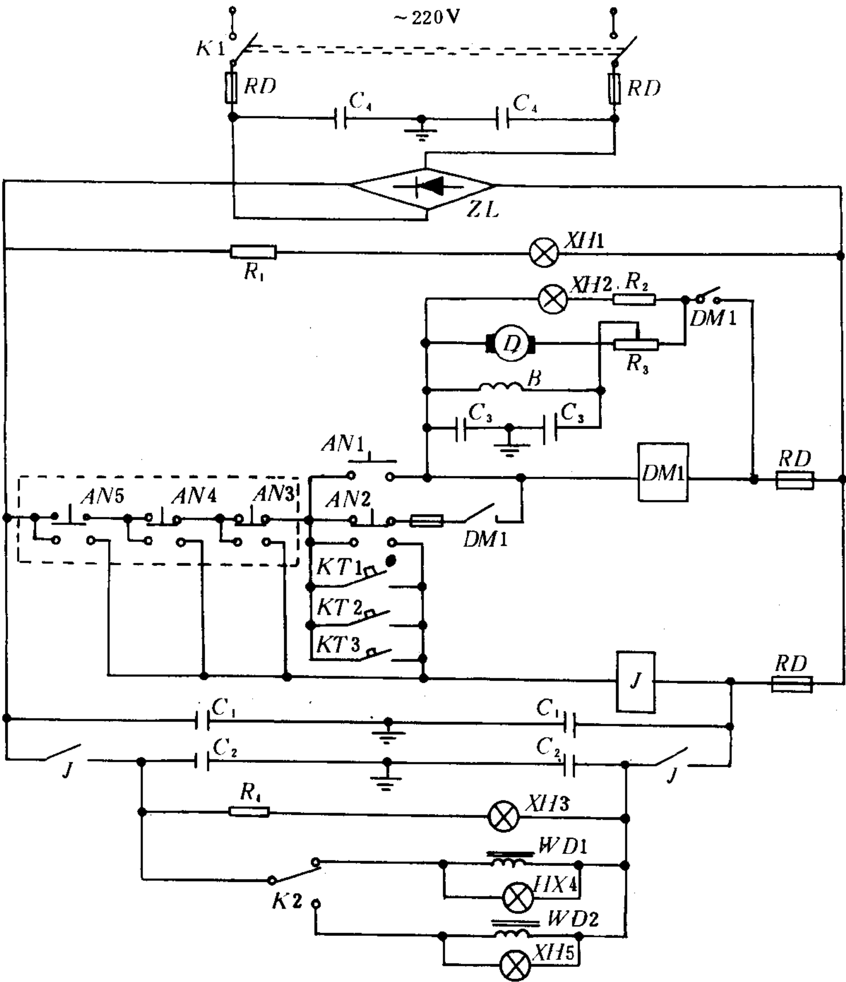


图 8.3.12—68　接触式自动雾笛控制器电路原理图

K_1—电源开关；ZL—桥式整流；XH_1—电源接通指示灯；XH_2—自动状态指示灯；D—拖动凸轮的直流电动机；B—直流电动激磁绕组；DMI—控制电动机的继电器；AN_1—自动起动按钮；AN_2—为手动控制按钮；AN_{3-5}—为遥控时手动控制按钮；KT_{1-3}—为凸轮触点，分别对应 3 声，6 声和 3 个双声的控制；J—控制电磁 阀的中间继电器；XH_{3-5}—电磁阀工作指示灯；K_2—电磁阀选择开关；WD_{1-2}—电磁阀

使用时，若要求施放雾号为连续两声长鸣，把开关 K_2 合上，让 DW_1 起作用。若要求施 放一声雾号，把开关 K_2 打开，DW_1 不起作用。若要改为手动控制，把开关 K_4 打开，此时触发晶闸管的三极管 T_5 的基极直接受按钮 AN 控制。

本系统的供电电源为交流 220V，若交流失电，可由继电器 J 转换，自动接入备用的直流 220V 电源，此时只能是手动控制。

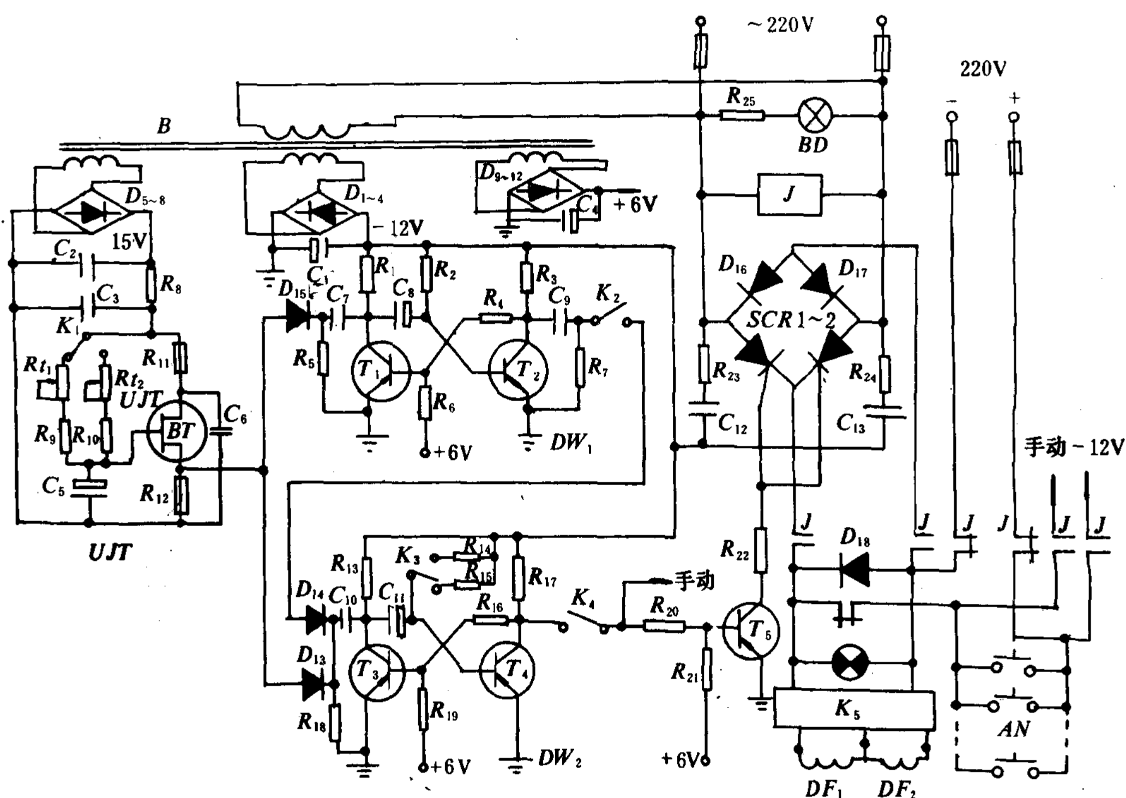


图 8.3.12—69 ZND 型雾笛自动控制器电路原理图

5 船内报警信号系统

船舶自动化程度愈高，要求的报警信号就越多，越复杂。通常可归纳为如下几个方面：

1)紧急动员用警钟和应急状态下的铃组系统。

2)火灾探测和报警装置。

3)主辅机工况的自动监测报警系统。

对报警系统的性能要求：

1) 保证可靠供电，一般由应急电源或蓄电池组供电。

2)不同用途的声响信号应用不同的音色，以利辨别。

3)噪音大的舱室，音响除应足够响外，还应附有灯光信号。在这种情况下，应有消音开关，在值班人员知道报警之后，应能切断声响，而保留灯光信号。

4)各种自动报警系统或装置，应有自检的试验装置 。随 时检验自身装置的功能是否正常。

5.1 警钟和铃组系统

警钟和铃组是船舶在紧急和应急状态下使用的信号装置。它们的原理简单，多属于手动报

警。

5.1.1 警钟

1)用途:船舶发生重大海损事故或发生火灾等紧急情况时,对船员和旅客发布紧急动员和集合的信号,所以通常称之为紧急集合报警装置或紧急动员警钟系统。

2)组成:由警钟、关闭器、警灯、接线盒等组成。

①警钟与警灯:警钟安装的地点和数量,应保证全船凡是人能到的地方都能听清钟声。客船或客货船上,对旅客和对船员应是两个独立的警钟系统。警灯是配合警钟使用,如无线电室为免除音频对通信干扰,不能用警钟,改用警灯;机舱等噪音大的舱室,应同时安装警钟和警灯。船上使用的警钟见表 8.3.12—25。

表 8.3.12—25 **警钟型号、规格表**

序号	名称	型号	电流种类	电压(V)	功率(W)	音响强度(D)	防护形式	重量(kg)
1	直流警钟	24Z YZ—110Z 220Z	直流	24,110,220		92	防水式	2.7
2	交流警钟	24J YZ—110J 220J	交流	24,110,220		82		2.8
3	直流 警钟—蜂鸣器	24Z YZM—110Z 220Z	直流	24,110,220	4.5 11.5 12.5	92	防水式	4.3
	交流 警钟—蜂鸣器	24J YZM—110J 220J	交流	24, 110, 220	4.5 11.5 12.5	82		4.1

②关闭器:安装在驾驶室内,是系统的控制器,除触点外,还应有系统工作状态的指示灯。如果警钟不多,所需的电流小,可直接控制全船警钟的通断;如果警钟数量多,所需电流大,则不能直接控制,需通过接触器去控制全船警钟,称之为间接控制。船用关闭器型号、规格见表 8.3.12—26。

表 8.3.12—26 **关闭器型号、规格表**

序号	名称	型号	电压(V)	电流(A)	防护型式	重量(kg)
1	单柄关闭器	AB1	250	0.5	防水式	0.8
2	双柄关闭器	AB2				1.2
3	刀型双极关闭器	AD2		5.0		1.7
4	梨型关闭器	AL		0.5		0.5
5	接触式关闭器	AJ		2.0		0.4

5.1.2 铃组系统

1)用途:作为船上有关部位之间专用的通信联络信号,应急状态下使用铃组主要包括:

①机舱铃组:作为传令钟故障时的应急车令和回令信号,见图 8.3.12—52b)、c)等图。

② 冷藏库报警铃组:是各冷藏库对厨房之间的单向联络,作为被误锁在冷库里的人对外呼救的信号装置。若冷库的门能从内部开启时,可免予设置。

③二氧化碳或卤化烃灭火装置的施放预告铃组:即施放前用铃声通知现场人员迅速撤离,是单向联络。

表 8.3.12—27 **电铃、蜂鸣器型号、规格表**

序号	名　　称	型　　号	电流种类	额定电压(V)	消耗功率(W)	音响强度(db)	防护型式	重量(kg)
1	断电式直流电铃	24Z YLK—110Z 220Z	直流	24,110,220	7,11	86		2.1
2	短路式直流电铃	24Z YLB—110Z 220Z		24,110,220	3,7,8			
3	交流电铃	24J YL—110J 220J	交流	24,110,220		82		2.1
4	直　　流 电铃 —蜂鸣器	24Z YLM—110Z 220Z	直流	24,110,220		92		3.8
5	交　　流 电铃—蜂鸣器	24J YLM—110J 220J	交流	24,110,220		82	防	3.7
6	直　　流 电铃 —信号灯	24Z YLX—110Z 220Z	直流	24,110,220		92	水	3.4
7	交　　流 电铃—信号灯	24J YLX—110J 220J	交流	24,110,220		82	式	3.3
8	直流蜂鸣器	24Z YM—110Z 220Z	直流	24,110,220	1.5,4.4,4.4	92		1.8
9	交流蜂鸣器	24J YM—110J 220J	交流	24,110,220	1.5,4.4,4.4			
10	直　　流 抖动蜂鸣器	24Z YMD—110Z 220Z	直流	24,110,220		76		
11	交　　流 抖动蜂鸣器	24J YMD—110J 220J	交流	24,110,220				2.1

④水密门关闭的预告铃组:水密门关闭前向被隔密的舱室发出迅速撤离的警铃,是单向联络。

⑤联络指挥用铃组:有配餐间呼叫服务员的铃组;在客轮的医院或医生房间装有呼叫医生的铃组;有跳板设备的船装有跳板放落时的警告铃组;驾驶室与尾部之间的系缆铃组;驾驶室

与首部之间的起抛锚铃组；首部与机舱之间的供水(冲甲板用水)铃组等 。

2)组成：发信器一般为按钮或关闭器。音响设备是电铃或电铃—蜂鸣器或电铃—信号灯。船用电铃型号与规格见表 8.3.12—27。

5.2 表 号 器

表号器是一种单向性的、能指示出发信部位的设备。可作为联络信号系统 或报警信号系统的受信站，表号器由球面信号指示器(包括球形吊牌和继电器)，释放按键等元件组成。它必须与关闭器、音响电铃配套使用。表 8.3.12—28 列出常用表号器的型号和规格。

表 8.3.12—28 **表号器型号、规格表**

序号	名　　称	型　　号	电流类别	额定电压(V)	控制路数(路)	防护形式	重量(kg)
1	直流 4 路表号器	24Z B4—110Z 220Z	直流	24,110,220	4	防溅式	5.5
2	交流 4 号表号器	24J B4—110J 220J	交流				
3	直流 10 路表号器	24Z B10—110Z 220Z	直流		10		9.5
4	交流 10 路表号器	24J B10—110J 220J	交流				

表号器的电路原理图以及与关闭器，电铃之间联接关系见图 8.3.12—70。

5.3 火 警 系 统

《规范》要求，所有航行于国内外的海上客轮，总吨位大于 1000 登记吨位的海上机动货船、油船；用以装载棉花、麻以及易燃、易爆的干货船等必须安装火警报警器。目前，船舶自动 化程度不断提高，船员减少，对火警报警装置的覆盖面要求更高。

5.3.1 火警探测器

船 用火警探测器有测温式、测烟式、测光式三种。

1)测温式探测器：是利用火灾前兆的热效应，选 用对温度或温升变化率敏感的元件，如双金属片、易熔断元件、充注液体(或气体)的热膨胀器件，各种弹性元件等 测温式探测器分为恒温式探测器和温升式探测器。

①恒温式探测器：通常用热电偶或低熔点的金属丝。动作值调整在 60～360℃ 范围。

②温升式探测器：根据温升的变化率作为火灾前兆的限值，一般限定在 5.5℃/min。

2)测烟式探测器：是利用火灾前兆的烟雾浓度来检测火警。一般分为感烟管式和离子式两种。见图 8.3.12—71 和图 8.3.12—72。感烟管式 工作时，由抽风机把被检测的舱 室内气样不断送进集烟管。有火灾时，烟雾浓度大，使 两 个光电池产生电势不同，而发出火警信号。离子式烟雾探测器是在电离室内存入放射性元素镅 241。该元素放射出 α 射线使空气电离。工作时，被检测舱室的气样送入外电离室 FSY2 。有火灾时，烟雾吸附了被电离的离子，使外电离室

内离子减少，等效电阻增大，A 点电位上升，经场效应管 BT、三极管 T 放大后。若达到整定值，使稳压管 DW 击穿，触发晶闸管 SCR 导通，继电器 J 动作，控制报警器工作。

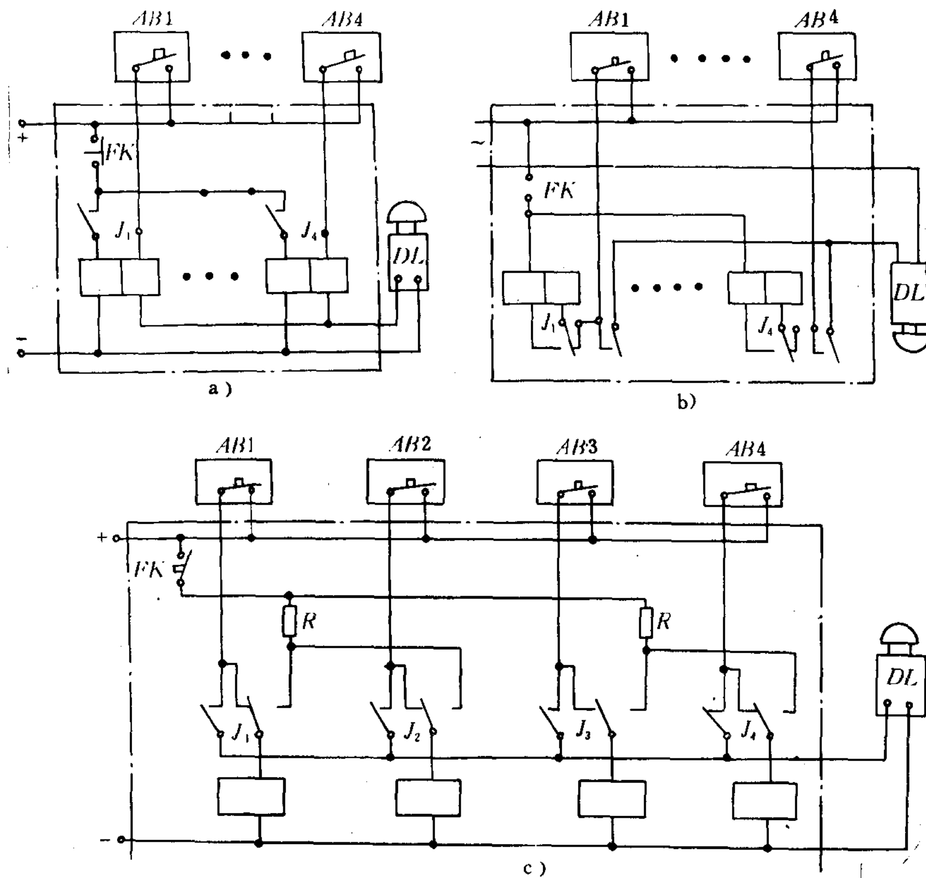


图 8.3.12—70 表号器电路原理和关闭器，电铃联接图

a) 直流 24 110 V 表号器电路原理图；b) 交流表号器电路原理图；c) 直流 220V 表号器电路原理图

AB—关闭器；DL—电铃；J—吊牌继电器；FK—释放按键

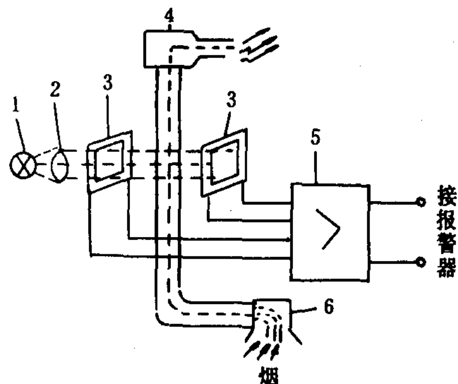


图 8.3.12—71 感烟管式火灾探测器原理图

1—电光源；2—聚光镜；3—光电池；

4—抽风箱；5—放大器；6—集烟管

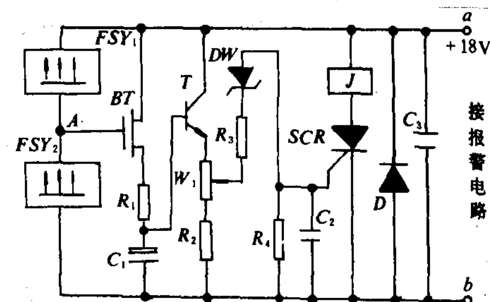


图 8.3.12—72 离子式烟雾探测器

FSY_1—内电离室；FSY_2—外电离式；

BT—场效应管；T—三极管；SCR—晶闸管；J—继电器

3)测光式探测器：是利用火灾前兆的光波效应。常用的有紫外线光敏管、红外线光敏管、光

敏电阻等作为检测元件。这种探测器监视距离较远、灵敏度较高,但不适于有相应光线灯或明火 作业的场所。

5.3.2 火警报警装置

火警报警装置是在火灾即将发生前,发出火警信号,同时应指明火灾发生的地点。火警报警装置的电气原理图见图 8.3.12—73。

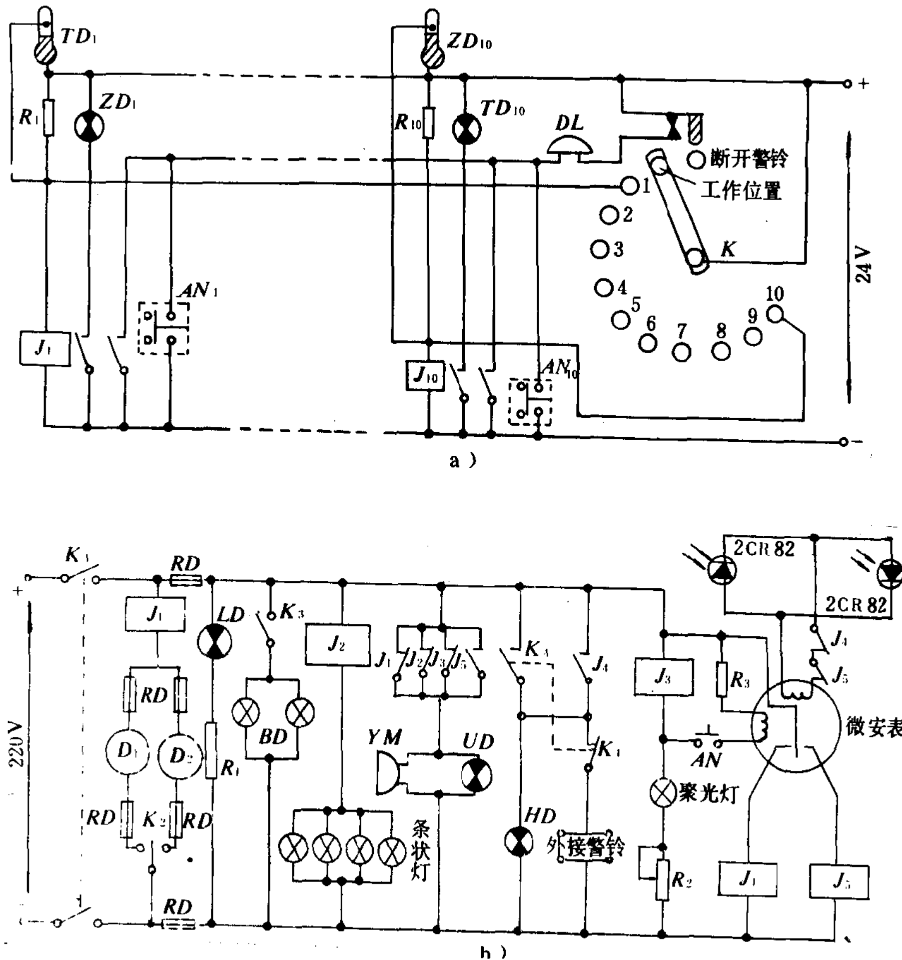


图 8.3.12—73 火警报警装置电气原理图

a) 测温式火警报警装置电气原理图;b) 测烟式火警报警装置电气原理图

所用器件名称和规格见表 8.3.12—29。

表 8.3.12—29 **火警报警装置的规格数据**

型式	名 称	型 号	主 要 规 格	防护型式	重量(kg)
测温式	火警报警器	BW10—24Z	报警路数 10 路,直流 24V,1A	防溅式	15
	火警发信器		自动发信器为接点式,灵敏度为 70°±5℃		
		DK—7	手动发信器 220V,10A	水密式	0.92
	火警电铃	YLk—24Z	断电式,直流 24V	防水式	2.1
	工作检查开关 K		12 路的转换开关		

续上表

型式	名　称	型　号	主 要 规 格	防护型式	重量(kg)
测烟式	火警报警器	YHZ—12	报警路数12路，直流220V。 灵敏度：光电元件上，光通量受到5—10%影响时报警	保护式	66
	吸风电机箱		两台220V，220W直流电动机轮换使用，吸风速度为64m/s	防溅式	84
	集烟器		烟管直径为3/4"，每一条抽烟管路中只能同时并联2个集烟器		
	警钟YM	YZ—220Z	直流220V	防水式	2.7

5.4　自动报警系统

自动报警系统又称为主、辅机工况的自动报警装置，它随时监视船上主、辅机工况。当监视的工况参数超出限定值时应能发出报警信号，通知值班人员。自动报警系统一般由信号发送器，自动报警器和警铃三部分组成。具体请见第9卷(轮机自动化)的集中监视系统。

6　船用广播系统

船用广播是用来收听电台广播，发送指挥命令和通知；是宣传群众、组织群众实现统一指挥的重要宣传工具之一。

6.1　船用指挥扩音机的性能

目前我国常用的船用指挥扩音机为GY系列，它是全半导体化的成套装置，适用于各类船舶上进行无线电转播和有线指挥广播的专用设备。按输出功率大小分为GY—50—7型(50W)和GY—100—4型(110W)两种。其使用性能见表8.3.12—30。

表8.3.12—30　**GY型船用指挥扩音机使用性能**

序号	项　目	使　用　性　能
1	工作种类	分为收音、拾音和送话三种
2	控制方式	分广播站控制和遥控站控制，后者优于前者进行送话但几个遥控站之间不分优先。50W扩音机有3个遥控站，100W扩音机有4个遥控站
3	输出方式	输出为定压式。50W扩音机为60V；100W扩音机为120V
4	输出线路	分4路；舱内、岗位、舱面和喊话线路。舱内、岗位为三线制，其扬声器音量在收音、拾音时可调，但在送话时为全音量(不可调)；舱面、喊话线路为双线制。喊话线路为全功率输出，当它工作时，其余3路自动断开
5	电源种类	单相50Hz；220V；127V，110V交流电或24V直流电，当用直流电时，电唱机不能使用
6	消耗功率	交流供电时：50W扩音机≤250VA；100W扩音机≤400VA 直流供电时：50W扩音机≤150W；100W扩音机≤250W

图 8.3.12—74　GY—100—4 型船用广播系统图

6.2　船用指挥扩音机的配套设备

GY 系列船用指挥扩音机的配套设备见表 8.3.12—31 所示。

表 8.3.12—31　　　　GY 系列船用指挥扩音机设备配套表

序号	设备名称	配套数量		备注
		GY—50—7	GY—100—4	
1	广播扩音机	1	1	收音机有 4 波段(中波、短波 1～3)
2	遥控站	3	4	备有 5m(50W)和 10m(100W)的话筒线
3	电唱机	1	1	GY 系列配用 C—84 型电唱机一台

续上表

序号	设备名称	配套数量		备注
		GY－50－7	GY－100－4	
4	头戴耳机	1	1	
5	话筒(广播站用)	1	1	话筒线长 5m
6	100W 高音扬声器		1	阻抗为 16Ω，备有安装支架和转动机构
7	50W 高音扬声器	1		
8	15W 高音扬声器	1	1	阻抗为 16Ω
9	10W 高音扬声器	1	2	
10	5W 高音扬 声器	1	2	
11	3W 扬声器	2	5	功率可调
12	1W 扬声器	20	40	
13	备件箱	1	1	包括一套检修电缆

6.3 船用广播系统实例

图 8.3.12—74 是 GY－100－4 型广播系统图。广播站采用 100W 扩音机，输出电压为 120V。广播线路分为舱面线路、旅客线路、船员线路和岗位线路，共 4 路。舱面线路为单独使用，其余三路可以同时使用。线路扬声器采用并联联接方法。

为了便于船上发话，召开大会，在餐厅设有话筒插座；在驾驶室，船首部，船尾部各设有遥控站；且在首、尾部的遥控站各加装防水式金属箱。广播站内还装有电唱机。

参考文献

[1] 船舶设计实用手册第五分册，国防工业出版社

[2] 船 内通讯系统（上、下册），青岛远洋船员学院

[3] 船内通讯自动化与仪表，中国远洋运输总公司方绳光编

[4] 轮机自动化，人民交通出版社 浦宝康 赵兴贤主编

[5] MARINE ELECTRONIC AUTOMATIC BRANCH EXCHANGE SYSTEM FOR 30 OR LESS LINES TYPE NCF－900 SERIES INSTRUCTION MANUAL，JRC əapan Radio Costd

[6] SERVICE MANUAL FLYWHEEL REVOLU TION AND POSITION，DETECTOR

[7] 火灾探测系统说明书，大连船厂

[8] VMP—112/8 型船内通讯系统说明书，大连船厂

[9] 自动电话系统讲义，大连海运学院出版社

第4篇　船舶电工材料

第1章　绝缘材料

1　概　　述

绝缘材料又称电介质。它与导电材料相反，在施加直流电压下，除有极微小的所谓泄漏电流通过外，实际上是不导电的。

绝缘材料在各种电机、电器、开关、电线、电缆及无线电等装置中的主要用途是：①使导电体跟其它部分互相绝缘；②使不同电位的导体分隔开来；③用来改善高压电场中的电位梯度；④保证电容器达到所需要的电容量。

绝缘材料的品种很多，一般可分为：

1）气体绝缘材料。常用的有空气、氮、氢、二氧化碳和六氟化硫等。

2)液体绝缘材料。常用的有变压器油、开关油、电容器油、电缆油等矿物油，十二烷基苯、聚丁二烯、硅油和三氯联苯等合成油以及蓖麻油等。

3）固体绝缘材料，常用的有绝缘漆、胶和熔敷粉末；纸、纸板等绝缘纤维制品；漆布、漆管和绑扎带等绝缘浸渍纤维制品；绝缘云母制品；电工用薄膜、复合制品和粘带；电工用层压制品；电工用塑料和橡胶等。

2　绝缘材料的一般性能

2.1　介电性能

绝缘材料的介电性能，主要有：电击穿强度、介质损耗、介质损耗角和正切值、电容率、电阻等。它们用来表明电介质在施加电压下所发生的性能变化和绝缘的质量状况。例如，当电容率大时，说明电介质的极化较强；当极化时有能量损失，则介质损耗角偏大；当泄漏电流较大时，电介质的体积或表面电阻就不高。

用来表示介电性能的一些名称及其含义如下：

1）电击穿、电击穿强度、击穿电压

电击穿是指当外加电压增高并达到某一极限值时，电介质丧失其绝缘性能。

电击穿强度是指绝缘材料抵抗电击穿的能力。

击穿电压是指绝缘材料被击穿瞬间所加的最高电压。在击穿处发生电火花或电弧，以致造成熔化、烧坏、开裂、穿孔等现象。

电击穿强度（或介电强度 E_0）与击穿电压 U_0 的关系是：

$$E_0=\frac{V_0}{h}\quad kV/mm$$

式中：U_0 ——击穿电压，kV；

h ——两电极间的距离，mm。

2）介质损耗、介质损耗角和正切值

介质损耗是指电介质在外加电压下发热所消耗的电能。这一损耗是由于其中存在水分或其它杂质（碳粒、氧化铁、酸、碱等）而形成的。在高电压下，电介质内部气体也产生损耗，即游离（电晕）损耗。

介质损耗的大小，可以用介质损耗角正切值 tgδ（或介质损耗角 δ），或介质损耗功率 P 来表示。

介质损耗角 δ，就是电流和电压间的相位角 φ 的余角。

在实用上，以介质损耗角正切值作为评定绝缘材料质量或绝缘结构好坏的一个主要标志。对低压和一般绝缘材料，要求其数值不大于百分之几或十分之几；对高压和高频电工装置，要求其数值不高于千分之几、甚至万分之几。

3）表面电阻和表面电阻系数

表面电阻是指电流通过电介质表面时所碰到的阻力。表面电阻系数等于电流通过边长为 1cm 的正方形的材料表面所碰到的电阻。

电介质的表面电阻值，往往由于其表面吸附水分或灰尘而减小。大多数绝缘材料的表面电阻值在 $10^7\sim10^{17}\Omega$ 的范围内。

4）体积电阻和体积电阻系数

电流通过绝缘体所碰到的阻力称为体积电阻。体积电阻系数等于电流通过边长为 1cm 的立方形绝缘体的相对两面所碰到的电阻。一般固体和液体绝缘材料的体积电阻系数约为 $10^8\sim10^{18}\Omega cm$。属于 $10^8\sim10^{10}\Omega cm$ 的有木材、大理石、石棉水泥等；属于 $10^{16}\sim10^{18}\Omega\cdot cm$ 的有聚苯乙烯、聚乙烯等。

5）内电阻

它是垂直于层压绝缘材料的层向（不是沿层向）的电阻。

层压绝缘材料的电阻随电流通过的方向不同而有差别，即当电流沿垂直而不是沿层向通过时所碰到的电阻较大。

6）介电常数（电容率）

它表示电容器（两极板间）在有电介质时的电容与在真空状态（无电介质）下的电容增长倍数。真空的电容率最小（8.86×10^{-4}）。

绝缘材料的介电常数对电机、电器的电容量大小、绝缘能力的强弱有很大影响。因此，在高压电容器和电缆中，用具有适当介电常数的绝缘材料，来解决电容量的问题；在高压电机、开关中，尽量选用介电常数相近的绝缘材料作为组成部分。因为，当几种材料的介电常数相差太大时，整个绝缘系统中的电压分布就不均匀，绝缘的能力就会大为削弱。

此外，在高电压下使用的绝缘材料，如不结实、有空气隙时，往往容易被电击穿。这是由于气体的介电常数小，固体材料的介电常数大，外加电压多集中于气隙上，并在气隙处发生游离，以致使整个绝缘系统遭受破坏。

2.2 机 械 强 度

绝缘材料的机械强度，一般都随温度和湿度的升高而下降。对于吸湿性高的材料(如有机纤维、绝缘纸等)，其下降的幅度更大。因此，在测定绝缘材料的机械强度时，以在规定的温度和湿度下进行为准。

用来表示绝缘材料机械强度的一些名称及其含意见第1卷第1篇第1章第7节。

2.3 耐热性能及耐热等级

2.3.1 耐热性能

当温度升高时，绝缘材料的基本性能，如电阻、电击穿强度等，都会变小；介质损耗、应力变形等，都将增大。因此，采用耐热性能高的绝缘材料，具有如下重大实用价值；

1) 能够保证电机、电器的安全运行，减少维修和零、部件的更换。

2) 在不改变电机、电器外形尺寸的情况下，可提高其功率。或者，在保持原有电机、电器外形尺寸的情况下，可减少绝缘材料的用量，从而降低制造成本和减轻重量。

3) 在变电站、煤矿、石油、化工等部门的电工设备中，采用耐热性高的绝缘材料，可收到防爆、防火的良好效果。

用来表示绝缘材料耐热性能的一些名称及其含义如下；

1) 绝缘热老化

在短时间内温度升高或在高温长期作用下，绝缘材料发生缓慢或急剧的化学变化(劣变)，称为热老化。如变压器油内氧化物的形成，漆膜的变硬、发脆及出现裂纹等，都是热老化的表现。

除温度外，加速热老化的因素，还有臭氧、日光照射、电场、机械负荷等。

2) 导热性

它表示电介质(绝缘体)的传热性能，即在相距为1cm、温差为1℃的材料横断面($1cm^2$)轴向上，在1s内所传导的热量，其单位为J(焦耳)。

3) 耐热性

它表示材料承受高温作用的能力，即绝缘材料在短期或长期热作用下，不改变介电、机械、理化等特性的能力。

绝缘材料的最高使用温度，取决于这一性能。

4) 热稳定性

它表示材料在温度反复变化(忽高忽低)的情况下，不改变理化、机械、介电性能，并能保持本身工作的能力。

对于绝缘涂层，是指在规定温度和持续时间下，不改变外观色泽、不脱层、无剥落和裂纹的性能。

5) 热弹性

它表示材料在高温作用下，能长期保持其柔韧状态的性能。

热弹性与热稳定性的区别是：前者表示材料在动态下的寿命，以抗弯曲强度来确定；后者表示材料在静态下对热作用的稳定性，以重量损失的大小来确定。

热弹性高，是优良的新型绝缘材料的一个主要标志。

6) 重量损失

它表示材料在规定温度下经若干时间后，损失其重量的数量。对不同的材料，各有一个极限值。如果超过极限值，则表明材料内挥发物过多，或有热裂解、老化及其它化学变化，严重时，该材料不能使用。

在实际工作中，往往以两种（或几种）材料重量损失的对比值，作为区分两种（或几种）材料的热稳定性高或低的根据。

2.3.2 耐热等级

耐热等级是根据不同绝缘材料的最高允许温度划分的，有 Y、A、E、B、F、H、C 七个等级。各级的最高允许温度分别为 90℃、105℃、120℃、130℃、155℃、180℃、180℃以上。耐热等级及所属的绝缘材料名称见表 8.4.1－1 。船用电气材料和设备所采用的绝缘等级在 E 级以上。

表 8.4.1－1　**绝缘材料的耐热等级**

耐热等级	最高允许工作温度℃	绝缘材料类别名称
Y	90	1. 以棉纱、天然丝、再生纤维素、醋酸纤维素和聚酰胺为基础的纺织品 2. 纤维素的纸，纸板和反白板 3. 木质板 4. 有机填料的塑料
A	105	1. 以下三类材料浸渍后或在绝缘液体中使用时为 A 级绝缘材料 (1)以棉纱、天然丝、再生纤维素、醋酸纤维素和聚酰胺为基础的纺织品 (2)纤维素的纸，纸板和反白板 (3)木质板 2. 以三醋酸薄膜为基础的片状材料 3. 以棉纱、天然丝、再生纤维素、醋酸纤维素和聚酰胺纤维为基础的漆布和漆管 4. 漆纸 5. 漆包线的绝缘 6. 聚酰胺薄膜 7. 浇注用聚酰胺树脂 8. 浸以有机物，在 110℃下不流动的石棉水泥 9. 层压木板 10. 热固性丙烯脂和甲级丙烯酸脂（无填料）
E	120	1. 聚脂膜及其纤维 2. 漆包线的绝缘 3. 有机填料的塑料 4. 以纤维素纸和布为基础的层压制品 5. 环氧、聚脂和聚胺酯的树脂和胶类 6. 以丙烯脂和甲基丙烯酸脂（以无机物作填料）为基础的热固性胶
B	130	1. 以云母片和粉云母纸为基础的材料，以及有纸或布作衬垫（补强）的云母制品 2. 聚脂薄膜和纤维 3. 玻璃漆布和玻璃漆管 4. 用有机漆浸渍的石棉纤维材料 5. 漆包线的绝缘 6. 以无机物为填料的塑料 7. 以玻璃布和石棉纤维为基础的层压制品 8. 以矿物作填料的热硬性合成胶（环氧、聚酯、聚胺酯树脂等） 9. 以有机漆浸渍的石棉水泥

续上表

耐热等级	最高允许工作温度℃	绝缘材料类别名称
F	155	1. 无补强或以合成纤维材料补强的云母片制品 2. 玻璃丝和石棉绝缘导线的绝缘 3. 玻璃漆布和玻璃漆管 4. 以玻璃丝布和石棉纤维为基础的层压制品 5. 以脂环族环氧为基础的玻璃云母制品 6. 无补强和以无机材料作补强的粉云母制品 7. 芳香聚酰胺纤维纸的复合绝缘
H	180	1. 无补强或以无机材料补强的云母制品 2. 玻璃丝导线的绝缘 3. 玻璃漆布和玻璃漆管 4. 以玻璃丝布和石棉纤维为基础的层压制品 5. 以无机物为填料的塑料 6. 浸渍过的石棉水泥 7. 无补强或无机物补强硅橡胶制品 8. 石棉材料(石棉纱线、石棉布、石棉纸) 9. 聚酰亚胺薄膜的复合绝缘 10. 聚二苯醚系列绝缘制品
C	180 以上	1. 云母 2. 玻璃和玻璃纤维材料 3. 电瓷 4. 石英 5. 未浸渍的石棉水泥 6. 电工用石板 7. 无补强或以玻璃纤维材料补强的云母 8. 玻璃云母模压制品 9. 聚四氯乙烯 10. 聚酰亚胺或耐高温有机硅漆包线的绝缘

一般情况下,所用的绝缘材料,应在耐热等级规定的温度下长期(一般为 15～20 年)工作,保证电机、电器的绝缘性能可靠,并在运行中不出故障。

2.4 吸湿性能

绝缘材料在潮湿空气中或多或少都有吸湿的现象。这是由于水分子的尺寸和粘度都很小(直径为 0.5×10^{-8}cm),能透入各种绝缘材料的裂缝、毛细孔和针孔(它们的宽度一般约为 $10^{-3}\sim10^{-6}$cm,比水的分子尺寸要大得多),溶解于各种绝缘油、油漆及膏料中。水分的存在,使绝缘材料的性能大为恶化。

表示绝缘材料吸湿性能的一些名称及其含义如下:

1）吸湿性（吸潮性）

它表示材料在温度为20℃和相对湿度为97%～100%的空气中的平衡湿度，用材料在此条件下吸潮后所增加重量的百分数作为吸湿性指标。

2）吸水性

它表示材料放在湿度为20±5℃的蒸馏水中，经若干时间（一般为24h）后，材料重量增加的百分数。

3）透湿性

它表示材料为水汽通过的性能。对于电机、电器的覆盖层，电缆的软套和灌注绝缘物，要求采用透湿性极小或不透湿的油漆、胶和薄膜等材料。

4）抗潮性

表示材料在一定空气压力、温度和相对湿度下，抵抗水汽或水渗透的能力。

2.5 耐热带气候的性能

热带包括湿热带和干热带地区两种。它们的划分指标见表8.4.1—2。

表8.4.1—2 湿热带及干热带地区的划分指标

序号	环境因素		额定值	
			湿热带	干热带
1	空气温度 ℃	最高	40	50
		最低	0	−5
		年平均	27	27
		月平均最高	35	45
		最大日变化	—	30
2	大阳辐射最大强度（J/m²·s）		977	1116
3	空气相对湿度%	最大	95（25℃时）	—
		最小	—	10（40℃时）
4	阳光直射下的黑色物体表面最高温度 ℃		80	90
5	砂尘		—	有
6	1m深土壤最高温度 ℃		32	32
7	冷却水最高温度 ℃		35	40
8	露		有	有
9	含盐空气		有	有
10	霉菌		有	—
11	昆虫		有	有
12	最大降雨强度 （mm/10min）		50	—

热带环境的因素及其对绝缘材料性能的影响有：

1）高的空气温度

在高气温下，热固性塑料会变形、开裂、起泡，并降低机械强度；热塑性塑料如电缆头沥青胶会发软，甚至流出；绝缘弹性体、橡皮等易失去弹性；漆布、薄膜材料会变脆、开裂。

2）高空气湿度

湿热带的空气相对湿度常超过80%，使绝缘材料的吸湿性加大。吸湿后的材料会膨胀变形，介电性能恶化，表面和体积电阻下降，介质损耗增加。

3)霉菌

在空气温度为25～35℃、相对湿度为70%以上，无阳光照射的湿热带地区，适于霉菌生长。

在高湿度下，霉菌在生长的同时，进一步吸潮、分泌有机酸，使绝缘体表面的湿量和污浊砂尘增多。

霉菌对吸湿性小的聚乙烯、聚甲基丙烯酸酯等材料，影响较小，但对吸湿性大的材料，危害较大，即降低表面电阻，形成短路故障等。

4)盐雾

在海面和海边的空气中含有大量的盐雾，距离海岸0.3km的空气中也含有少量盐分。

盐雾除使绝缘体表面形成导电薄膜、产生泄漏电流外，对沿海地区输电线路的绝缘子，也经常带来破坏。

2.6 理化性能

为了使各种电工设备能在不同工业部门，不同场所中安全运行，其绝缘部分除应具有规定的介电性能和机械强度外，还应有一定的或特定的理化性能。

用来表示绝缘材料的理化性能的主要名称及其含义如下：

1）溶解度(溶解力)

它表示材料与某种溶剂接触时，在单位时间内从材料单位面积上所溶解的数量。或者是，指材料在某种溶剂中可能溶解的最高数量。

2）化学稳定性

它表示材料在活性化学介质(活性气体及酸、碱、盐溶液等)中，其表面颜色、重量和原有特性不发生或只有极微小的变化的性能。

3）酸值(酸价)

它表示液体材料中游离酸的含量，以中和19液体(如油、油漆等)所需苛性钾的量来表示。

酸值大的绝缘材料，对导体等金属有腐蚀作用。酸值大的变压器油，表示其纯度差，或者是已老化。

4）耐腐蚀性

它表示材料抵抗外界介质(空气、水蒸汽、化学药品等)以及电化过程所带来破坏作用的能力。

5）耐汽油性

它表示材料抵抗汽油侵蚀的能力。

6）耐油性

它表示材料抵抗变压器油及其它矿物油侵蚀的能力。

7）耐寒性

它表示材料在特定的低温下，不显著降低强度和弹性，以及不发生裂缝、龟裂、起层和剥落的性能。

这一性能能保证电网的绝缘体在低温下可靠工作，不出故障。

8）可塑性

它表示材料在变形应力(外加工)消除后，仍保持变形(残余变形)的性能。对于塑料、柔软云母板及橡皮等，可塑性是表示它们可加工成各种外形的绝缘零、部件的性能。

橡皮的塑性同时被柔软性(即在外力影响下变形的能力)和弹性(即在外力作用停止，恢复到原有尺寸的性能)所决定。因此，以柔软性和弹性(恢复性)来表示其塑性的大小。

2.7 抗辐射性

抗辐射性，指某种材料在放射线(如γ或x射线，电子或β射线，中子射线)或混合射线下抗辐射作用的能力。对于绝缘材料，一般是指在γ射线或γ和中子射线下抗辐射作用的能力。

对原子能电站反应堆冷却系统泵用电机、粒子加速器，以及在辐射环境中工作的电机、电器、电子元件及电缆、电线等，应选用具有一定抗辐射性的材料作为绝缘或防护层。

在现有材料中，抗辐射性较低的有苯基含量低的硅油、硅橡胶和聚酯树脂等；较高的有有机硅树脂、聚酰亚胺薄膜、芳香聚酰胺片材料等；更高的有云母、玻璃纤维等无机材料制品等。辐射剂量的级别见表8.4.1－3 。

表8.4.1－3 **辐射剂量的级别**

级别序号	最大辐射剂量		
	射线名称	γ	中子
	剂量单位	10^6R	中子/cm^2
1		0.1	3×10^{11}
2		10	3×10^{13}
3		10^3	3×10^{15}
4		10^4	3×10^{16}
5		10^4 以上	3×10^{16}以上

注：表中R－伦琴。

3 产品型号及绝缘等级

见表8.4.1－4 ～表8.4.1－28

表 8.4.1—4　　　　　　　　　　**石油类产品液体绝缘材料的性能**

指标名称	变压器油		油开关用油						电容器油	电缆油 110kV
			≥44kV		20～35kV		≤15kV			
	新油	运行中的油	新油	运行中的油	新油	运行中的油	新油	运行中的油		
1 颜色	浅色至淡黄	—	—	—	—	—	—	—	不小于 40mm	—
2 透明度(在直径为 30～40mm 的玻璃量筒内冷却至 5℃时观察)	透明	透明	透明	—	透明	—	透明	—	透明	透明
3 密度,在 20℃/40℃时(g/cm³)	0.895	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4 运动粘度 20℃,不大于(μm²/s)	30	—	30	—	30	—	30	—	37～45	37.3
4 运动粘度 50℃,不大于(μm²/s)	9.6	—	9.6	—	9.6	—	9.6	—	9～12	9.6
4 运动粘度 −20℃,不大于(μm²/s)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	575
4 运动粘度 −30℃,不大于(μm²/s)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2200
5 粘度,恩氏 20℃,不大于(°E)	4.2 (1～8)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5 粘度,恩氏 50℃,不大于(°E)	1.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6 酸值,不大于(mg·KOH/g)	0.05	0.4	0.05	0.4	0.05	0.4	0.05	0.4	0.02	0.04
7 灰分,不大于(%)	0.005	0.01	0.005	—	0.005	—	0.005	—	0.0015	0.005
8 机械杂质,不大于(%)	无	无	无	无	无	无	无	无	无	0.005
9 水　分	无	无	无	无	无	无	无	无	—	无
10 水溶性酸和碱	无	无	无	无	无	无	无	无	无	无
11 苛性钠抽出,不大于(级)	2	—	2	—	2	—	2	—	1	1
12 游离碳	无	无	—	—	—	—	—	—	—	—
13 活性硫	无	无	—	—	—	—	—	—	—	—
14 腐蚀(铜片 50×10×3,120±2℃,2h)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	合格
15 安定性,氧化后沉淀物,不大于(%)	0.1	—	0.1	—	0.1	—	0.1	—	—	0.08
15 氧化后酸值,不大于(mg·KOH/g)	0.35	—	0.35	—	0.35	—	0.35	—	—	0.35
16 凝固点,不高于(℃)	① −25 / −10	—	−45	—	−45	—	45	—	−45	−45
17 闪点(闭口),不低于(℃)	135	比新油不降低 5℃以上	135	比新油下降不超过 5℃	135	比新油下降不大于 5℃	135	比新油下降不大于 5℃	135	135

指标名称	变压器油		油开关用油						电容器油	电缆油110kV
			≥44kV		20～35kV		≤15kV			
	新油	运行中的油	新油	运行中的油	新油	运行中的油	新油	运行中的油		
18 体积电阻系数，在20℃时，不低于(Ω·cm) 在100℃时，不低于(Ω·cm)	—	—	—	—	—	—	—	—	1×10^{14} 1×10^{13}	—
19 介电常数，20℃时，(频率50或1000Hz时)	—	—	—	—	—	—	—	—	2.1～2.3	—
20 介质损耗角正切，不大于(%)										
(1) 20℃，50Hz	0.5③ (1)②	(2)②	0.5	2	0.5	2	0.5	2	—	—
(2) 70℃，50Hz	2.5 (4)②	(7)②	2.5	7	2.5	7	2.5	7	—	—
(3) 100℃，50Hz	—	—	—	—	—	—	—	—	0.5	0.3(老化前)
(4) 100℃，1000Hz	—	—	—	—	—	—	—	—	0.2	—
(5) 100℃，经300h无铜老化④	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.6
(6) 100℃，经300h有铜老化④	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.5
电击穿强度，20℃，50HZ，不低于kV/mm	—	—	40	35	35	30	25	20	20	18
21 (1) 用于35KV及以上的变压器	(40)②	(35)②	—	—	—	—	—	—	—	—
22 (2)用于6～35kV的变压器	(30)②	(25)②	—	—	—	—	—	—	—	—
(3) 用于6kv以下的变压器	(25)②	(20)②	—	—	—	—	—	—	—	—

注：① 在平均温度不低于－10℃的地区，如无凝固点为－25℃的绝缘油时，允许使用凝固点为－10℃的油；

② 变压器油中加有()的数据，为输电系统采用，非标准规定值，仅供参考用；

③ 变压器油的介质损耗角正切值数据，供分析油质作参考，不作为验收油的标准；

④ 电缆油的老化是在一直径为40±3mm，高为110mm的圆柱形玻璃管中进行。老化前先用水、后用酒精洗涤试管，开始进行干燥。然后取不小于65mL试油(经4号微孔漏斗过滤)注入试管，使试油体积的立方厘米数与其接触表面平方厘米数的比值为6，将盛油试管置于温度极为均匀的恒温器内。在100±2℃温度下保持300h，老化后再进行介质损耗角的测定。有铜老化与无铜老化试验的条件相同。但在老化前取电解铜线(直径为1.9～2.3mm的电流母线)切成60mm长的小段，并根据100mm润滑油需要225±3cm² 铜的表面，计算出应取的铜线数量。将切下的铜线用浸于苯液中的干净布擦净，并在空气中干燥1h后放入盛油试管中。将试管置于温度保持在100±2℃的恒温器内老化300h后，再测介质损耗角。

表 8.4.1－5　　**常用有溶剂漆的品种、组成、特性和用途**

名　　称	型号	标准编号	主要组成	耐热等级	特性和用途
沥青漆	1010 L30－10	JB873－66	石油沥青、干性植物油、松脂酸盐，溶剂为二甲苯和 200 号溶剂汽油	A	耐潮性好。供浸渍不要求耐油的电机线圈
油改性醇酸漆	1030	JB874－66	亚麻油、桐油、松香改性醇酸树脂，溶剂为 200 号溶剂汽油	B	耐油性和弹性好。供浸渍在油中工作的线圈和绝缘零部件
丁基酚醛醇酸漆	1031	JB874－66	蓖麻油改性醇酸树脂、丁醇改性酚醛树脂，溶剂为二甲苯和 200 号溶剂汽油	B	耐潮性、内干性较好，机械强度较高。供浸渍线圈，可用于湿热地区
三聚氰胺醇酸漆	1032 A30－1	JB874－66	油改性醇酸树脂、丁醇改性三聚氰胺树脂，溶剂为二甲苯和 200 号溶剂汽油	B	耐潮性、耐油性、内干性较好，机械强度较高，且耐电弧。供浸渍在湿热地区使用的线圈
醇酸玻璃丝包线漆	1230 C34－1		干性植物油改性醇酸树脂	B	耐油性和弹性好，粘结力较强。供浸涂玻璃丝包线
环氧酯漆	1033 H30－2	JB874－66	干性植物油酸、环氧树脂、丁醇改性三聚氰胺树脂，溶剂为二甲苯和丁醇	B	耐潮性、内干性好，机械强度高，粘结力强。可供浸渍用于湿热地区的线圈
环氧醇酸漆	1130－6 B340		酸性醇酸树脂与环氧树脂共聚物、三聚氰胺树脂	B	耐热性、耐潮性较好，机械强度高，粘结力强。可供浸渍用于湿热地区的线圈
聚酯浸渍漆	155 Z30－2		干性植物油改性对苯二甲酸聚酯树脂，溶剂为二甲苯和丁醇	F	耐热性、电气性能较好，粘结力强。供浸渍 F 级电机、电器线圈
有机硅浸渍漆	1053 W30－1		有机硅树脂，溶剂为二甲苯	H	耐热性和电气性能好，但烘干温度较高。供浸渍 H 级电机电器线圈和绝缘零部件
低温干燥有机硅漆	9111		有机硅树脂，固化剂，溶剂为甲苯	H	耐热性较 1053 稍差，但烘干温度低，干燥快，用途同 1053
聚酯改性有机硅漆	931W 30－P		聚酯改性有机硅树脂，溶剂为二甲苯	H	粘结力较强，耐潮性和电气性能好，烘干温度较 1053 低，若加入固化剂可在 150℃固化。用途同 1053
有机硅玻璃丝包线漆	1152		有机硅树脂，溶剂为甲苯或二甲苯	H	漆膜柔软，机械强度高，供浸涂 H 级玻璃丝包线
聚酰胺酰亚胺浸渍漆	PA I－2		聚酰胺酰亚胺树脂，溶剂为二甲基乙酰胺，稀释剂为二甲苯	H	耐热性优于有机硅漆，电气性能优良，粘结力强，耐辐照性好。供浸渍耐高温或在特殊条件下工作的电机、电器线圈

表 8.4.1－6　**常用无溶剂漆的品种、组成、特性和用途**

名　称	主 要 组 成	耐热等级	特 性 和 用 途
环氧无溶剂漆 110	6101 环氧树脂、桐油酸酐、松节油酸酐、苯乙烯	B	粘度低，击穿强度高，贮存稳定性好。可用于沉浸小型低压电机、电器线圈
环氧无溶剂漆 672－1	672 环氧树脂、桐油酸酐、苄基二甲胺	B	挥发物少，固化快，体积电阻高。适于滴浸小型电机、电器线圈
环氧无溶剂漆 9102	618 或 6101 环氧树脂、桐油酸酐、70 酸酐、903 或 901 固化剂、环氧丙烷丁基醚	B	挥发物少，固化较快。可用于滴浸小型低压电机、电器线圈
环氧无溶剂漆 111	6101 环氧树脂、桐油酸酐、松节油酸酐、苯乙烯、二甲基咪唑乙酸盐	B	粘度低，固化快，击穿强度高。可用于滴浸小型低压电机、电器线圈
环氧无溶剂漆 H30－5	苯基苯酚环氧树脂、桐油酸酐、二甲基咪唑	B	特性用途与 111 相同
环氧无溶剂漆 594 型	618 环氧树脂、594 固化剂、环氧丙烷丁基醚	B	粘度低，体积电阻高，贮存稳定性好。可用于整浸中型高压电机、电器线圈
环氧无溶剂漆 9101	618 环氧树脂、901 固化剂、环氧丙烷丁基醚	B	粘度低，固化较快，体积电阻高，贮存稳定性好。可用于整浸中型高压电机、电器线圈
环氧聚酯无溶剂漆 1034	618 环氧树脂、甲基丙烯酸聚酯、不饱和聚酯、正钛酸丁酯、过氧化二苯甲酰、萘酸钴、苯乙烯	B	挥发物较少，固化快，耐霉性较差。用于滴浸小型低压电机、电器线圈
聚丁二烯环氧聚酯无溶剂漆	聚丁二烯环氧树脂、甲基丙烯酸聚酯、不饱和聚酯、邻苯二甲酸二丙烯酯、过氧化二苯甲酰、萘酸钴、对苯二酚	B	粘度较低，挥发物较少，固化较快，贮存稳定性好，耐热性较 1034 高。用于沉浸小型低压电机、电器线圈
环氧聚酯酚醛无溶剂漆 5152－2	6101 环氧树脂丁醇改性甲酚甲醛树脂、不饱和聚酯、桐油酸酐、过氧化二苯甲酰、苯乙烯、对苯二酚	B	粘度低，击穿强度高，贮存稳定性好。用于沉浸小型低压电机、电器线圈
环氧聚酯无溶剂漆 EIU	不饱和聚酯亚胺树脂、618 和 6101 环氧酯、桐油酸酐、过氧化二苯甲酰、苯乙烯、对苯二酚	F	粘度低，挥发物较少，击穿强度高，贮存稳定性好。用于沉浸小型 F 级电机、电器线圈
不饱和聚酯无溶剂漆 319－2	二甲苯树脂、改性间苯二甲酸不饱和聚酯、苯乙烯、过氧化二异丙苯	F	粘度较低，电气性能较好，贮存稳定性好。可用于沉浸小型 F 级电机、电器线圈

表 8.4.1－7　　　　漆包线漆的品种、组成、特性和用途

名　称	主要组成	耐热等级	特性和用途
油性漆	甲酚或二甲酚玷　树脂、干性植物油、松脂酸盐	A	高频下介质损耗小，耐潮性好，涂线工艺性好，耐溶剂性、耐刮性和耐热性差。适于涂制潮湿环境使用的中、高频电器、仪表或通信仪器等用漆包线
缩醛漆	聚乙烯醇缩甲(乙)醛树脂、甲酚甲醛树脂、三聚氰胺树脂、甲酚封闭二异氰酸酯	E	漆膜耐刮性、耐热冲击性、耐水解性以及耐油性好。可涂制高强度漆包线
耐致冷剂漆	聚乙烯醇缩甲(乙)醛树脂、甲酚甲醛树脂、三聚氰胺树脂、甲酚封闭二异氰酸酯	A	耐致冷剂。适于涂制封闭式冷冻机用电机用漆包线
自粘性漆	漆包线内层为聚酯树脂、缩醛树脂或环氧树脂等，外层为聚乙烯醇缩丁醛树脂	B	适于涂制中、小型电机、电器、仪表等用漆包线及无支撑线圈用漆包线。此类漆包线嵌线后经热烘即能粘合成一整体，不需浸漆
聚氨酯漆	聚氨基甲酸酯树脂、聚酯树脂、二异氰酸酯	E	高频下介质损耗小，着色性好，有直焊性(漆包线焊接前不需清除漆膜)，耐过负载性差。适于涂制要求Q值稳定的中、高频小型线圈和电视、仪表用漆包线
无磁性漆	同聚氨酯漆	E	铁含量极低，磁场对它的感应极微。适于涂制精密仪表和精密电器用漆包线
自粘直焊漆	同聚氨酯漆	E	有直焊性，此类漆包线嵌线后经热烘即能粘合成一整体，不需浸漆，但耐过负载性能差。适于涂制微型电机、仪表、无线电元件、无支撑线圈用漆包线
环氧漆	环氧树脂、脲醛树脂	E	漆膜耐酸、耐碱、耐腐蚀、耐油、耐潮、耐水解性好，但弹性、耐刮性以及对含氯绝缘油相容性差。适于涂制油浸变压器、化工电器、潮湿环境工作的电机用漆包线
聚酯漆	对苯二甲酸多元醇聚酯树脂	B	漆膜耐热、耐刮、耐溶剂性较好，耐电压和耐软化击穿性好，但耐碱、耐热冲击性和耐水解性较差，与含氯高聚物如聚氯乙烯、氯丁橡胶等不相容。适于涂制中、小型电机、电器、仪表、干式变压器等用漆包线
水溶性聚酯电泳漆	含亲水基团的聚酯树脂，用水作溶剂	B	可一次涂成所需厚度漆膜，性能、用途与聚酯漆相同，可涂制异形线材
水散体聚酯漆	含亲水基团的聚酯树脂，用水作溶剂	B	可一次涂成所需厚度漆膜，性能、用途与聚酯漆相同，可涂制异形线材
聚酯亚胺漆	聚酯亚胺树脂	F	耐热冲击性优于聚酯漆，其他性能与聚酯漆相同。适于涂制F级电机、致冷装置电机、干式变压器、电器、仪表用漆包线

续上表

名　　称	主　要　组　成	耐热等级	特　性　和　用　途
水乳性聚酯亚胺电泳漆	含亲水基团的聚酯亚胺树脂	F	工艺性与水溶性聚酯漆相同，特性、用途与聚酯亚胺漆相同
聚酰胺酰亚胺漆	聚酰胺酰亚胺树脂	H—C	耐热性、耐热冲击性、耐电压和耐软化击穿性好，耐刮和耐化学药品腐蚀性好。与含氯高聚物不相容。适于涂制高温、重负荷电机、密封式电机、致冷设备电机、干式变压器和电器、仪表用漆包线
聚酰亚胺漆	聚酰亚胺树脂	H—C	耐热性、耐热冲击性、耐软化击穿性好，能承受短期过载负荷，耐辐照、耐溶剂及耐化学药品腐蚀性好，但耐碱性差，在含水的密闭系统中容易水解，漆膜受卷挠应力易产生裂纹。适于涂制耐高温电机、干式变压器、密封式继电器及电子元件用漆包线

表 8.4.1—8　　**常用覆盖漆的品种、组成、特性和用途**

名　称	型　号	标准编号	主　要　成　分	耐热等级	特　性　和　用　途
晾干醇酸漆	1231 C31—1	JB875 —66	干性植物油或脂肪酸改性邻苯二甲酸季戊四醇醇酸树脂、干燥剂	B	晾干或低温干燥，漆膜的弹性、电气性能、耐气候性和耐油性较好。用于覆盖电器或绝缘零部件
晾干醇酸灰瓷漆	1321 C32—9	JB877 —66	油改性醇酸树脂、干燥剂、颜料	B	晾干或低温干燥，漆膜硬度较高，耐电弧性和耐油性好。用于覆盖电机、电器线圈及绝缘零部件表面修饰
醇酸灰瓷漆	1320 C32—8	JB877 —66	油改性醇酸树脂、颜料	B	烘焙干燥，漆膜坚硬，机械强度高，耐电弧性和耐油性好。用于覆盖电机、电器线圈
晾干环氧酯漆	9120 H31—3		干性植物油酸与环氧酯化物、干燥剂	B	晾干或低温干燥，干燥快，漆膜附着力好，耐潮、耐油和耐气候性好，有弹性。用于覆盖电机、电器或绝缘零部件，可用湿热地区
环氧酯灰瓷漆	163 H31—4		环氧树脂酯化物、氨基树脂、防霉剂	B	烘焙干燥，漆膜硬度大，耐潮、耐霉、耐油性好。用于覆盖电机、电器线圈，可用于湿热地区
晾干环氧酯灰瓷漆	164 H31—2		环氧树脂酯化物、颜料、干燥剂、防霉剂	B	晾干或低温干燥，漆膜坚硬，耐潮、耐霉、耐油性好。用于覆盖电机、电器线圈及绝缘零部件表面修饰，，可用于湿热地区
环氧聚酯铁红瓷漆	6341 H31—7		环氧树脂、酚醛树脂、已二酸聚酯树脂	B	烘焙干燥，漆膜附着力强，耐潮、耐霉、耐油性好。用于覆盖电机、电器线圈，可用于湿热地区

续上表

名　称	型　号	标准编号	主　要　成　分	耐热等级	特　性　和　用　途
晾干有机硅红瓷漆	167		有机硅树脂、醇酸树脂、颜料	H	晾干或低温干燥，漆膜耐热性高，电气性能好。用于覆盖耐高温电机、电器线圈或绝缘零部件表面修饰
有机硅红瓷漆	1350 W32－3		有机硅树脂、颜料	H	烘焙干燥，漆膜耐热性高，电气性能好。用于覆盖耐高温电机、电器线圈或绝缘零部件表面修饰

表 8.4.1－9　　**硅钢片漆的品种、组成、特性和用途**

名　称	型　号	主　要　组　成	耐热等级	特　性　和　用　途
油性漆	1611	干性植物油、松脂酸盐	A	在高温(4000～500℃)下干燥快，漆膜厚度均匀，坚硬耐油。供涂复一般用途小型电机、电器用硅钢片
醇酸漆	9161 5364	油改性醇酸树脂、丁酸改性三聚氰胺树脂	B	在300～350℃下干燥快，漆膜有较好的耐热性和电气性。供涂复一般电机、电器用硅钢片，但不宜涂复磷酸盐处理硅钢片
环氧酚醛漆	H52－1E －9 114	环氧树脂、酚醛树脂	F	附着力强，在200～350℃下干燥快，漆膜有较好的耐热性、耐潮性、耐腐蚀性和电气性能。供涂复大型电机、电器用硅钢片，且适宜于涂复磷酸盐处理硅钢片和其它硅钢片
有机硅漆	9475 W35－1	有机硅树脂	H	漆膜耐热性和电气性能优良。供涂复高温电机、电器用硅钢片，但不宜涂复磷酸盐处理硅钢片
聚酰胺酰亚胺漆	PAI－Q	聚酰胺酰亚胺树脂	H	漆的涂复工艺性和干燥性好，漆膜附着力强，耐热性高，耐溶剂优越。供涂复高温电机、电器用各种硅钢片

表 8.4.1－10　　**沥青松香类复合胶的组成、性能及用途**

名称 (型号)	组成	软化点 (环球法℃)	收缩率 150℃～20℃ ≯%	闪点(开口法) 不低于℃	击穿电压不低于kV/2.5mm	特性和用途
电缆胶 (1810)	甘油、松香、变压器油	40～50	8	135	45	抗冻裂性好。适于浇注10KV以上电缆接线盒和终端盒
电缆胶 (1811 或1812)	石油、沥青、变压器油	65～75或 85～95	9	230	35	耐潮性较好。适于浇注10KV以下电缆接线盒和终端盒

表 8.4.1－11　**环氧树脂胶、聚酯胶的组成、性能及用途**

名　称 (型号)	组　成	粘度 S (4 号计 20±1℃50%甲苯)	酸值不大于 mg(KOH/g)	安全硬化时间不多于 h	体积电阻率 (20±5℃) 不低于 Ω·cm	特　性　和　用　途
环氧聚酯胶(630)	环氧树脂聚酯树脂乙二胺	—	10	24	10^{12}	有较高的耐潮、耐水、耐寒和防霉性能。适于灌注工作温度为－60～120℃的无线电零部件
环氧聚酯胶(631)	环氧聚酯树脂,石英粉,苯二甲酸二丁酯乙二胺	—	10	—	—	有较高的耐水、耐寒、防霉能力。用于－60～＋120℃的无线电零部件及10kv 以下的电器浇灌
聚酯胶(132 和 133)	乙二胺,二元酸,蓖麻油,苯乙烯过氧化苯甲酰	20～40	20	—	—	附着力大,机械强度高,耐水及介电性能好。适于浇灌浸渍工作温度为－60～＋120℃的电器零部件及绕组

表 8.4.1－12　**熔敷粉末的品种、组成、特性和用途**

名　称	型　号	主　要　组　成	耐热等级	特　性　和　用　途
高温环氧粉末	CZ1530 171	601、604 环氧树脂、聚乙烯醇缩丁醛树脂、石英粉、气相二氧化硅、双氰胺	B	涂层坚硬、光亮、耐潮和耐腐蚀。用于不需弯曲的工件绝缘,中、小型电机槽绝缘以及电器零部件表面密封、防腐涂复
高温弹性环氧粉末	CZ1531 －1	604 环氧树脂、聚乙烯醇缩丁醛树脂,双氰胺	B	涂层柔软性较好,用于需要挠曲的工件绝缘或电机转子铜排绝缘
	CZ1531 －2	604 环氧树脂、聚乙烯醇缩丁醛树脂、癸二酸二酰肼	B	同上。但固化较快
低温环氧粉末	CZ1532 173	601、604 环氧树脂、聚乙烯醇缩丁醛树脂、石英粉、二氨基二苯甲烷	B	涂层坚硬,固化温度较低。适用于小型变压器、电阻、电容、线圈等电子元件绝缘涂复

续上表

名称	型号	主要组成	耐热等级	特性和用途
聚酯粉末	174	对苯二甲酸多元醇聚酯树脂、石英粉、气相二氧化硅	F	涂层薄，弹性好，耐热性较高。适用于微电机槽绝缘或其他绝缘涂复
聚酯改性弹性环氧粉末	176	604 环氧树脂，已二酸聚酯树脂、聚乙烯醇缩丁醛树脂、石英粉、气相二氧化硅、双氰胺	B	涂层弹性好，无冷脆性，用于电机转子铜排或线圈的绝缘涂复

表 8.4.1－13 **漆布的品种、组成和用途**

名称	型号	标准编号	组成		耐热等级	特性和用途
			底材	绝缘漆		
油性漆布（黄漆布）	2010 2012	JB 2085－77	白细布	油性漆	A	2010 柔软性好，但不耐油。可用于一般电机、电器的衬垫或线圈绝缘。2012 耐油性好，可用于有变压器油或汽油气侵蚀的环境中工作的电机、电器的衬垫或线圈绝缘
油性漆绸（黄漆绸）	2210 2212	GB1306－77	薄绸	油性漆	A	具有较好的电气性能和良好的柔软性。2210 适用于电机、电器薄层衬垫或线圈绝缘；2212 耐油性好，适用于有变压器油或汽油气侵蚀的环境中工作的电机、电器的薄层衬垫或线圈绝缘
油性玻璃漆布（黄玻璃漆布）	2412	JB880－75	无碱玻璃布	油性漆	E	耐热性较 2010、2012 漆布好，适用于一般电机、电器的衬垫和线圈绝缘，以及在油中工作的变压器、电器的线圈绝缘
沥青醇酸玻璃漆布	2430	GB1307－77	无碱玻璃布	沥青醇酸漆	B	耐潮性较好，但耐苯和耐变压器油性差。适用于一般电机、电器的衬垫和线圈绝缘
醇酸玻璃漆布	2432	GB1308－77	无碱玻璃布	醇酸三聚氰胺漆	B	耐油性较好，并具有一定的防霉性。可用作油浸变压器、油断路等线圈绝缘
醇酸玻璃、聚酯交织漆布	2432－1	—	玻璃纤维聚酯纤维交织布			
醇酸薄玻璃漆布	—	—	无碱玻璃布	醇酸三聚氰胺漆	B	具有良好的弹性和韧性，较高的机械性能、电气性能和耐热性，并具有一定的防霉性和耐油性。可代替漆绸作电器线圈绝缘
醇酸薄玻璃、聚酯交织漆布	—	—	玻璃纤维聚酯纤维交织布			

续上表

名称	型号	标准编号	组成		耐热等级	特性和用途
			底材	绝缘漆		
环氧玻璃漆布	2433	Q/D262—67	无碱玻璃布	环氧酯漆	B	具有良好的耐化学药品腐蚀性，良好的耐湿热性和较高的机械性能和电气性能，适用于化工电机、电器槽绝缘，衬垫和线圈绝缘
环氧玻璃—聚酯交织漆布	2433—1	—	玻璃纤维聚酯纤维交织布			
有机硅玻璃漆布	2450	JB881—75	无碱玻璃布	有机硅漆	H	具有较高的耐热性，良好的柔软性，耐霉、耐油和耐寒性好。适用于H级电机、电器的衬垫和线圈绝缘
有机硅薄玻璃漆布	—	—	无碱玻璃布	有机硅漆	H	具有较高的耐热性，良好的柔软性、耐霉、耐油和耐寒性好。适用于H级特种电器线圈绝缘
硅橡胶玻璃漆布	2550	Q/D 143—66	无碱玻璃布	甲基硅橡胶瓷漆	H	具有较高的耐热性，良好的柔软性和耐寒性。适用于特种用途的低压电机端部绝缘和导线绝缘
聚酰亚胺玻璃漆布	2560	—	无碱玻璃布	聚酰亚胺漆	C	具有很高的耐热性，良好的电气性能，耐溶剂和耐辐照性好，但较脆。适用于工作温度高于200℃的电机槽绝缘和端部衬垫绝缘，以及电器线圈和衬垫绝缘
有机硅防电晕玻璃漆布	2650	JB882—66	无碱玻璃布	有机硅防电晕瓷漆	H	具有稳定的低电阻率，耐热性好。适于作高压电机定子线圈防电晕材料

表 8.4.1—14　**各种漆管的品种、组成、性能和用途**

名称	型号	组成		击穿电压(kv)①				耐压等级	特性和用途
		底材	浸渍漆	常态	缠绕后	受潮后	热态		
油性漆管	2710	棉纱管	油性漆	>5	>2	>1.5	—	A	具有一定的电气性能，柔软性和弹性，但耐潮、耐热、防霉性差。适于作一般电机，电器和仪表设备的布线绝缘
油性玻璃漆管	2714	无碱玻璃丝管	油性漆	>5	>2	>2.5	—	E	
醇酸玻璃漆管	2730	无碱玻璃纱管	醇酸漆	>5	>2	>2.5	—	B	耐热性较2710、2714高，但弹性及柔软性较差，适于电机、电器设备的引出线和连接线绝缘
聚氯乙烯玻璃漆管	2731	无碱玻璃纱管	改性聚氯乙烯树脂	>5	>4	>2.5	—	B	具有优良的柔软性和弹性，较好的电性能、机械性能及耐化学性能。适于作电机、电器、仪表等设备的布线绝缘

续上表

名　称	型　号	组　成		击穿电压(kV)①				耐压等级	特　性　和　用　途
		底 材	浸渍漆	常态	缠绕后	受潮后	热态		
有机硅玻璃漆管	2750	无碱玻璃纱管	有机硅漆	>4	>1.5	>2	—	H	具有高的耐热性，耐潮性和一定的电性能。适于H级电机、电器等设备的布线绝缘和机械保护
硅橡胶玻璃丝管	2751	无碱玻璃纱管	硅橡胶	>4	—	>2	—	H	具有优良的弹性和耐寒性、耐热性，较好的电性能。适用于在－60～180℃工作的电机、电器和仪表的接线绝缘

① 指漆管内径>1.5mm者，小于1.5mm的，不得低于规定值的75%

表8.4.1－15　　**几种绑扎带的性能**

名　称	聚酯绑扎带	环氧绑扎带	聚芳烷基醚酚绑扎带	聚胺一酰亚胺绑扎带
型号	B—17	F—17	—	—
含胶量% 其中可溶性树脂占胶总量的百分数%	27±3 97	25±2 93	27±3 —	20±3
挥发物%	3±0.5	3±0.5	—	—
环抗张强度 kN/cm² （室温） （热态）	>80 保留60～65% （130℃）	>90 保留60～65% （130℃）	— >60 （180℃）	>60 >50 （180℃）
耐热等级	B	F	H	H
贮存期　　月 （室温） （5℃）	3 —	— 1	3 —	1 —
工作预热温度℃	80～100	80～110	—	800～100
烘焙固化温度和时间℃/h	80～90/2 11～120/2 130～140/17～20	80～90/2 110～120/2 130～155/17～20	80～90/2 140/2 160/2 180/15～16	80/2 100～120/4 160/2 180/2 200/2

表 8.4.1—16　　层压板的主要品种、组成、特性和用途

名称	型号	组成		耐热等级	特性和主要用途
		底材	胶粘剂		
酚醛层压纸板	3020	浸渍纸	甲酚甲醛树脂	E	击穿强度高，耐油性好。适用于电机、电器设备中作绝缘结构零件。并可在变压器油中使用
	3021	浸渍纸	苯酚或甲酚甲醛	E	机械强度高于 3020，耐油性也好。适用于机械性能要求较高的电气设备中，并可在变压器油中使用
	3022	浸渍纸	甲酚甲醛	E	有一定耐潮性能。适用于作潮湿条件下工作的电气设备绝缘结构零件
	3023	浸渍纸	甲酚甲醛	E	介损低。适用于无线电、电器设备中作绝缘结构零件
酚醛层压布板	3025	棉布	苯酚甲醛树脂	E	机械性能高，可进行冲剪加工。适用电机、电器设备中作绝缘零部件，可在变压器油中使用
	3027	棉布	苯酚甲醛加甲酚甲醛树脂	E	介电性能高于 3025，吸水性小。适用于一般无线电装置中作绝缘结构零件
酚醛层压玻璃布板	3230	无碱玻璃布	苯酚甲醛树脂	B	机械强度、耐热性、耐水性比层压纸、布板好，但粘合强度低。适于作电工设备中的绝缘结构件，可在变压器油中使用。
苯胺酚醛层压玻璃布板	3232	化学处理无碱玻璃布	酚醛树脂	B	机械性能、介电性能均高于 3230，适于潮湿环境和变压器油中使用
环氧酚醛层压玻璃布板	3240	无碱玻璃布	环氧酚醛树脂	F	有很高的机械强度，电气性能好，耐热性、耐水性好，浸水后电气性能稳定。适于作要求高介电性能和耐潮性的绝缘结构零部件
有机硅环氧层压玻璃布板	3250	沃蓝处理玻璃布	有机硅环氧树脂	H	介电性能好，防雷性好。适于作热、潮地区的 H 级电机、电器绝缘零件
有机硅层压玻璃布板	3251	沃蓝处理玻璃布	有机硅树脂	H	耐热性好，防雷性好，并能耐化学药品腐蚀，可作 H 级电机、电器绝缘结构件
聚胺酰亚胺层压玻璃布板	—	无碱玻璃布	聚胺酰亚胺树脂	H	具有良好的机械性能、介电性能、耐热耐辐照性。适于作 H 级电机、电器绝缘结构件
环氧酚醛玻璃布敷铜箔板	3440（双面）3441（单面）	无碱玻璃布	环氧酚醛树脂	F	具有较高的抗剥强度和机械强度，介电性能和耐水性能好。适用于工作温度较高的无线电、电子设备中作印制电路板
防电晕半导体层压玻璃板	—	无碱玻璃布	碳黑环氧酚醛树脂	B	具有半导体的性能(低电阻)。适于作大型电机槽之间的防晕材料，并可作为高温下耐磨结构零部件材料

表 8.4.1—17　　**主要管制品的品种、组成、特性和用途**

名　称	型　号	组　成		耐热等级	特　性　和　用　途
		底　材	胶粘剂		
酚醛纸管	3520	卷绕纸	苯酚醛树脂	E	介电性能好，适于作电机、电器绝缘结构，可在变压器油中使用
	3522	卷绕纸	苯酚醛树脂	E	介质损耗较小，适于作无线电和电信装置中的绝缘结构件
酚醛布管	3526	煮炼布	苯酚醛树脂	E	具有较高的机械强度和一定的介电性能，适于作电机、电器结构件，可在变压器油中使用
环氧酚醛玻璃布管	3640	无碱玻璃布	环氧酚醛树脂	B—F	具有高的电气性和机械性能，耐潮性和耐热性较好，适于作电机、电器绝缘结构件，可在高场强，潮湿环境或变压油中使用
有机玻璃布管	3650	无碱玻璃布	改性有机硅树脂	H	具有高耐热性，耐潮性，适于作H级电机、电器的绝缘结构件

表 8.4.1—18　　**模压制品的品种、组成、特性和用途**

名　称	型　号	组　成		耐热等级	特　性　和　用　途
		底　材	胶粘剂		
酚醛纸棒	3720	浸渍纸	酚醛树脂	E	具有一定的介电性能和机械性能，适于作电机、电器及其它设备的绝缘结构件，可在变压器油中使用
酚醛布棒	3721	棉布	酚醛树脂	E	具有较好的介电性能和机械性能，适于作电机、电器设备中的绝缘结构件，并可在度压器油中使用
环氧酚醛玻璃布棒	3840	无碱玻璃布	环氧酚醛树脂	B—F	具有良好的介电性能和机械性能，适于作电机、电器设备中的绝缘结构件，可在湿热地区或变压器油中使用
环氧酚醛玻璃布"v"形环	上3841	无碱玻璃布	环氧酚醛树脂	B	具有良好的机械性能和介电性能，适于在交、直流电机和电焊机的整流子上作绝缘零件

表 8.4.1—19

一般电工用热塑性塑料的主要性能

序号	性能名称	聚苯乙烯		改性聚苯乙烯			苯乙烯—丁二烯—丙烯腈共聚物			聚甲基丙烯酸甲酯	聚酰胺(尼龙)1010		聚碳酸酯		聚砜	聚甲醛		聚苯醚	
		纯 料	玻璃纤维增强	203A	204	AS	高抗冲击型	中抗冲击型	耐热型		纯 料	玻璃纤维增强	纯 料	玻璃纤维增强		共 聚	均 聚	纯 料	改 性
1	相对密度	1.04～1.09	1.2～1.3	1.1	1.01	1.06	1.02～1.04	1.05～1.07	1.06～1.08	1.17～1.20	1.04～1.09	1.23～1.30	1.20	1.40～1.45	1.24	1.41～1.43	1.42～1.43	1.06～1.07	1.06
2	硬度洛氏	M65～80	M90～95	—	—	—	R65～109	R108～121	R105～116	M85～105	—	—	M70～80R118	M93	R120	M94 R120	M80～94	M78R118～123	M78 R119
3	吸水率%	0.03～0.10	0.05～0.07	—	0.17	—	0.3	0.3	0.2	0.3～0.4	0.5～1.0	0.05	0.13～0.24	0.07～0.1	0.12～0.22	0.22～0.25	0.25	0.06～0.07	0.07～0.14
4	熔点℃	200	—	—	—	—	217～237	217～237	217～237	>108	200～210	—	220～230		343～360	166	175	>300	—
5	马丁氏耐热性℃	> 56	—	76	75	79～81	>50	—	—	65	42～48	90～180	110～140	150～152	156	57～75	60～64	144～160	—
6	维卡耐热性℃	>80	—	>80	—	93～94	71～80	—	—	>110	123～160	—	156	—	—	148～158	154	—	—
7	连续耐热性℃(不受力)	65	82～93	—	60～96	—	71～99	71～93	87～110	—	82～120	—	121	140～141	150	104	85	185～220	100～130
8	脆化温度℃	>－30	—	>－30	>－30	>－40	—	－40	—	—	－60	－60	－100		－100	－40	—	－127	－45
9	线膨胀系数 $\times 10^{-6}$/℃	8	3.0～4.5	—	—	—	9.5～10.5	5～8.5	6.0～9.0	5.0～9.0	8.5～16	3.1	5～7	1.6～2.7	5.0～5.2	10.9～11.4	8.1～10.0	5.0～5.6	6.0～6.7
10	模塑收缩率%	0.4～0.7	0.1～0.3	0.4～0.7	0.4～0.7	0.4～0.7	0.3～0.8	0.3～0.8	0.3～0.8	0.5	1.0～2.5	1.2～1.5	0.5～0.8	—	0.8	2.0～3.0	2.0～2.5	0.7～1.0	0.5～0.7

续上表

序号	性能名称	聚苯乙烯		改性聚苯乙烯			苯乙烯—丁二烯—丙烯腈共聚物			聚甲基丙烯酸甲酯	聚酰胺(尼龙)1010		聚碳酸酯		聚砜	聚甲醛		聚苯醚	
		纯料	玻璃纤维增强	203A	204	AS	高抗冲击型	中抗冲击型	耐热型		纯料	玻璃纤维增强	纯料	玻璃纤维增强		共聚	均聚	纯料	改性
11	伸长率%	1.0～2.5	0.75～1.1	—	12～48	—	5～60	5～25	3～20	2～10	50～250	—	60～130	1～5	20～100	32～75	15～25	30～80	20～30
12	体积电阻率 Ω·cm	10^{16}～10^{17}	$>10^{16}$	$>10^{15}$	$>10^{10}$	$>10^{16}$	$>10^{16}$	$>10^{16}$	$>10^{16}$	5.0×10^{16}	$>10^{14}$	10^{11}～10^{15}	$>10^{16}$	$>10^{16}$	$>10^{16}$	$>10^{14}$	$>10^{14}$	10^{16}～10^{17}	$>10^{17}$
13	表面电阻率 Ω	—	—	$>2.0\times10^{15}$	1.4×10^{13}	$>10^{12}$	$>10^{15}$	$>10^{15}$	$>10^{15}$	$>10^{15}$	$>10^{14}$	$>10^{15}$	$>10^{15}$	—	$>10^{16}$	$>10^{14}$	$>10^{14}$	10^{15}～10^{17}	—
14	击穿强度 kV/mm	20～28	14～17	29	25	22	13～18	14～16	14～16	18～22	15～24	18～29	17～22	19～29	16～20	19	18	16～21	—
15	介质损耗角正切(50Hz)	1×10^{-4}～3×10^{-3}	$(1\sim3)\times10^{-3}$	—	$(1\sim3)\times10^{-4}$	1×10^{-2}	3×10^{-3}～2×10^{-2}	$(3\sim8)\times10^{-3}$	3.4×10^{-2}	$(2\sim6)\times10^{-2}$	$(2\sim3)\times10^{-2}$	2.7×10^{-1}	$(6\sim7)\times10^{-5}$	$(3\sim7)\times10^{-3}$	$(1\sim6)\times10^{-3}$	5×10^{-3}	4×10^{-3}	3.5×10^{-4}～1×10^{-3}	$(4\sim6)\times10^{-4}$
16	相对介电系数	2.4～2.7	2.7～3.4	—	3.12	—	2.4～5.0	2.4～5.0	2.7～3.5	3.0～3.7	2.5～3.6	3.5～4.6	3.0	3.2～3.5	2.9～3.1	3.8	3.7	2.58	2.64
17	燃烧性	易燃	易燃	易燃	易燃	易燃	缓慢	缓慢	缓慢	可燃	自熄	自熄	自熄	不燃	自熄	缓慢	缓慢	缓慢—自熄	自熄

表 8.4.1—20　　**常用橡胶的品种和性能**

序号	名称	天然橡胶 NR	丁苯橡胶 SBR	三元乙丙橡胶 EPDM	丁基橡胶 HR	氯丁橡胶 CR	丁腈橡胶 NBR	氯磺化聚乙烯 CSM 或 CSPE	氯化聚乙烯 CM 或 CPE	硅橡胶	氟硅橡胶	氟橡胶（26 型）
1	相对密度	0.92～0.96	0.94	0.86	0.91	1.23～1.25	0.96～1.02	1.12～1.28	1.16～1.32	0.97	1.4	1.85
2	硬度(邵氏)	20～100	35～100	30～90	15～75	20～95	10～100	40～95	—	30～80	50～60	50～60
3	脆化温度℃	−50～−60	−30～−60	−40～−60	−40～−55	−35～−55	−15～−40	−40 −60	—	−70～−115	−63	−34～−45
4	长期工作温度℃	60～65	65～70	80～90	80～85	70～80	80～85	90～105	90～105	180～200	200	200
5	耐辐照剂量 ard	5×10^{5}	10^{5}	—	10^{5}	10^{7}	—	5×10^{7}	5×10^{7}	10^{5}	—	10^{5}～10^{7}
6	伸长率%(不加补强剂和填料)	750～850	400～800	300～800	400～800	400～900	450～700	100～600	400～500	200～800	100～200	100～500
7	体积电阻率 Ω·cm	10^{15}～10^{25}	10^{25}	10^{23}～10^{25}	10^{24}～10^{27}	10^{20}～10^{21}	10^{23}	10^{24}	10^{10}～10^{11}	10^{11}～10^{12}	10^{12}～10^{13}	10^{13}～10^{14}
8	击穿强度 kV/mm(瞬时)	>20	>20	30～40	25～30	10～20	15～20	15～20	15～20	20～30	>15	20～25
9	相对介电系数(10^{3}Hz)	2.3～3.0	2.9	3.0～3.5	2.1～2.4	7.5～9.0	13.0	7.0～10	7.0～10	3.0～3.5	6.9～7.4①	—
10	介质损耗角正切(10^{3}Hz)	0.0023～0.0030	0.0032	0.004②	0.003	0.03	0.055	0.03～0.07	0.01～0.03	0.001～0.01	0.03～0.07①	0.3～0.4
11	回弹性	优③	可	可	差	良	可	可	可	劣～良	—	可
12	抗撕性	良	可	可～良	良	良	良	可	优	可～良	—	可
13	抗压缩变形	良～优	良～优	良	可	可	良	可	可	良～优	良	优
14	耐磨性	优	良～优	良～优	良	优	优	优	优	差～良	—	良
15	耐酸性　稀酸	可～良	可～良	优	优	优	良	优	优	优	良	优
	浓酸	可～良	可	优	优	良	良	良	良	可	可	优
16	耐碱性	可～良	可～良	优	优	良	可	良	良	差～良	差～良	优
17	耐溶剂性　脂肪烃	差	差	差	差	良	优	良	良	差	优	优
	芳烃	差	差	差	差	可	良	可	可	差	优	优
	氯烃	劣	劣	差	差	劣	劣	差	差	劣	优	优

续上表

序号	名称	天然橡胶 NR	丁苯橡胶 SBR	三元乙丙橡胶 EPDM	丁基橡胶 HR	氯丁橡胶 CR	丁腈橡胶 NBR	氯磺化聚乙烯 CSM 或 CSPE	氯化聚乙烯 CM 或 CPE	硅橡胶	氟硅橡胶	氟橡胶（26型）
	油脂	劣	劣	差	劣	良	可～优	良	良	差～良	优	优
	动植物油	差	可～良	良～优	优	良	优	良	良	优	优	优
18	耐水性	优	优	优	优	良	良	良	良	优	优	优
19	耐阳光性	差	差	优	优	优	差	优	优	优	优	优
20	对氧的稳定性	良	良	优	良～优	优	可	优	优	优	优	优
21	耐臭氧性	差～可	差～可	优	优	优	差	优	优	优	优	优
22	阻燃性	差	差	差	差	良	差	良	良	可～优	良～优	良

注：①100Hz。②50Hz。③优、良、可、差、劣表示性能优劣顺序。

表 8.4.1－21 **电线电缆用塑料的性能**

序号	性能名称	聚氯乙烯		聚乙烯				聚丙烯	氟塑料						氯化聚醚
		绝缘级	护层级	低密度	中密度	高密度	交联		F－4	F－46	F－40	PFA	F－2	F－3	
1	相对密度	约 1.5	约 1.25	0.910～0.925	0.926～0.940	0.941～0.965	0.92	0.90～0.91	2.13～2.20	2.14～2.17	1.7	—	1.76	2.1～2.16	1.4
2	硬度	D95	D33	R10	R15	R30～50	—	R90～110	D50～60	R25	R50	D60	D70～80	R111～115	R100
3	吸水率%不大于	0.5	1.0	0.02	0.02	0.01	—	0.03	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	—	0.01
4	伸长率%	>200	>300	20～350	100～600	15～700	>200	400～700	200～300	250～330	>200	>300	>300	125～175	60～160
5	体积电阻率 Ω·cm	10^{13}～10^{14}	10^{9}～10^{10}	>10^{25}	>10^{25}	>10^{25}	>10^{25}	>10^{25}	>10^{27}	>10^{27}	>10^{27}	>10^{27}	>10^{26}	>10^{27}	>10^{25}
6	相对介电系数（50Hz）	5.0～6.0	—	2.3	2.3	2.35	2.3	2.2	2.0	2.1	2.6	2.1	8.4	2.3～2.8	3.0

序号	性能名称	聚氯乙烯		聚乙烯				聚丙烯	氟塑料						氯化聚醚
		绝缘级	护层级	低密度	中密度	高密度	交联		F−4	F−46	F−40	PFA	F−2	F−3	
	(10^3Hz)	4.5～5.8	—	2.3	2.3	2.35	2.3	2.2	2.0	2.1	2.6	2.1	7.7	2.3～2.8	3.0
	(10^6Hz)	3.5～4.5	—	2.3	2.3	2.35	2.3	2.2	2.0	2.1	2.6	2.1	6.4	2.3～2.8	3.0
7	介质损耗角正切(50Hz)	5×10^{-2}～1.5×10^{-1}	—	2×10^{-4}	2×10^{-4}	2×10^{-4}	5×10^{-4}	$(2～3)\times10^{-4}$	$<2\times10^{-4}$	$<3\times10^{-4}$	6×10^{-4}	3×10^{-4}	5×10^{-2}	1.2×10^{-3}	1×10^{-2}
	(10^3Hz)	6×10^{-2}～1.6×10^{-1}	—	2×10^{-4}	2×10^{-4}	2×10^{-4}	5×10^{-4}	$(2.5～3)\times10^{-4}$	$<2\times10^{-4}$	$<3\times10^{-4}$	8×10^{-4}	3×10^{-4}	1.9×10^{-2}	3.6×10^{-2}	1×10^{-2}
	(10^5Hz)	7×10^{-2}～1.7×10^{-1}	—	2×10^{-4}	2×10^{-4}	2×10^{-4}	5×10^{-4}	$(4～6)\times10^{-4}$	$<2\times10^{-4}$	$<7\times10^{-4}$	5×10^{-3}	3×10^{-4}	1.6×10^{-2}	3.6×10^{-3}	1×10^{-2}
8	击穿强度 kV/mm	>20	16～18	18～28	20～28	18～20	18～28	30～35	>19	20～24	16～20	—	10～50	>20	>16
9	耐电弧性 s	—	—	熔融	熔融	>125	—	—	>300	>300	75	—	>50	>300	—
10	燃烧性	自熄	缓慢	缓慢	缓慢	缓慢	缓慢	缓慢	非燃	非燃	非燃	非燃	自熄	自熄	自熄
11	长期工作温度 ℃	65～105	65	70	70	70	80～90	120	250	205	150～180	250	130～150	130～150	120

表 8.4.1−22 **云母薄片的面积规格**

规格编号	面　积① cm²	规格编号	面　积① cm²
#3	65 以上	#6	15～20
#4	50～65	#6 $\frac{1}{2}$	10～15
#4 $\frac{1}{2}$	40～50	#7	6～10
#5	30～40	#8	4～6
#5 $\frac{1}{2}$	20～30		

① 指云母片上最大矩形面积。

表 8.4.1－23　　**云母薄片的厚度组别**

规格编号	组别	厚度 μm
#3、#4、#4 $\frac{1}{2}$、#5、#5 $\frac{1}{2}$、#6、#6 $\frac{1}{2}$、#7	Ⅰ	10～20
#3、#4、#4 $\frac{1}{2}$、#5、#5 $\frac{1}{2}$、#6、#6 $\frac{1}{2}$、#7	Ⅱ	20～30
#8	Ⅲ	5～35

表 8.4.1－24　　**电容器及电子管用云母片的面积、厚度、规格**

规格编号	电容器用云母片		电子管用云母片	
	面　积① cm^2	厚度② μm	直径③ mm	厚度 mm
#1	155 以上	(1)20～25 (2) 26～35 (3) 36～45 (4)46 以上	18	0.2 以上
#2	90～155		20	0.2 以上
#3	65～90		25	0.25 以上
#4	40～65		30	0.25 以上
#5	20～40		50	0.3 以上
#6	10～20		70	0.3 以上
#7	6～10		80	0.3 以上
#8	—		100	0.3 以上
#9	—		119	0.3 以上

① 指云母片上最大矩形面积。

② 每一规格编号的云母，均有四种厚度规格。

③ 指云母片上有效面积内可冲剪零件的直径。

表 8.4.1－25　　**云母带和粉云母带的品种、性能和用途**

名称(型号)	产品标准号	主要成分	耐热等级	厚度(mm)	击穿强度(kv/mm)	抗张力(kgf)	性能和用途
沥青绸云母带(5032)	JB896－74	白云母＞45%、沥青漆 20～35%，挥发物＞6%，单面绸，单面云母带纸	A～E	0.13 0.16	16～25	5～6	柔软性。防潮性和介电性能好，储存期较长。作线圈绕包绝缘，易嵌线，但绝缘厚度偏差大，耐热性较低，可作高压主绝缘
沥青玻璃云母带(5034)	JB896－74	白云母＞45%、沥青漆 20～35% 挥发物＞6%，单面玻璃布，单面云母带纸	E	0.13 0.16	16～25	5～10	
醇酸纸云母带(5430)	JB896－74	白云母 50%，醇酸漆 15～30%，挥发物＜4%，双面云母带纸	B	0.10 0.13 0.16	16～25	3～6	耐热性较高，但防潮性较差。可作直流电机电枢线圈和低压电机线圈的绕包绝缘

续上表

名称(型号)	产品标准号	主要成分	耐热等级	厚度(mm)	击穿强度(kv/mm)	抗张力(kgf)	性能和用途
醇酸玻璃云母带(5434)	JB896—74	白云母＞45%，醇酸漆15%～30%，挥发物＜4%，单面无碱玻璃布，单面云母带纸	B	0.10 0.13 0.16	16～25	7～14	耐热性较高，但防潮性较差。可作直流电机电枢线圈和低压电机线圈的绕包绝缘
环氧聚脂玻璃粉云母(5437—1)	JB1480—74	粉云母＞37%，环氧树脂漆20%～40%，挥发物＜3%，双面无碱玻璃布	B	0.14 0.17	20～35	7～14	热弹性较高，在室温下储存期为6个月，介质损耗大。可代替醇酸云母带作电机匝间绝缘和端部绝缘，不宜作高压电机主绝缘
环氧玻璃粉云母带(5438—1)	JB1259—74	粉云母＞37%，桐油酸酐环氧树脂漆35%～41%，挥发物＜2%，双面无碱玻璃布	B	0.14 0.17	24～45	10～20	含胶量大，厚度均匀，固化后电气、机械性能较好，但储存期短(半个月)。适于模压或液压成型的高压电机线圈绝缘
钛改性环氧玻璃云母带(9541—1)	—	粉云母＞37%，桐油酸酐钛改性环氧树脂漆35%～41%，挥发物＜2%，双面无碱玻璃布	B	0.14 0.17	24～45	10～20	柔软性好，绕包工艺性好，固化时间长。适宜作液压成型的高压电机的主绝缘
环氧玻璃粉云母带	—	粉云母＞37%，硼胺环氧树脂漆28%～40%，挥发物3%，双面无碱玻璃布	B	0.11 0.13	24～45	10～20	储存期长。适用于整浸式中型高压电机的主绝缘
有机硅玻璃云母带(5450)	JB896—74	白云母＞40%，有机硅漆15%～35%，挥发物＜2%，单面或双面无碱玻璃布	H	0.10 0.13 0.16	16～25	7～17	耐热性高。主要用于要求耐高温电机或牵引电机线圈绝缘
有机硅玻璃粉云母带(5450—1)	JB1490—74	粉云母＞37%，有机硅漆20%～40%，挥发物＜2%，双面无碱玻璃布	H	0.14 0.17	16～30	7～17	耐热性高。主要用于要求耐高温电机或牵引电机线圈绝缘

表 8.4.1—26　　　　　　　　　　　**几种云母板的组成、性能及用途**

类别	名称（型号）	主要成分	耐热等级	击穿电压（常态）(kv/mm)					体积电阻率 (Ω·cm)		用途
				0.15mm	0.2～0.25mm	0.3～0.5mm	0.6～1.2mm	0.4～2.0mm	常态	受潮48h后	
柔软云母板	醇酸纸柔软云母板(5130)	白云母＞50%，醇酸漆 15%～30%，双面云母带纸	B	15～28	20～30	15～26	—	—	$>10^{12}$	$>10^{10}$	做一般低压交直流电机定子、电机槽衬和端部层间绝缘
	醇酸玻璃柔软云母板(5131)	白云母＞45%，醇酸漆 15%～30%，双面无碱玻璃布	B	16～20	18～25	16～22	—	—	$>10^{12}$	$>10^{10}$	做一般低压交直流电机定子、电机槽衬和端部层间绝缘
	环氧薄膜玻璃柔软粉云母板(5138—1)	粉云母＞30%，环氧聚脂 10%～30%，聚脂薄膜与无碱玻璃布	B	—	＞35	＞35	—	—	—	—	用于高压电机定子线圈匝间绝缘或其它衬垫绝缘
	有机硅柔软云母板(5150)	白云母＞75%，有机硅漆 15%～25%	H	＞20	＞25	＞20	—	—	$>10^{12}$	$>10^{10}$	用于工作温度达180℃的低压交直流电机定子、电枢槽部和层间绝缘
塑型云母板	醇酸塑型云母板(5230)	白云母 75～85%，醇酸漆 15%～25%	B	35～50	35～50	30～40	25～30	—	$>10^{13}$	$>10^{12}$	用于电机整流子v型环和电器绝缘构件
	有机硅塑型云母板(5250)	白云母 75%～85%，有机硅硅漆 15%～25%	H	35～50	35～50	30～40	＞25	—	$>10^{13}$	$>10^{11}$	供耐热电机、电器、仪表做绝缘结构零部件

续上表

类别	名称（型号）	主要成分	耐热等级	击穿电压（常态）（kv/mm）					体积电阻率（Ω·cm）		用途
				0.15mm	0.2～0.25mm	0.3～0.5mm	0.6～1.2mm	0.4～2.0mm	常态	受潮48h后	
换向器云母板	虫胶换向器云母板（5535）	白云母>94%，虫胶漆<6%	B	—	—	—	—	18～35	—	—	用于一般直流电机换向器绝缘
	环氧换向器粉云母板（5536—1）	粉云母纸>90%，环氧树脂漆<10%	B	—	—	—	—	20～40	—	—	用于汽车电机和其它小型直流电机换向器绝缘
	磷酸胺换向器金云母板（5560—2）	金云母和磷酸胺	H	—	—	—	—	>18	5×10^{12}	5×10^{10}	用于耐高温的电机换向器片间绝缘
衬垫云母板	醇酸衬垫云母板（5730）	白云母75%～85%，醇酸漆15%～25%	B	—	—	—	—	20～40	>10^{13}	>10^{12}	用于电器开关、仪表、无线电装置作衬垫绝缘
	有机硅衬垫云母板（5755）	白云母80%～95%，有机硅漆5%～20%	H	30～50	—	—	—	>20	5×（10^{12}～10^{13}）	5×（10^{10}～10^{11}）	用于汽轮发电机和高温电机、电器作槽衬绝缘和匝间绝缘
	磷酸胺衬垫金云母板（5760—2）	金云母和磷酸胺	H	—	—	—	—	>10	5×（10^{12}～10^{13}）	5×（10^{10}～10^{11}）	供H级绝缘的电机作衬垫绝缘

表 8.4.1－27　　几种云母箔的组成、性能及用途

名　称 (型　号)	耐热等级	主　要　组　成	击穿电压 kv/mm	用　途
醇酸纸云母箔 (5830)	B	白云母＞50%，醇酸漆 12%～30% 挥发物＜4%，电话纸	16～35	一般电机、电器拱券绝缘磁极及线圈绝缘
虫胶纸云母箔 (5831)	E～B	白云母＞50%，虫胶漆 12%～30% 挥发物＜4%　电话纸	16～35	一般电机、电器拱券绝缘磁极及线圈绝缘
醇酸玻璃云母箔 (5832)	B	白云母＞45%，醇酸漆 15%～30% 挥发物＜4%，无碱玻璃布	16～35	要求机械强度较高的电机、电器拱券绝缘，磁极绝缘
虫胶玻璃云母箔 (5833)	B	白云母＞45%，虫胶漆 15%～30% 挥发物＜4%，无碱玻璃布	16～35	要求机械强度较高的电机、电器拱券绝缘、磁极绝缘
有机硅玻璃云母箔 (5850)	H	白云母＞45%，有机硅漆 15～30% 挥发物＜4%，无碱玻璃布	16～35	H级电机、电器拱券绝缘，磁极绝缘

表 8.4.1－28　　云母玻璃的性能

性　能	云　母　玻　璃	合成云母玻璃
密度　g/cm^3	2.65～2.8	2.6～3.8
抗弯强度　kN/cm2	7.6～8.6	8.5～10
耐热性　℃	300～350	350～650
体积电阻率　Ω·cm	10^{13}～10^{16}	10^{15}
介质损耗角正切(10^6Hz)	1.3×10^{-3}～5×10^{-3}	1.3×10^{-3}～2.3×10^{-3}
相对介电系数　(10^6Hz)	6.5	6.8～9.8
击穿强度　kv/mm	14～20	13～20

4　电工玻璃及陶瓷

4.1　电工用玻璃的分类及用途

电工玻璃按其用途不同可分为下列几类：

1) 装置用玻璃

它主要用做各种绝缘子、绝缘零件、封装材料及仪器设备上的保护罩等。这类玻璃要求具有良好的机械性能和介电性能，耐热、耐潮性能，化学性能稳定。

2) 电真空玻璃

它主要用作照明灯泡、电子管的外壳及管内绝缘支架。这类玻璃要求具有良好的热稳定性(耐热冲击)、化学性能稳定及与相连接的金属接近的热膨胀系数。

3) 电容器玻璃

它主要用于较高电压(10～20kV) 的电容器作介质。如高压滤波器，冲击电压发生器的电

容器中。对它的要求是介电系数大，介质损耗小和有较高的耐电强度。

4）玻璃釉（即玻璃珐琅）

它主要用作涂覆金属制品和非金属陶瓷制品的表面保护层。对它的要求是熔点低，膨胀系数接近被涂覆的材料。

5）玻璃纤维

它是熔融的无碱玻璃快速拉制而成的细丝，可以通过纺织制成各种绝缘制品，如玻璃纤维布、套管等。对它的要求是耐热、耐腐蚀、抗张强度高、介电性能好。

玻璃纤维制品的名称、型号、用途见表 8.4.1—29。

表 8.4.1—29　**几种玻璃纤维制品的名称、型号及用途**

名　　称	型　　号	主要用途
无碱玻璃纤维纱	4—600/2,4—360/2,5—250/2 6—160/2,6—80/2,6—80/4,8—40/2	供作玻璃丝包电磁线的绝缘以及编织玻璃套管
无碱、无捻玻璃纤维纱及吹制玻璃纤维	8—40/5,8—40/7,6—80/14,8—40/10, 8—40/15,8—40/20,8—40/30, 8—40/40,8—40/60	供作耐热的耐热的玻璃塑料及电机、电器的成型零部件
玻璃（丝）带	无碱带—60,无碱带—80,无碱带—100, 无碱带—170,无碱带—200,无碱带 Q—170, 无碱带 Q—200,无碱布 Q—270	在耐热电机、电器中，供高压线圈外层、低压线圈端头和磁极线圈等作包扎用
玻璃布	无碱布—25 ,无碱布—30 ,无碱布—40, 无碱布 Q—60,无碱、无捻布—200 等	供作耐热玻璃漆布及玻璃层压卷制品等

4.2　电工陶瓷的分类和用途

电工陶瓷是以粘土、石英及长石为原料，经碾磨、捏炼、成型、干燥、焙烧等工序制成。

电工陶瓷按其用途和性能可分为下列几类：

1）装置陶瓷

装置陶瓷分为低频瓷（即电工瓷）和高频瓷两类。低频瓷主要用于高压、低压及通信线路的绝缘子、绝缘套管、夹板等零件。这类瓷的电导和损耗较大，且随温度变化而变化，故不适于高频范围应用。

高频瓷要求电导、介质损耗等指标很严，故须严格控制陶瓷成分和生产工艺。

2）电容器陶瓷

电容器陶瓷的特点是介电系数很大，ε 值一般在 12～200 范围，介质损耗小，一般 $tg\delta$ 在 $1\times10^{-4}\sim6\times10^{-4}$左右，介电系数的温度系数范围广。适用作高压、低压电容器和回路补偿电容器以及高稳定度的电容器。

3）多孔陶瓷

多孔陶瓷的特点是结构中玻璃相少，而气相多，所以击穿强度低，而耐热性很高，根据用途可分为：

（1）多孔耐热陶瓷　用以制造各种线绕电阻器，滑线电阻和电热元件的支架或底盘；

（2）多孔填空陶瓷　用以制造各种电真空器件的绝缘零件。

第2章 导 电 材 料

1 导电材料的用途及分类

导电材料是主要的电工材料之一，它是用来传导电流和发生热、光、磁或化学效应的。

导电材料的分类，从物态来看，有固体、液体和某种状态下的气体都可作为导电材料。气体作为导电材料，只有当气体中存在离子或自由电子时才有可能。在弱电场强度下或是外界没有使它产生游离的因素时，气体都是不导电的。液体导电材料，包括熔融的金属和酸碱盐的溶液。由于一般金属熔点都很高(除汞是－39℃外)，酸碱盐溶液往往随电流的通过，伴随有化学变化发生，故在实际应用中用液体作为导材料是极少见的。固体导电材料主要是金属，它具有许多的优良性能，是实际应用中最常用的导电材料。

在常温下的金属(除汞之外)都是固体。常用的固体导电材料可分为高电导材料和特殊用途的导电材料两大类。

高电导材料是以纯金属为主的一些材料，它们特点是都具有很高的导电率，如铜、铝及其合金等。其中铜和铝主要是用来制作电线、电缆芯和电机、变压器等电气设备中电磁线圈的导体。

特殊用途的导电材料，包括高电阻材料、电热材料、电碳制品等。它们分别具有某种特殊性能和用途。如高电阻材料和电热材料，它们都是一些电阻较大的金属或合金。两者区别在于前者着重于电阻值稳定方面，而后者则着重于耐高温的特性方面。属于前者的材料如金钯铁铝合金(Pd50，Fe11、Al1、Au 余量)具有近似为零的电阻温度系数 a_p 和有较稳定的接触电阻和化学性能，常用于制作精度极高的电位器。属于后者的如镍铬合金(Cr20、Ni80)，它们可在 1000～1050℃的高温下工作，而且加工性能良好，可拉成细丝，是各种电器元件最常用的导电材料。

2 导电材料的性能

2.1 导 电 性

用作导电材料的金属，都具有较高的导电性，导电性能好的主要指标是导电材料的电阻率小。例如铜、铝是最常用的导电金属，在某些特殊用途上也采用其它金属作导电材料。导电金属的主要特性和用途见表 8.4.2－1 。

2.2 电 阻 性

电阻是衡量金属导电能力的重要指标和设计选用导电金属的主要参数。

金属导电的原因是由于自由电子的移动。自由电子在金属内的运动以波动的形式进行，这种电子波沿金属的晶格传播时，不断与晶格结点上作热振动的正离子碰撞，引起电子波散射。自由电子将本身的部分能量传给了晶格，使金属发热。当金属温度趋向于绝对零度(0K)

时，位于晶格结点上的正离子近于静止状态，自由电子可通行无阻，金属的电阻接近于零。当金属温度升高时，正离子的热振动加强，自由电子与其碰撞的机会增多，造成电子波散射，金属的导电能力就降低，即产生了电阻。金属内的杂质及冷加工变形等会使晶格畸变，使电子运动增加障碍，也引起电子波散射，增加电阻。金属电阻常以电阻率 ρ(Ω·mm²/m)表示：

$$\rho = R\frac{s}{L}$$

式中：s——导体的截面积，mm²；

L——长度；m；

R——电阻 Ω。

影响电阻的主要因素有：温度、合金元素及杂质、冷变形、热处理等。

表 8.4.2-1 **导电金属的主要特性和用途**

名称	符号	密度 g/cm²	熔点 ℃	抗拉强度 N/mm²	电阻率 (20℃) 10⁻²Ω·mm²/m	电阻温度系数(20℃) 10⁻³/K	主要特性	主要用途
银	Ag	10.50	961.93	160～180	1.59	3.80	有最好的导电性和导热性，抗氧化性好，易压力加工，焊接性能好	航空导线，耐高温导线，射频电缆等导体和镀层，瓷电容器极板等
铜	Cu	8.90	1084.5	200～220	1.69	3.93	有好的导电性和导热性，良好的耐蚀性和焊接性，易压力加工	各种电线电缆用导体，母线和载流零件等
金	Au	19.30	1064.43	130～140	2.40	3.40	导电性仅次于银和铜，抗氧化性特好，易压力加工	电子材料特殊用途
铝	Al	2.70	660.37	70～80	2.65	4.23	有好的导电性和导热性，良好的抗氧化性和耐蚀性，重量轻，易压力加工	各种电线电缆用导体，母线，载流零件和电缆护层等
钼	Mo	10.20	2620	700～1000	4.77	3.30	有高的硬度和抗拉强度，耐磨熔点高，性脆，高温易氧化，需特殊加工	超高温导体，电焊机电极，电子管栅极丝及支架等
钨	W	19.30	3387	1000～1200	5.48	4.50	抗拉强度很高，耐磨，熔点高，性脆，高温易氧化，需特殊加工	电光源灯丝，电子管灯丝及电极，超高温导体和电焊机电极等
锌	Zn	7.14	419.58	110～150	6.10	3.70	耐蚀性良好	导体保护层和干电池阴极等

续上表

名称	符号	密度 g/cm²	熔点 ℃	抗拉强度 N/mm²	电阻率 (20℃) $10^{-2}\Omega\cdot mm^2/m$	电阻温度系数(20℃) $10^{-3}/K$	主要特性	主要用途
镍	Ni	8.90	1455	400～500	6.90	6.0	抗氧化性好，高温强度高，耐辐射性好	高温导体保护层，高温特殊导体，电子管阳极和阴极等零件
铁	Fe	7.86	1541	250～330	9.78	5.0	机械强度高，易压力加工，电阻率比铜大 6～7 倍，交流损耗大，耐蚀性差	作广播线、电话线和爆破线等
铂	Pt	21.45	1772	140～160	10.5	3.0	抗氧化性和抗化学剂性特好，易压力加工	精密电表及电子仪器的零件等
锡	Sn	7.30	231.96	15～27	11.4	4.20	塑性高，耐蚀性好，强度和熔点低	导体保护层，焊料和熔丝等
铅	b	11.37	327.5	10～30	21.9	3.90	塑性高，耐蚀性好，比重大，熔点低	熔丝、蓄电池极板和电缆护套等
汞	Hg	13.55	－38.87	—	95.8	0.89	液体、沸点为 357℃，加热易氧化，蒸汽对人体有害	水银整流器、水银灯和水银开关等

3　型号及规格

3.1　高导电材料—铜、铝及其合金

船舶上应用的导电金属材料，除具有较高的导电性外，还应具有足够的机械强度，不易氧化，不易腐蚀，容易加工和焊接等特性。铜及其合金具有这些特性，因此船舶上广泛应用铜及其合金作导电材料。铝及其合金由于机械强度较差，船舶上应用较少。导电用铜的品种、成分和主要用途见表 8.4.2—2 。

表 8.4.2—2　　导电用铜的品种、成分和主要用途

品种		代号	含铜量%（不小于）	杂质%（不大于）												主要用途
				Bi	As	Sb	Fe	Ni	Pb	Sn	S	P	Zn	O	总和	
普通纯铜	一号铜	T_1	99.95	0.002	0.002	0.002	0.005	0.002	0.005	0.002	0.005	0.001	0.005	0.02	0.05	各种电线电缆用导体
	二号铜	T_2	99.90	0.002	0.002	0.002	0.005	0.006	0.005	0.002	0.005		0.005	0.006	0.10	开关和一般导电零件
无氧铜	一号	T_{u1}	99.97	0.002	0.002	0.002	0.005	0.002	0.005	0.002	0.005	0.003	0.003	0.003	0.03	电真空器件、电子管和电子仪器零件、温高
	二号	T_{u2}	99.95	0.002	0.002	0.002	0.005	0.006	0.005	0.002	0.005	0.003	0.003	0.003	0.05	温导体、趋导线的复合基体，和微细丝等真空开关触头
无磁性高纯铜			99.95	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.005	0.002	0.005	0.001	0.005	0.02	0.05	作无磁性漆包线的导体，用于制造高精密电器仪表的动圈

导电铜合金的品种、化学成分、加工特性性能和主要用途见表 8.4.2—3。

导电用铝的化学成分见表 8.4.2—4 。

导电用铝的性能和主要工艺参数见表 8.4.2—5。

导电铝合金的品种、成分、性能、特点和用途见表 8.4.2—6 。

导电用铝及铝合金的主要焊接与机械连接方法见表 8.4.2—7。

复合金属导体的产品名称、特性和用途见表 8.4.2—8 。

表 8.4.2—3 导电铜合金的品种、化学成分、加工特性、性能和主要用途

类别	名称	成分(%)	强化方式	加工特性	室温性能			高温性能	主要用途
					伸长率(%)	硬度(HB)	比电导(%IACS)	软化温度(℃)	
中强度、高电导铜合金(化电导为70%～98%IACS)	硬铜(作比较)	99.9CU	冷作硬化	500～700℃退火Ih后,冷加工	2～6	80～110	98	150	整流子片、架空导线、电车线
	银铜	Cu—0.2Ag	冷作硬化	800℃退火Ih后,冷加工	2～4	95～110	96	280	整流子片、点焊电极、发电机转子绕组、通信线、引线、导线、电子管材料
	银铬铜	Cu—0.5Cr—0.1Ag	时效硬化	1000℃保温Ih淬火,175℃时效Ih	2～4	130	82	500	点焊电极和缝焊轮
	稀土铜	Cu—0.1(Ce、La或混合稀土)	冷作便化	800℃退火Ih后,冷加工	2～4	95～110	96	280	整流子片、导线
	镉铜	Cu—ICd	冷作硬化	800℃退火1h后,冷加工	2～6	100～115	85	280	点焊电极、缝焊轮、焊机零件、大跨距架空导线、高强度绝缘导线、通信线、滑接导线
	铬镉铜	Cu—0.3Cr—0.3Cd	时效硬化	950℃保温Ih淬火,480℃时效Ih	6～9	100～120	85	380	点焊电极、架空导线、电车线、野战通信电缆、飞机用电缆
	铬铜	Cu—0.5Cr	时效硬化	1000℃保温Ih淬火,180℃时效Ih	15	110～130	80～85	500	点焊电极、缝焊轮、电极支承座、开关零件、电子管零件

续上表

类别	名称	成分 (%)	强化方式	加工特性	室温性能			高温性能	主要用途
					伸长率 (%)	硬度 (HB)	比电导 (%IACS)	软化温度 (℃)	
中强度、高电导铜合金(化电导为70%～98%IACS)	铬铝镁铜	Cu－0.5Cr－0.2A1－0.1Mg	时效硬化	1000℃保温1h淬火，冷加工，480℃时效1h	18	110～130	70～75	510	点焊电极和 缝焊轮
	锆铜	Cu－0.2Zr	时效硬化	950℃保温1h淬火，冷加工，450℃时效1h	10	120～130	90	500	整流子片、开关零件、导线、点焊电极
	锆铜	Cu－0.4Zr	时效硬化	950℃保温1h淬火，冷加工，450℃时效1h	10	130～140	85	5000	整流子片、开关零件、导线、点焊电极
	锆铜	Cu－1Zr	时效硬化	950℃保温Ih淬火，冷加工，450℃时效Ih	9	135～160	80	500	点焊电极、缝焊轮、铜线连续退火的电极轮
	铬锆铜	Cu－0.5Cr－0.3Zr	时效硬化	950℃保温1h淬火，冷加工，450℃时效1h	10	140～160	80～85	520	整流子片、点焊电极、缝焊轮、开关零件、导线
	锆砷铜	Cu－0.4Zr－0.2As	时效硬化	900℃保温半h淬火，冷加工，400℃时效1h	10	150～170	90	520	整流子片、点焊电极和缝焊轮
	锆铪铜	Cu－0.1Zr－0.6Hf	时效硬化	950℃保温1h淬火，冷加工，400℃时效1h	12	150～180	70～80	550	整流子片、点焊电极和缝焊轮
	铜一氧化铝	Cu－3.5A1$_2$O$_3$(体积)	弥散硬化	用30%～95%冷变形度挤压成产品	12～18	130～140	85	900	点焊电极、导电弹簧、电子管结构零件、高温导电零件
	铜一氧化铍	Cu－0.8BeO(体积)	弥散硬化	用30%～95%冷变形度挤压成产品	10～12	125～135	85	900	点焊电极、导电弹簧、电子管结构零件、高温导电零件
	铅铜	Cu－Ipb	冷作硬化	冷拉成棒材	12	80～85	97～99	150	易切削导电连接件

续上表

类别	名称	成分(%)	强化方式	加工特性	室温性能			高温性能	主要用途
					伸长率(%)	硬度(HB)	比电导(%IACS)	软化温度(℃)	
高强度、中电导铜合金(比电导为30%～70%IACS)	铍钴铜	Cu－0.3Be－1.5Co－1Ag	时效硬化	920℃保温1h淬火,冷加工,480℃时效2h	5～10	210～240	50～55	400	不锈钢和耐热合金的焊接电极、导电滑环
	镍铍铜	Cu－INi－0.2Be	时效硬化	920℃保温1h淬火,冷加工,480℃时效2h	15	160～180	55～60	400	不锈钢和耐热合金的焊接电极、导电滑环
	铬铍铜	Cu－0.5Cr－0.1Be	时效硬化	920℃保温1h淬火,冷加工,480℃时效2h	15	140～160	60～70	400	不锈钢和耐热合金的焊接电极、导电滑环
	钴硅铜	Cu－1.8Co－0.4Si	时效硬化	1000℃保温1h淬火,冷加工,480℃时效5h	6	240	45～55	550	不锈钢和耐热合金的焊接电极、导电滑环
	镍硅铜	Cu－1.9Ni－0.5Si	时效硬化	900℃保温1h淬火,冷加工,480℃时效1h	6	150～180	40～45	540	电焊机和架空线路的导电部件、导电弹簧、导电滑环、高强度通信线、架空导线和电车线
	镍钛铜	Cu－2Ni－0.6Ti	时效硬化	950℃保温1h淬火,580℃时效1h	10	150～18	50～60	600	电焊机电极、对焊模
	镍磷铜	Cu－1.25Ni－0.25p	时效硬化	780～800℃保温1h淬火,冷加工,450℃时效1h	13		50～60	450	导电弹簧、接线夹、接线柱、高强度导电零件
	铬钛锡铜	Cu－o.5Cr－1.5Ti－2.5Sn	时效硬化	875℃保温1h淬火,冷加工,450℃时效6h	7～12	210～250	42～50	450	电焊机电极、高强度导电零件
	铁铜	Cu－1～2Fe－0.02p	冷作硬化	800℃退火1h后冷加工	2～4	110～130	60～70	350	电真空器件的结构材料

续上表

类别	名称	成分(%)	强化方式	加工特性	室温性能			高温性能	主要用途
					伸长率(%)	硬度(HB)	比电导(%IACS)	软化温度(℃)	
特高强度、低电导铜合金(比电导为10%~30%IACS)	铍铜	Cu－2Be－0.3Co	时效硬化	780℃保温1h淬火，冷加工，320℃时效2h	1~2	350~420	22~25		开关零件、熔断器和导电元件的接线夹、在周围介质温度150℃下使用的电刷弹簧、通信线(湿气大的地方)、架空线(煤烟多的地方)
	钛铜	Cu－4.5Ti	时效硬化	875℃保温1h淬火，冷加工，400℃时效5h	2	300~350	10		开关零件、熔断器和导电元件的接线夹、在周围介质温度150℃下使用的电刷弹簧、通信线(湿气大的地方)、架空线(煤烟多的地方)
	钛铜	Cu－3.0Ti	时效硬化	875℃保温1h淬火，冷加工，400℃时效5h	5~15	250~300	10~15		开关零件、熔断器和导电元件的接线夹、在周围介质温度150℃下使用的电刷弹簧、通信线(湿气大的地方)、架空线(煤烟多的地方)
	铅铜	Cu－12A1			3~7	310~420	21~25		对焊机电极、自动电焊机焊嘴、各种耐磨耐蚀零件
	锡磷青铜	Cu－7Sn－0.2p			大于7	200~250	10~25		电信设备等的导电弹簧、联接器

表 8.4.2－4　　**导电用铝的化学成分**

铝牌号	符　号	杂质含量%(不大于)					含铝量%(不小于)
		铁	硅	铁＋硅	铜	总　和	
特一号铝	Al－00	0.14	0.13	0.26	0.010	0.30	99.7
特二号铝	Al－0	0.25	0.18	0.36	0.010	0.40	99.6
一号铝	Al－1	0.30	0.22	0.45	0.015	0.50	99.5

表 8.4.2－5　　**导电用铝的性能和主要工艺参数**

项目	状态	数值
熔点 C		625
密度(20℃)kg/m³		2700
比热 (20℃)J/(kg·K)		921.096
比潜热 cal/g[5]		93
导热系数(20℃)W/(m·k)		217.7136
线胀系数(20～100℃)10⁻⁶/k		23
电阻率(20℃)10⁻⁸Ω·mm²/m	软态和半硬态	2.83[1]
	硬　态	2.90[1]
电阻温度系数(20℃)10⁻³/k	软态和半硬态	4.10[1]
	硬　态	4.03
弹性模量(20℃) N/mm²	硬　态	67000
屈服强度 N/mm²	软　态	30～40
抗拉强度 N/mm²	软　态	70～95
	半硬态	95～140
	硬　态	150～180
疲劳强度 N/mm²	硬　态	60[2]

项目	条件	数值
蠕变极限 (N/cm²) ×10⁻²	20℃	50[3]
	150℃	24[3]
	250℃	10[3]
伸长率%	软态	20～40
	硬态	大于 0.5
硬度 HB kgf/mm²	硬态	35～45
浇注温度 C		670～730
热加工：	热轧温度 C	440～490
	热挤温度 C	400～480
	锻造温度 C	350～450
退火温度 C	达到软态	300～350
	达到硬态	240～260
再结晶温度 C		150°～250°[4]

① 根据 JB468－76 规定；

② 10^7 次循环反复弯曲应用；

③ 1000h 的断裂程度，99.5%A1 软线；

④ 与纯度和冷变形度有关；

⑤ 1cal＝4.1868J。

表 8.4.2－6　　**导电铝合金的品种、成分、性能、特点和用途**

类别	合金名称	化学成分%							状态	抗拉强度 N/mm²	伸长率%	屈服强度 N/mm²	比电导% (IACS)	主要特点及用途
		Mg	Si	Fe	Cu	Zr	Y	Al						
热处理型	铝镁硅 Al－Mg－Si	0.5～0.65	0.5～0.65	少量				余	硬	300～360	4		53	高强度，用于架空导线

续上表

类别	合金名称	化学成分%							状态	抗拉强度 N/mm²	伸长率%	屈服强度 N/mm²	比电导% (IACS)	主要特点及用途
		Mg	Si	Fe	Cu	Zr	Y	Al						
非热处理型	铝镁 Al−Mg	0.65~0.9						余	硬	230~260	2		53~56	中等强度，用于架空导线和电车线（软线也用于电线电缆线芯）
非热处理型	铝镁铁 Al−Mg−Fe	0.26~0.36	小于0.14	0.75~0.95				余	软	115~120	15	52	58~60	电线电缆线芯和电磁线
非热处理型	铝镁铁铜 Al−Mg−Fe−Cu	0.15~0.25	小于0.14	0.45~0.60	0.22~0.33			余	软	115~130	15	52	58~60	电线电缆线芯和电磁线
非热处理型	铝镁硅铁 Al−Mg−Si−Fe	0.85~1.0	0.35~0.45	0.35~0.45				余	软	115	17	50	53	电线电缆线芯和电磁线
非热处理型	铝锆 Al−Zr					0.1	少量	余	硬	180~190	2		58~60	耐热用于架空导线和汇流排
非热处理型	铝铁 Al−Fe			0.65				余	软	90	30		61	强度比铝略高，使用范围同铝
非热处理型	铝硅 Al−Si		0.5~1.0					余	硬	260~330①	0.5~1.5		50~53	加工性特好，可拉制成特细线，用于电子工业连接线

① 直径为 25~50μm 细线的性能。

表 8.4.2−7　**导电用铝及铝合金的主要焊接与机械连接方法**

名称	简要说明	主要应用范围
电阻焊	利用接触电阻，通电使接头高热，顶压挤出氧化膜，进行焊接，效率高，操作简便	铝杆、铝线的焊接
闪光对焊	在大电流下，焊件局部接触，使金属强烈熔化蒸发，形成爆炸除去氧化物，电弧稳定后，立即顶压焊接，接头质量较好，耗电量大	制造截面达 1200mm² 及以上的铜－铝过渡接头
储能焊	利用电容放电加热，顶压挤出氧化膜进行焊接，接头质量好，速度快	制造截面小于 15mm² 的铜－铝过渡接头
冷压焊	利用较大机械压力挤去氧化膜，靠金属原子间相互结合使之焊接，接头质量好，焊接速度较慢	焊接铝杆，铝线及较小的铜－铝过渡接头

续上表

名　称	简　要　说　明	主　要　应　用　范　围
氩弧焊	在氩气保护下，用电弧焊接，接头质量优良，不用焊剂，需氩气及专用设备	各种大、中截面多根铝线、铝排等接头
气　焊	用氧一乙炔焰使铝熔化进行焊接，须清除焊剂以防腐蚀，工艺简单，接头强度较低	小截面铝一铝接头；亦可用于小直径铜一铝接头，但性能较差
药包焊	铝粉和氧化铁粉在高温点燃时产生高热，使金属熔化焊接，操作简便，接头强度较低	适用于中、小截面架空铝导线的焊接
爆炸压接	在压接金属表面放置炸药，引燃后产生高压，使金属压合，操作简便迅速，须采取安全措施	铝与铝或其他金属如铜、铁等的复合适于单线、绞线及带箔
套管压接	铝或铝合金套管紧压在被连接的铝线上	电缆铝线芯及架空铝导线等的连接

表 8.4.2—8　**复合金属导体的产品名称、特性和用途**

分类	产品名称	包覆金属	基本金属	特　　性	主　要　用　途
高强度	铝包钢线	铝	镀锌钢线	抗拉强度高，耐蚀性好， 抗拉强度为(9～13)N/cm² 比电导为 29%～30%IACS 伸长率不小于 1.5%	输配电线，载波避雷线，通信线及大跨越架空线
	钢铝电车线	钢	铝	耐磨性强； 截面 85mm²，拉断力为 3015kg 以上； 截面 100mm² 拉断力为 4000kg 以上	电车线
	铜包钢线和排	铜	钢	抗拉强度，耐蚀性好； 抗拉强度为(6.5～15)N/cm²； 比电导为 30%～40%IACS 伸长率不小于 1%	高频通信线，输电线，大跨越及盐雾等特殊地区的架空线，排可作小型电机整流子片，直流电机用电刷弹簧，配电装置中的汇流排，刀闸的拦条等
高电导	铜包铝线和排	铜	铝	比电导比铝高，连接与铜一样方便，抗拉强度 2.1N/cm²(硬态)；工作温度低于 250℃，废品处理困难	高频通信线，电视电缆，电磁线，高频屏蔽配电线，排可做整流子片，导电排等
	银覆铝	银	铝	比电导高，接触性好	航空用导线，波导管
高弹性	铜覆铍铜	铜	铍铜	弹性好，导电性好	导电弹簧
	弹簧钢覆铜	弹簧钢	铜	高弹性，高电导，耐高温腐蚀	导电弹簧

续上表

分类	产品名称	包覆金属	基本金属	特性	主要用途
耐高温	铝覆铁	铝（另一面镀镍）	铁	抗高温氧化性好	电子管阳(屏)极
	铝黄铜覆铜	二面覆铝、黄铜	铜	抗高温氧化性好，比电导可达80%IACS	作高温大电流导体，如电炉配电汇流排
	镍包铜	镍	铜	抗高温氧化性好，比电导高，可达89%IACS(与镍层厚度有关)	在400～650℃范围作高温导线
	镍包银	镍	银	抗高温氧化性好比电导高，可达85%～91%IACS(与镍层厚度有关)	在400～650℃范围作高温导线(10%镍层用于400℃，20%镍层用于650℃)
	耐热合金包银	耐热合金（镍铬合金）	银	抗高温氧化性好，比电导高	在650～800℃范围作高温导线
耐腐蚀	不锈钢覆铜	不锈钢	铜	耐蚀性，导热性和成型性好，比电导为73%IACS	大功率电子管用零件
	银包铜线	银	铜	比电导高，抗氧化性高，接触性好，易焊接	高温用线圈，雷达电缆编织导体，高温导线线芯
	镀锡铜线	镀锡	铜	耐蚀性好，焊接性好	橡皮绝缘电线电缆，仪器仪表连接线，编织线和软接线等
	镀银铜包钢线	镀银铜	钢	抗氧化性好，抗拉强度高	射频电缆及高温导线线芯
其它	铁镍钴合金包铜	铁镍钴合金	铜	导电性和导热性好，膨胀系数与玻璃相近	与玻璃密封的导电导热材料

3.2 特殊用途导电材料

在电气工程中除了最常用的高电导材料之外，还因某些特殊需要而采用一些其它的导电材料。这些材料包括：电阻线——用来限制、控制电路电流；电热线——用作各种发热元件；电碳制品；熔丝以及其它一些特殊用途的导电材料。这些特殊用途的导电材料，种类繁多，规格要求也很复杂，下面仅对其中在船舶上应用较多的电碳制品——各种型式的电刷作简要介绍。详见表8.4.2—9、表8.4.2—10、表8.4.2—11及表8.4.2—12。

电刷的外形尺寸见图8.4.2—1和表8.4.2—10。

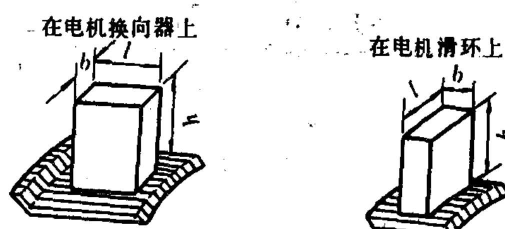


图8.4.2—1　电刷的外形尺寸

电刷尺寸因电机不同而不同，根据我国现行标准，电刷尺寸以电刷在整流子(或滑环)上的接触面积计算，自 4mm×5mm 到 32mm×50mm，电刷高度自 12.5mm 到 65mm。

表 8.4.2-9　　**电刷的技术特性及工作条件**

电刷类型	型　号	电阻系数(分触点法)(Ω·mm²/m)	一对电刷上的接触电压降(V)	50h 磨损率(mm)不大于	工作条件			代用型号
					额定电流密度(A/cm²)	允许圆周速度(m/s)	电刷使用时的单位压力(N/cm²)	
石墨电刷	S-1	27～46	1.7～2.7	0.20	7	12	2～2.5	
	S-3	8～20	1.5～2.3	0.20	11	25	2～2.5	
	S-4	10～30	1.8～2.6	0.40	12	50	2～2.5	T-3
电化石墨电刷	DS-4	6～16	1.6～2.4	0.25	12	40	1.5～2	
	DS-8	31～50	1.9～2.9	0.15	10	40	2～4	
	DS-14	22～36	2.0～3.0	0.15	10	40	2～4	
	DS-51	25～50	2.4～3.8	0.15	12	60	2～4	DS-8
	DS-52	10～20	2.0～3.2	0.15	12	50	2～2.5	DS-22
	DS-72	10～16	2.4～3.4	0.20	12	75	1.5～2.2	DS-4,DS-14
	DS-74	35～80	3.2～4.4	0.30	12	50	2～4	DS-8
	DS-79	20～43	1.6～2.6	0.15	12	40	2～4	DS-83-2
金属石墨电刷	T-1	1～6	1.0～2.0	0.18	15	25	1.5～2.00	
	T-3	5～12	1.4～2.2	0.15	12	20	1.5～2.00	
	T-6	1～6	1.0～2.0	0.30	15	25	1.5～2.00	
	T-16	2～6	1.0～2.0	0.15	15	25	1.5～2.00	T-6
	T-20	4～12	1.0～1.8	0.20	12	20	1.5～2.00	
	TS-2	0.10～0.35	0.3～0.7	0.40	20	20	1.8～2.30	
	TS-4	0.2～1.3	0.6～1.6	0.30	15	20	2.0～2.50	
	TS-51	0.04～0.12	0.15～0.35	0.60	25	20	1.8～2.30	TS,TS-2
	TS-64	0.05～0.15	0.1～0.3	0.70	20	20	1.8～2.30	TS,TS-2
	TSQ-5	1～12	<2.0	0.50	15	35	1.5～2.00	
	THQ-15	1～12	<1.6	0.15	15	25	1.5～2.00	TSQ-5
	THQ-17	1～12	<1.9	0.40	15	35	1.5～2.00	T-1,TS-4

表 8.4.2-10　　**电刷外形尺寸**

电刷厚度 b(mm)	电刷宽度 l(mm)	电刷高度 h(mm)							
		12.5	16	20	25	32	40	50	65
4	5	×							
	10		×	×					

续上表

电刷厚度 b(mm)	电刷宽度 l(mm)	电刷高度 h(mm)							
		12.5	16	20	25	32	40	50	65
5	6.5	×	×						
	8		×	×					
	10			×	×				
	12.5				×	×			
6.5	8			×	×				
	10			×	×	×			
	12.5			×	×	×			
	16				×	×			
	20				×	×			
8	10			×	×	×			
	12.5				×	×			
	16				×	×			
	20				×	×			
	25					×	×	×	
	32					×	×	×	
10	12.5				×	×			
	16				×	×			
	20				×	×	×		
	25					×	×	×	
	32					×	×	×	
12.5	16				×	×	×		
	20					×	×		
	25					×	×	×	
	32					×	×	×	
	40						×	×	×
	50							×	×
16	20					×	×		
	25					×	×	×	
	32					×	×	×	
	40						×	×	×
	50							×	×
20	25					×	×	×	
	32						×	×	×
	40							×	×
	50							×	×
25	32					×	×	×	×
	40						×	×	×
	50							×	×
32	40							×	×
	50							×	×

注：表中×号为推荐电刷尺寸。

表 8.4.2—11　　**定型电刷规格表**

编　号	刷体型号	规　　格(mm)	结构型式	适　用　电　机
		电化石墨电刷		
101	DS—4	18×20×50	G1	AT—320 型直流电焊机
102	DS—4	10×20×47	G1	AT—320 型直流电焊机辅助电刷
103	DS—4	18×20×35	G1	AB—500 AG—500 直流电焊机
104	DS—4	7×20×35	G2	AB—500 AG—500 直流电焊机辅助电刷
105	DS—4	1 5×25×35	G3	AG—300 直流电焊机
106	DS—4 DS—72	10×12.5×35	G4	直流发电机
107	DS—4 DS—72	12.5×12.5×35	G5	直流发电机
108	DS—4 DS—72	16×32×40	G6	直流发电机
109	DS—4 DS—72	12.5×25×40	G6	直流发电机
110	DS—4 DS—72	16×25×40	G6	直流发电机
111	DS—4 DS—72	20×32×40	G6	直流发电机
112	DS—4 DS—72	25×32×40	G6	直流发电机
113	DS—4 DS—72	25×32×60	G7	交流发电机滑环
114	DS—14 DS—74B_2	7×12×30	G4	交 流变速电动机
115	DS—74B_2	7×15×30	G4	交流变速电动机
116	DS—74B_2	7 ×20×30	G4	交流变速电动机
117	DS—74B_2	8×20×30	G8	交流变速电动机
118	DS—8	4.3×6.4×13	G4	6mm 手枪式电钻
119	DS—8	5×12×18	G3	13mm 手电钻
120	DS—8	5×20×25	G8	ZKK 型功率扩大机
121	DS—4	16×32×50	G3	交流发电机滑环
122	DS—14	12.5× 12.5×35	G 5	直流发电机
123	DS—14	16×25×40	G6	直流发电机
124	DS—14	25×32×40	G6	直流发电机
125	DS—14	6×15×30	G4	交流变速电动机
126	DS—4	7×12.5×32	G5	直流发电机
127	DS—74B_2	8×15×30	G4	交流变速电动机
128	DS—74B_2	11×20×30	G8	交流变速电动机
129	DS—4	10×20×30	G 9	AG—165 型直流电焊机
130	DS—8	5×16×25	G10	ZKK 型功率扩大机
131	DS—8	7×20×25	G8	ZKK 型功率扩大机
132	DS—8	5×8.1×20	G3	13mm 手枪式电钻
133	DS—14M	6.8×10×2)	G11	10～15kVA 调压器
134	DS—72	10×25×40	G6	交直流发电机
135	DS—14	7×12.5×32	G5	交直流发电机
136	DS—8	5×16×20	G3	19mm 电钻

编　号	刷体型号	规　　格(mm)	结构型式	适　用　电　机
137	DS－8	4×8×13	G12	10mm 电钻
138	DS－4	20×30×40	G13	AM－1000 多头电焊机
139	DS－4	8×10×25	G4	直流发电机
140	DS－8	3.5×9×50	G14	1～3kVA 调压器
141	DS－8	5×10×50	G14	5～10kVA 调压器
142	DH－112	7×15×30	G4	交流变速电动机
143	DH－112	7×20×30	G4	交流变速电动机
144	DH－112	8×15×30	G4	交流变速电动机
145	DH－112	8×20×30	G8	交流变速电动机
146	DH－112	6×15×30	G4	交流变速电动机
147	DH－112	11×20×30	G8	交流变速电动机
148	DH－112	7×12×30	G4	交流变速电动机
149	DS－14	25×32×60	G7	交流发电机滑环
150	DS－4	10×16×35	G4	交流发电机
151	DS－4	12.5×12.5×32	G15	直流发电机
152	DS－8	4.3×6×14	G16	6mm 手枪式电钻
铜　石　墨　电　刷				
201	T－1	12×30×35	G3	电瓶车发电机
202	T－1	20×25×48	G17	300A 低压直流发电机
203	TS－4	20×25×48	G17	500A 低压直流发电机
204	TS－4	25×32×48	G17	1000A 低压直流发电机
205	TS－2	12.5×20×32	G18	交流滑环电动机
206	TS－64	16×44×36	G19	JR 型交流电动机滑环
207	TS－2	8×12.2×35	G20	JZR 型吊车电动机滑环
208	TS－64	25×32×48	G6	低压直流发电机
209	TS－64	20×32×48	G6	低压直流发电机
210	TS－64	25×32×60	G7	交流电动机滑环
211	TS－64	20×25×40	G6	低压直流发电机
212	TS－64	6×25×42	G21	交流变速电动机滑环
213	TS－64	8×25×42	G3	交流变速电动机滑环
214	TS－4	20×32×40	G6	直流发电机
215	T－1	8×10×25	G4	交直流发电机
216	TS－64	12×32×42	G3	交流变速电动机滑环
217	TS－64	16×32×42	G3	交流变速电动机滑环
218	TS－64	25×32×48	G17	低压直流发电机
219	T－1	25×32×60	G7	低压直流发电机
220	T－1	12.5×12.5×35	G5	交直流电机
221	TS－4	15×25×35	G3	AG－300 直流电焊机
222	TS－2	12×25×40	G3	交流滑环电动机
223	TS－4	25×32×60	G7	交流发电机滑环
224	T－1	16×32×30	G22	AB－165 型直流电焊机
225	TS－4	12.5×12.5×35	G5	交直流电机
226	TS－2	12.5×25×40	G3	交流电动机滑环
227	TS－64	16×25×40	G6	直流发电机
228	T－1	10×25×32	G23	ZXQ 直流牵引电动机
229	T－1	16×40×50	G8	ZXQ 直流牵引电动机
230	TS－2	9×12×33	G24	交流吊车电动机
231	T－1	16×44×36	G19	JR 交流滑环电动机
232	TS－4	12.5×12.5×32	G15	交流发电机

续上表

编　号	刷体型号	规　　格(mm)	结构型式	适　用　电　机
233	TS—64	20×25×48	G7	直流发电机
		各　种　弹　簧　电　刷		
301	DS—14	4×4×24	G10	
302	DS—14	5.4×5.4×20	G10	
303	DS—14	6.4×6.4×20	G10	
304	DS—14	6×8×25	G10	
305	DS—14	3.8×9×22	G10	
306	DS—14	5×10×25	G10	
307	DS—14	6×6.5×26	G10	
		汽　车　电　机　电　刷		
401	DS—52	6.4×16×21	G25	F—30 汽车发电机
402	DS—52	6.5×22.3×23.5	G25	F—31 汽车发电机
403	TS—103	8.8×19.2×14	G30	ST—8、ST—9 型汽车起动机
404	TS—103	8.8×19.2×14	G30	ST—8、ST—9 型汽车起动机
405	TS—103	8.8×19.2×14	G26	ST—8、ST—9 型汽车起动机
406	TS—4	12×32×27	G27	ST—700、ST—710 型汽车起动机
407	TS—103	10×18×20	G26	ST—60、ST—62 型汽车起动机
408	TS—4	7×16×20	G29	ST—812 型汽车起动机

表 8.4.2—12　**各国型号电刷对照表**

电刷类别	型			号		
	中　国	原　苏　联	英　国	原　东　德	原　东　德	美国、日本、法国
石墨电刷	S—3　S—4	Г—3	A,B	G189,G274		
电化石墨电刷	DS—4	ЭГ—4		E22		EG(美国,法国)
	DS—8	Г—1,Г—2 ЭГ—8	EG—3	E335 E149	RE—1	GH—125 (日本) N.C.C.258(美国)
		ЭГ—13				
	DS—14 DS—74	ЭГ—14 ЭГ—74	EG12,E14, EG8586 EG6749	EKG E87	8618,8611, 8698 RE59	GH—45(日本) N.C.C.259(美国)
	DS—52	ЭГ—22 УГ—2	EG0	E98		EG41B(日本) EG97B(法国)
	DS—72	ЭГ—4 ЭГ—14	HM—5 HM—6 HM—3	E22	RV5	G4 (日本) G6(日本)
	DS—79	ЭГ—83—2				
	DS—51					

续上表

电刷类别	型号					
	中国	原苏联	英国	原东德	原东德	美国、日本、法国
金属石墨电刷	T−1	М−1,М−6	CM5	M604	EN60	MH−33(日本)
	T−3	М−3 М−20	CM6 CM9	M549	RW3	MH−35(日本)
	T−16					
	TS−4	МГ−4	CM5H	M594	EN150	MH−33(日本) MH−34(日本)
	TS−51 TS−64	МГ,МГ−2 МГС,МГСО МГ−64	CM,CM10 CM1,CM2	M599 M603	EN10	MH−30(日本) MH−31(日本) N.C.C.543(美国)
	TSQ−15 TSQ−17	МГС−5				
	TSQA	МГСА				

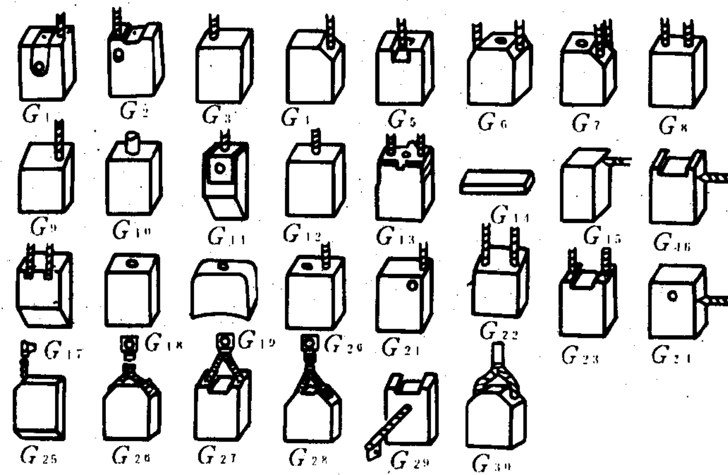


图 8.4.2−2 定型电刷结构型式图

第3章　磁性材料

1 概　　述

磁性是物质的基本属性之一。若将物质按磁性分类，可分为抗磁性物质、顺磁性物质、铁磁性物质、反铁磁性物质和亚铁磁性物质。铁磁性物质和亚铁磁性物质为强磁性物质，其它均为弱磁性物质。

磁性材料按特性和应用通常分为软磁材料、永磁材料（又称硬磁材料）和特殊性能的磁性材料三类。

软磁材料的主要特点是磁导率高、矫顽力低。这类材料在较低的外磁场下，就能产生高的磁感应强度，且随外磁场增大，磁感应强度很快达到饱和。当外磁场去掉后，磁性又基本消失。软磁材料主要用作传递、转换能量和信息的磁性零部件或器件。

永磁材料的主要特点是矫顽力高。这类材料经饱和磁化后去掉外磁场时，将储存一定的磁能量，能在较长时间内保持强的和稳定的磁性。永磁材料主要用作在能够产生恒定磁通的磁路中，在一定空间内提供恒定的磁场，作为磁场源。

另外还有一类具有特殊性能的磁性材料，如恒导磁合金、磁温度补偿合金、压磁材料等。按属性仍为软磁范围。

1.1　磁性材料的磁性能

磁化曲线和磁滞回线是反映磁性材料基本磁性能的特性曲线。用它们可分别确定材料的磁导率 μ、饱和磁感应强度 B_s、矫顽力 H_c、剩磁 B_r 和铁损耗 P 等量。

1.1.1　基本磁化曲线、磁导率和饱和磁感应强度

磁化曲线是表征外加磁场强度 H 与所产生的磁感应强度 B 之间的关系曲线，即 B=f(H) 曲线。它是确定软磁材料工作点的依据。图 8.4.3—1 是几种材料的磁化曲线，B 和 H 的关系如下式：

$$B = \mu_0(H + M) \quad wb/m^2$$

式中：　μ_0 —— 真空磁导率，H/m；

H —— 磁场强度，A/m；

M —— 磁化强度，A/m。

磁化曲线显示了在膝点以上材料渐近饱和的现象，图中 B_s 称为饱和磁感应强度，相应的磁场强度为 Hs，通常要求高的 B_s 以节省材料。

磁化曲线上任何一点的 B 和 H 之比就是导磁率 μ，由 μ=B/H 则可得出 μ—H 曲线，如图 8.4.3—2 所示。μ_m 和 μ_i 分别称为最大导磁率和初始导磁率。在软磁材料中一般要求有较高的 μ 值，因为在一定的磁场强度下，μ 值越高，传递等量磁通所需要的材料将越少。μ_i 值的大小，对在弱磁场下工作的软磁材料具有重大的意义。

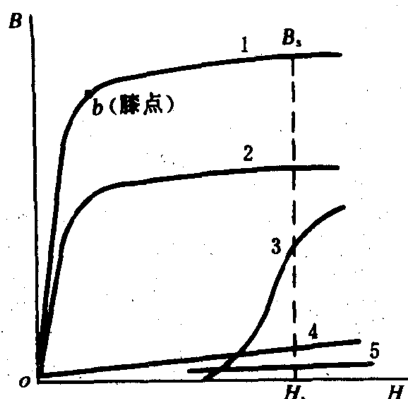


图 8.4.3－1　几种材料的磁化曲线

1－纯铁；　2－良导磁合金；　3－工程纯铁；

4－镍；5－铁镍合金(Ni26%)

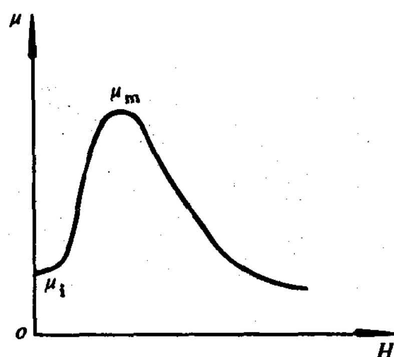


图 8.4.3－2　磁导率与磁场强度的关系

1.1.2　磁滞回线、剩磁、矫顽力、剩磁比和铁损耗

如图 8.4.3－3 所示，磁性材料受到场强为 H_1 的磁场磁化至 a′点时，若减小 H_1 至零，这时磁感应强度 B 并不沿原磁化时的 ca′曲线下降，而是沿另一曲线 a′b′下降。显然 B 的变化滞后于 H 的变化，这一现象称为磁滞。若 H_1 由 H_1→O→H→O→H_1 变化一周，由于磁滞原因，B 随 H 的变化将为一闭合曲线，即 a′b′c′d′e′f′a′，称为磁滞回线。在原始磁化曲线 oa 上任意一点所对应的磁场强度变化一周，均可得到相应的磁滞回线。随着磁场强度增加，磁滞回线面积也随之增大。当磁化到饱和时(B_s)，再增加磁场强度，磁滞回线面积基本不变，此时的磁滞回线称为极限磁滞回线，如图中的 abcdefa 回线。由极限磁滞回线可看出，当使材料磁化至饱和时的磁场强度 H_s 减小到零时，磁感应强度并不回到零，而下降到 b 点，这一值称为剩磁，通常以 B_r 表示。在图中，材料饱和磁化后，使 $B_r=0$ 时的反向磁场强度(绝对值)称为矫顽力，以 H_c 表示。

剩磁比是剩磁 B_r 与饱和磁感应强度 B_s 的比值，即 B_r/B_s。它表示矩磁材料的磁滞回线图形接近矩形的程度。

磁性物质交变磁化时，将产生能量损失，这种损耗称为铁损耗 P。它包括磁滞损耗 p_h、涡流损耗 P_f 和剩余损耗 P_n。

1.1.3　退磁曲线、最大磁能积和回复磁导率

磁性材料的退磁曲线是指极限磁滞回线在第二象限的部分，它能说明永磁材料的磁特性，如图 8.4.3－4 中的 B_rmH_c 曲线。在退磁曲线上任一点对应的 B 与 H 的乘积就是永磁材料在这一点上单位体积所具有的能量。在退磁曲线的某一点上，B 与 H 乘积的最大值是永磁材料的重要参量，称为最大磁能积$(BH)_{max}$。$(BH)_{max}$值愈大，表示硬磁特性愈好。

磁化后的永磁材料，在工作的变化磁场或是外界杂散磁场及受温度变化、振动等的影响下，其工作点 m 会因材料的磁滞特性沿类似 mprqm 回复回线移动(见图 8.4.3－4)。由于回复回线的两分支非常接近，可近似地用 mr 代替 mprqm 回线，mr 称回复线，其斜率称为回复回复磁导率，它是永磁材料动态下的重要参量，以 μ_{rec}表示。

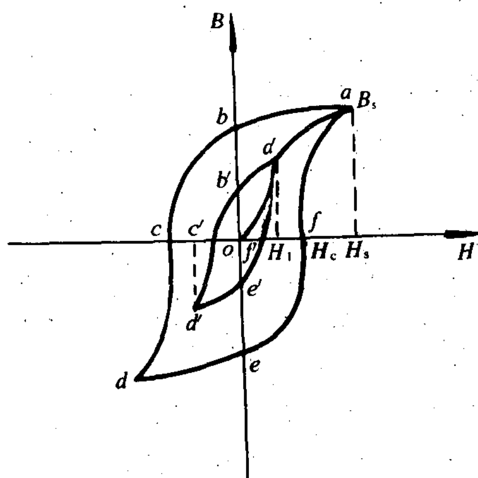


图 8.4.3－3　磁性材料的磁滞回线

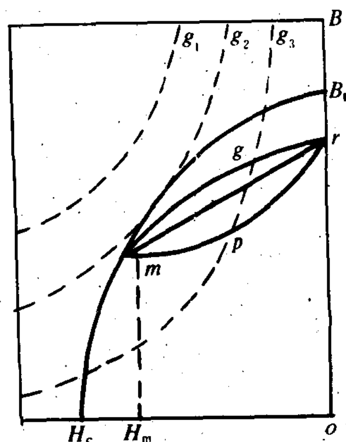


图 8.4.3－4　永磁材料的特性曲线

1.1.4　磁各向异性与磁致伸缩

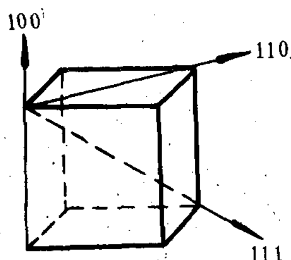


图 8.4.3－5　铁立方晶体

1）磁各向异性　是指磁性材料在不同方向磁化下有不同的磁化性能。以铁的单晶体为例，沿立方体的各边[100]磁化最容易；沿立方体的对角线[111]最难磁化；而沿各面的对角线[110]则介于难易之间，如图 8.4.3－5 所示。

关于晶体各向异性目前尚没有完满的解释，一般认为是由于电子自转与电子公转之间作用的结果。

未经加工处理的铁磁各向异性不明显。组织化硅钢片是经过特殊处理的软磁材料，有明显的磁各向异性。

2）磁致伸缩　磁性材料受到外磁场磁化时，在磁化方向上会发生伸长或缩短，这种现象称为磁致伸缩。设材料原长为 l，伸长或缩短为 Δl，磁致伸缩比 λ 为：

$$\lambda = \frac{\Delta L}{L}$$

磁致伸缩比随磁场强度而变化，通常磁场强度增加，其绝对值增大。磁场强度增大到一定值时，λ 值趋于一个恒定值，比时的磁致伸缩比称为饱和磁致伸缩系数 λ_s。对于制作磁致伸缩换能器元件用的材料，要求有高的 λ_s 值，一般大多数软磁材料则要求 λ_s 值低。

1.1.5　居里温度和磁感应温度系数

磁性材料只有在一定温度范围内才具有铁磁性，当温度超过某一定值时，材料便失去铁磁性。材料失去磁性的这一临界温度，称为材料的居里温度或居里点。

磁感应温度系数 α_B 是用来衡量经饱和磁化后的永磁材料其磁感应强度随温度可逆变化的程度。温度升高，磁感应强度下降。

磁感应温度系数 α_B 由下式决定：

$$\alpha_B = \frac{B_t - B_t'}{B_t'(t - t')} \times 100\%$$

式中：B_t'、B_t ——t'到 t 经过几次温度循环后，分别对应于 t'、t 两个温度下的磁感应强度；

t'、t ——分别为温度下限和上限。

α_B 值愈小，永磁材料的温度稳定性愈好。

1.2 影响磁性能的因素及其改进途径

影响软磁材料磁性能的因素主要有以下几点：

1）杂质的影响

当磁性材料中有杂质存在时，能引起晶格点阵畸变，产生内应力，妨碍磁畴的转动，使材料的矫顽力增加，磁滞损耗升高。

材料中的杂质，根据其在合金中所占位置的不同，可分为置换固溶体与间隙固溶体。属于前一种的如铁中的硅、锰元素，属后一种的如铁中的碳、硫等元素。由于它们的存在，会引起晶格点阵的扭曲，甚至造成局部的点阵混乱。

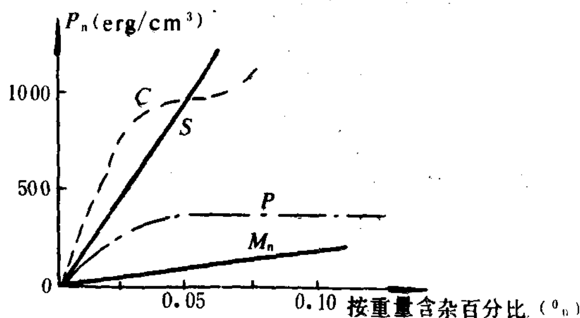


图 8.4.3－6 铁中杂质磁滞损耗的影响

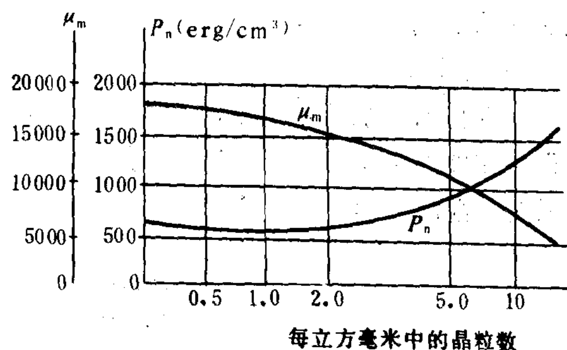


图 8.4.3－7 晶粒大小对硅钢磁性能的影响

杂质元素对磁性能的影响还与其在材料内部组织的分布状况和分散度有关。分散程度愈大，引起点阵畸变的数量也愈多，产生的影响也愈明显。通常采用不同的措施来对待软磁材料和永磁材料。如铁中加入硅，对磁滞损耗影响小，但能增大电阻率，减小涡流损耗。对永磁材料，则利用某些杂质或适当热处理方法使晶格点阵有普遍畸变，从而获得较大的矫顽力。

铁中杂散对磁滞损耗的影响如图 8.4.3－6 所示，杂质除磁性能有影响外，对电阻率也有不同的影响。

2）晶粒大小的影响

在晶粒边界往往聚集着析出的杂质和存在内应力，故金属磁性材料晶粒的大小对磁性能有 很大的影响。晶粒愈小，晶粒边界就愈多，材料的软磁性能也愈坏。图 8.4.3－7 表示了晶粒大小对硅钢最大磁导率和磁滞损耗的影响。晶粒愈大，软磁性愈好。但随着晶粒的增大，材料

的电阻率又会减小，使涡流损耗增加。机械强度也将下降。

3）晶粒方向的影响

铁磁材料如能使晶粒的易磁化方向与使用的磁化方向一致，材料将能发挥较好的软磁性能。通过金属的塑性变形（如冷轧）或在磁场中压制，及其它工艺方法，使材料的晶粒按一定的方向作有序排列，能显著提高材料的磁性能。

4）热处理的影响

材料的磁性能与材料的组织、晶粒大小与方向、晶格畸变程度等有密切关系。而这些因素又取决于材料的热处理工艺，所以热处理是影响金属磁性材料磁性能的重要因素。

对软磁材料的热处理，主要目的是为消除材料内部应力，增大晶粒，减小晶格畸变，使晶粒作有序排列等，以便获得尽可能大的磁导率和尽可能小的磁滞损耗。通常采用一般退火热处理；真空或氢气中退火热处理和磁场中退火热处理。

对永磁材料的热处理，其目的主要是使晶格畸变，晶粒细化，增加内应力等，以便得到尽可能大的矫顽力。为此常采用淬火热处理。另外，有时为了改善材料的加工性能和增加剩磁，还作回火热处理。

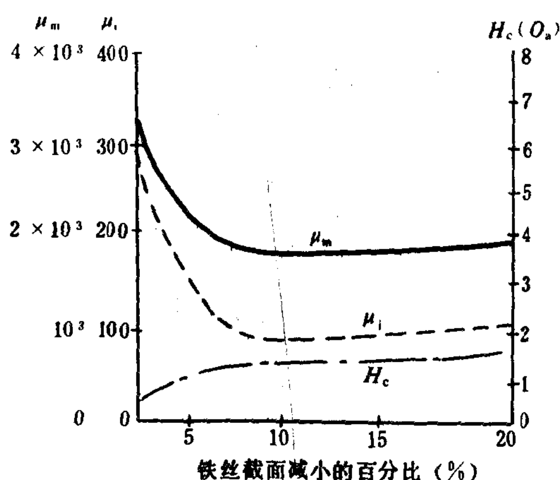


图 8.4.3－8　塑性加工对磁性能的影响

5）塑性加工和其它影响

磁性材料在加工过程中，如经压延、拉伸、冲剪、弯曲等工艺时，会使部分晶粒扭曲、滑移，使磁畴在外磁场作用下不易转向。从而带来不易磁化或退磁的后果。图 8.4.3－8 所示为塑性加工对磁性能的影响。

2　常用磁性材料的型号规格

2.1　软磁材料

软磁材料可分为金属软磁材料、铁氧体软磁材料和磁介质三大类。其中金属软磁又分为电磁纯铁、硅钢片、铁镍合金和铁铝合金四类。

软磁材料的种类、特点和应用范围如下表。

表 8.4.3－1　　**软磁材料种类、特点和应用范围**

种　类	主　要　特　点	应　用　范　围
电磁纯铁	含碳量在 0.04%以下，饱和磁感应强度大，冷加工性好。但电阻率小，铁损大，有磁时效现象	一般用于直流磁场
硅钢片	与电工纯铁相比，电阻率增大，铁损减小，磁时效基本消除。但导热系数降低，硬度增大，脆性增大	电机、变压器、继电器、互感器、开关等产品铁芯
铁镍合金	与其它软磁材料相比，在弱磁场下，磁导率大，矫顽力小，但对应力比较敏感	频率在 1MHz 以下，弱磁场中工作的器件
铁铝合金	与铁镍合金相比，电阻率大，重量轻，但磁导率小。随含铝量的增加硬度和脆性加大，塑性变差	弱磁场和强磁场下工作的器件
软磁铁氧体	是金属氧化经陶瓷工艺形成的烧结体，电阻率极大，涡流损耗极小。饱和磁感应强度较小，温度稳定性较差	高频或较高频率范围内，功率不太大的磁性元件
磁介质	由金属软磁材料的粉末经绝缘材料胶合而成，涡流损耗小，稳定性好，价高	低频或高频范围弱磁场下工作的器件

2.1.1　电工用纯铁

其规格型号如下表(表 8.4.3－2)

表 8.4.3－2　　**电磁纯铁型号、主要成分和用途**

种类	牌号		主要成分%，不大于					一般用途
	名称	代号	碳	硅	磷	硫	铝	
铝镇静纯铁	电铁 3 电铁 3 高	DT3[①] DT3A	0.04	0.20	0.02	0.02	0.50	不保证磁时效的一般电磁元件
	电铁 4 电铁 4 高 电铁 4 特 电铁 4 超	DT4 DT4A DT4B DT4C	0.03	0.20	0.02	0.02	0.15～0.50	在一定时效处理工艺下，保证无时效的电磁元件
硅铝镇静纯铁	电铁 5 电铁 5 高	DT5 DT5A	0.04	0.20～0.5	0.02	0.02	0.30	不保证磁时效的一般电磁元件
	电铁 6 电铁 6 高 电铁 6 特 电铁 6 超	DT6 DT6A DT6B DT6C	0.03	0.30～0.50	0.02	0.02	0.30	在一定时效处理工艺下，保证无时效、磁性稳定的电磁元件

① 型号“DT”表示电工用纯铁，“DT”后的数字为序号，序号后的字母表示电磁性能等级，“A”“B”“C”分别表示“高”、“特”、“超”，未用字母的表示为“普”级。

2.1.2　硅钢片

硅钢片是由含硅(0.5%～4.5%)的铁合金轧制而成的片状材料。电机工业中常用硅钢片的磁性能如表 8.4.3－3。

表 8.4.3－3　**电机工业中常用硅钢片的性能**

硅钢品种		型号	厚度 (mm)	铁损 w/kg 不大于			不同磁场强度下的磁感应强度值不小于				迭装系数 %	密度 g/cm³	弯曲次数
				$p_{10/50}$[①]	$p_{15/50}$	$p_{17/50}$	B_{10} Wb/m²	B_{25} Wb/m²	B_{50} Wb/m²	B_{100} Wb/m²			
热轧硅钢片		D_{21}	0.50	2.5	6.1			1.48	1.59	1.73	92	7.70	
热轧硅钢片		D_{22}	0.50	2.2	5.3			1.51	1.61	1.74	92	7.70	
热轧硅钢片		D_{23}	0.50	2.1	5.1			1.54	1.64	1.76	92	7.70	
热轧硅钢片		D_{32}	0.50	1.8	4.0			1.50	1.61	1.74	91	7.65	4
热轧硅钢片		D_{32}	0.35	1.4	3.2			1.50	1.61	1.74	90	7.65	5
热轧硅钢片		D_{42}	0.50	1.35	3.15			1.45	1.56	1.68	91	7.55	1
热轧硅钢片		D_{43}	0.50	1.20	2.90			1.44	1.55	1.67	91	7.55	1
热轧硅钢片		D_{42}	0.35	1.15	2.80			1.45	1.56	1.68	90	7.55	1.5
热轧硅钢片		D_{43}	0.35	1.05	2.50			1.43	1.54	1.66	90	7.55	1.5
冷轧硅钢片	无取向	W_{21}	0.50	2.3	5.3			1.54	1.64		96	7.75	
冷轧硅钢片	无取向	W_{22}	0.50	2.0	4.7			1.52	1.62		96	7.75	
冷轧硅钢片	无取向	W_{32}	0.50	1.6	3.6			1.50	1.60		95	7.65	5
冷轧硅钢片	无取向	W_{33}	0.50	1.4	3.3			1.50	1.60		95	7.65	5
冷轧硅钢片	无取向	W_{32}	0.35	1.25	3.1			1.48	1.58		94	7.65	5
冷轧硅钢片	无取向	W_{33}	0.35	1.05	2.7			1.48	1.58		94	7.65	5
冷轧硅钢片	单取向	Q_3	0.35	0.7	1.6	2.3	1.67	1.80	1.86		95	7.65	3
冷轧硅钢片	单取向	Q_4	0.35	0.6	1.4	2.0	1.72	1.85	1.90		95	7.65	3
冷轧硅钢片	单取向	Q_5	0.35	0.55	1.2	1.7	1.76	1.88	1.92		95	7.65	3
冷轧硅钢片	单取向	Q_6	0.35	0.44	1.1	1.51	1.77	1.92	1.96		95	7.65	3

① $P_{10/50}$、$P_{15/50}$、$P_{17/50}$表示频率为 50Hz，磁感应强度分别为 1.0Wb/m²、1.5Wb/m² 和 1.7Wb/m²时的铁损。

2.1.3　铁镍合金

铁镍合金也称坡莫合金，随含镍量和热处理条件不同，有不同的性能。其型号规格和主要用途见表 8.4.3－4 。

表 8.4.3－4　**铁镍合金种类、特点和主要用途**

类　别	型　号	含镍量范围%	特　点	主要用途
1J50 类	1J46 1J50 1J54	36～50	饱和磁感应强度大，磁导率小，矫顽力大	中小功率变压器、扼流圈。控制微电机等铁心
1J51 类	1J51 1J52 1J34	34～50	磁场热处理后，磁畴取向。显着提高最大磁导率，减小矫顽力，沿易磁化方向磁化具有矩形磁滞回线	中小功率的、高灵敏度磁放大器，中小功率脉冲变压器和记忆元件
1J65 类	1J65 1J67	65 左右	与 1J51 类似，电阻率较低	中功率磁放大器和扼流圈，记忆元件。不宜在较高频率使用
1J79 类	1J79 1J80 1J83 1J76	74～80	弱磁场下有很高的最大磁导率，初磁导率仅次于 1J85，矫顽力也很小，但饱和磁感应不如 1J50 类	弱磁场下高灵敏性的小变压器、小放大器、继电器、扼流圈和磁屏蔽等
1J85 类	1J85 1J86 1J77	80 81 77	有最大初磁导率和最大磁导率，极小的矫顽力，电阻率比 1J79 类大，但饱和磁感应稍低，应力对磁性能影响显著	仪表和电信中作扼流圈、音频变压器、高精度电检变压器、快速磁放大器及精密电表中的动片、定片

2.1.4　铁铝合金

铁铝合金是有发展前途的软磁材料，可用来代替价贵的铁镍合金。其型号、主要成分和用途见表 8.4.3—5。

表 8.4.3－5　**铁铝合金型号、主要成分、特点和用途**

型　号	含铝量范围(%)	特　点	主要用途
1J6	5.5～6.0	在铁铝合金中有最大的饱和磁感应强度。磁性能不如硅钢片，但有较好的耐蚀性	微电机、电磁阀等铁心
1J12	11.6～12.4	磁导率和饱和磁感应强度介于 1J65、1J16 之间与 1J50 属于同类型合金。有高的电阻率和抗应力、耐辐照等特性	微电机、中功率音频变压器、脉冲变压器和继电器等铁心
1J13	12.8～14.0	与纯镍相比，饱和磁感应强度大，矫顽力小，饱和磁致伸缩系数相接近。在抗腐蚀能力方面不如纯镍	水声器件和超声器件，如超声清洗、超声探伤、研磨、焊接等器件
1J16	15.5～16.3	在铁铝合金中，它的磁导率最大，矫顽力最小。但饱和磁感应强度不高	弱磁场下工作的小功率变压器、磁放大器、互感器、磁屏蔽等

2.1.5　软磁铁氧体

软磁铁氧体是金属氧化物通过陶瓷工艺烧结而成的复合体，属亚铁酸盐，通式常以 $Mo \cdot Fe_2O_3$ 表示，是非金属磁性材料。它的电阻率很高，涡流损耗极小。铁氧体软磁材料常用的牌号和主要磁性能见表 8.4.3—6；铁氧体矩磁材料的磁性能见表 8.4.3—7。

表 8.4.3—6　**铁氧体软磁材料的部分牌号和主要磁性能**

牌号	初始磁导率 μi		矫顽力 Hc		饱和磁感应强度 Bs		居里温度 T_cC	电阻率 ρμΩ·cm	密度 ag/cm³
	×10 ⁶H/m	G/Oe	A/m	O_e	Wb/m²	G			
R20	25	20	1200	15	0.22	2200	350	10^{12}	4.0
R60	75	60	320	4	0.32	3200	300	10^{11}	4.2
Rk1	125	100	240	3	0.30	3000	250	10^{11}	4.3
Rk4	500	400	80	1	0.32	3200	180	10^{9}	4.5
R1k	1250	1000	16	0.2	0.31	3100	150	10^{8}	4.8
R6k	750	6000	8	0.1	0.34	3400	100	10^{6}	4.8
R10k	1250	10000	4	0.05	0.34	3400	85	106	4.9

表 8.4.3—7　**镁锰和锂锰铁氧体的磁性能**

种类	饱和磁感应强度 B_s		矫顽力 H_c		剩磁比 B_r/B_s	居里温度 T_c(C)
	Wb/m²	G	A/m	O_e		
镁锰铁氧体	0.28	2800	96	1.225	0.92	250
锂锰铁氧体	0.32	3200	160～320	2～3	0.90	600

2.2　永磁材料(硬磁材料)

常用永磁材料按其制造工艺和应用上的特点，可分为塑性变形永磁材料、铸造铝镍系永磁材料、粉末烧结铝镍钴系永磁材料、铁氧体永磁材料和稀土钴系永磁材料等几类。常用永磁材料部分品种的磁性能和主要用途见表 8.4.3—8。

表 8.4.3—8　　**常用永磁材料部分品种磁性能和主要用途**

类别	系列	品种名称及型号	剩磁 B_r (G)①	矫顽力 $H_c(O_e)$②	最大磁能积 $(BH)_{max}$ $(MG \cdot O_e)$	回复磁导率 μ_{rec}	磁温度系数 α_B $(\% \cdot K^{-1})$	居里点 Tc (℃)	主要用途
塑性变形永磁材料	马氏体钢	碳钢	6500～10000	42～65	0.18				容易制造，易去磁，逐渐淘汰
		钨钢	10000～11000	60～70	0.30		−0.041		要求不高的磁性器件
		铬钢	9000～10000	55～70	0.285		−0.0013		
	各向同性	铁铬钴 15	8500	550	1.7～2.0	5.5～6.4	−0.052		里程表、罗盘仪
	各向异性	铁铬钴 30	11000	600	3.4～4.4	4.0～4.8	−0.035～0.045		
铸造铝镍钴系永磁材料	各向同性	铝镍 10	6000	450	1.25	6.0～7.0	−0.022	760	一般磁电式仪表、永磁电机、磁分离器、微电机等
		铝镍钴 13	6800	600	1.60	6.6～6.7		810	
	热磁处理各向异性	铝镍钴 32	12000	550	4.00	3.5～4.8	−0.016	890	精密磁电式仪表、永磁电机、流量计、微电机、磁性支座、传感器、扬声器、微波器件
		铝镍钴钛 32	8000	1250	[illegible].00	2.4～3.6	−0.020	850	
		铝镍钴钛 40	7200	1760	5.00				
	定向结晶各向异性	铝镍钴 52	13000	700	6.50	2.4～3.6	−0.016	890	精密磁电式仪表、永磁电机、微电机、地震检波器、磁性支座、扬声器、微波器件
		铝镍钴钛 56	9500	1300	7.00	2.4～3.6	−0.020～0.025	850	
		铝镍钴钛 72	10500	1400	9.00	2.0～3.2	−0.020～0.025	850	

类别	系列	品种名称及型号	剩磁 B_r (G)①	矫顽力 $H_c(O_e)$②	最大磁能积 $(BH)_{max}$ $(MG \cdot O_e)$	回复磁导率 μ_{rec}	磁温度系数 X_B $(\% \cdot K^{-1})$	居里点 T_C (℃)	主要用途
粉末烧结铝镍钴系永磁材料	各向同性	烧结铝镍 9	5000	440	1.10	6.0～6.7		760	微电机、永磁电机、继电器、小型仪表
	热磁处理各向异性	烧结铝镍钴 25	10500	580	3.10	3.2～4.3		890	
		烧结铝镍钴钛 28	7000	1200	3.50			850	
铁氧体永磁材料	各向同性	铁氧体 10T	2000	1600～2000	0.8～1.2	1.0～1.3	－0.18～－0.20	450	永磁点火电机、永磁电机、永磁选矿机、永磁吊头、磁推轴承、磁分离器、扬声器、微波器件、磁医疗片
	各向异性	铁氧体 15	2800～3600	1600～2400	1.8～2.2	1.0～1.3	－0.18～－0.20	450	
		铁氧体 20	3200～3800	1600～2400	2.3～2.7	1.0～1.3	－0.18～－0.20	450	
		铁氧体 25	3500～39000	1900～2600	2.8～3.2	1.0～1.3	－0.18～－0.20	450	
		铁氧体 30	3800～4200	2000～2700	3.3～3.7	1.0～1.3	－0.18～－0.20	450	
		铁氧体 35	4000～4400	2200～2800	3.8～4.2	1.0～1.3	－0.18～－0.20	450	
稀土钴永磁材料	各向异性	铈钴铜 60	5500～7000	3400～5000	7.5～10.0	0.9～1.1	－0.09～－0.125	≈500	低速转矩电机、启动电机、力矩电机、传感器、磁推轴承、助听器、电子聚焦装置
		混合稀土钴 95	7000～8000	4000～6000	12.0～13.8	1.0～1.2	－0.04～－0.07	≈475	
		混合稀土钴 110	8000～9500	5500～6900	13.8～16.5	1.0～1.2	－0.045～－0.06	≈525	
		钐钴 125	8200～9500	6280～8300	15.7～20.0	1.0～1.1	－0.03～－0.05	≈725	

① 剩磁 B_r 的 SI 制单位为韦/米²(Wb/m²)，1Wb/m²＝10^4G；②矫顽力 H_c 的 SI 制单位为安/米(A/m)；1A/m≙$4\pi\times10^{-3}O_e$(≙表示相当于)。

3　选用原则与验收要求

3.1　软磁材料的选用原则

软磁材料绝大多数是在交变磁场下使用，选用主要考虑的因素是工作磁通密度、磁导率、损耗以及价格等。

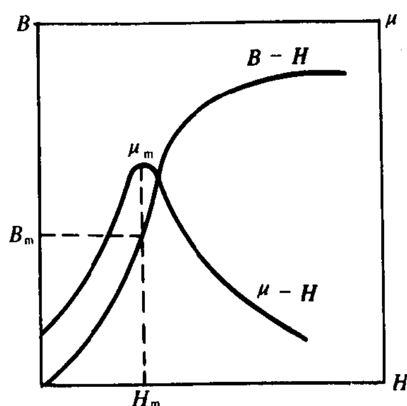


图 8.4.3－9　电磁化曲线确定软磁材料工作点示意图

在图 8.4.3－9 所示的 μ－H 曲线的峰值点，即最大磁导率 μ_m 点，它所对应的磁场强度为 H_m，而 H_m 所对应的磁感应强度为 B_m。软磁材料最大磁导率点所对应的磁场强度就是 B－H 曲线上的 m 点所对应的磁场强度。m 点称为磁化曲线的拐点，是选用软磁材料工作点的参考点。

1）在高磁场下使用的软磁材料

这时最常用的软磁材料是硅钢片。当设计制造电机、变压器铁心时，一般将工作点选在磁化曲线上高于 m 点的位置；对电力变压器，为减少消耗，就选用低铁损和高磁感应强度的材料；对小型电机选用高磁感应强度的硅钢片，对铁损要求适当放宽；对大型电机则对铁损有严格要求；在大型高速电机中，除要求硅钢片有好的磁性外，还要求有足够高的抗拉强度；对互感器工作点则选在 m 点及低于 m 点的 B－H 曲线的线性部分。

2）低磁场下使用的软磁材料

经常选用的有 1J50、1J51、1J79、1J85 铁镍合金和 1J16 铁铝合金以及冷轧单取向硅钢薄带等。对磁放大器要求有高的饱和磁感应强度和高的微分磁导率、高的电阻率和剩磁比、低的矫顽力，所以宜选用 1J51 类铁镍合金；对电源变压器一般要求高的 饱和磁感应强度和磁导率，常选用冷轧单取向硅钢薄带作铁心；小型音频变压器常选用 1J79 和 1J16 合金。

3）在高频下使用的软磁材料

一般选用铁氧体软磁材料，但还要结合使用的频率范围选取，如软磁铁氧体适用于高频。

4）特殊场合下使用的软磁材料

制作记忆元件和开关元件，宜选用具有矩形磁滞回线的铁氧体或铁镍合金；对用于空间技术的器件，因要体积小、重量轻，可选用饱和磁感应强度最高的 1J22 铁镍合金；在自动控制系统的校正网络中，做恒电感的扼流圈铁心，可选用 1J66 恒导磁合金；在超声技术中使用的软磁材料要有高的磁致伸缩系数，可选用 1J22、1J13 合金或铁氧体压磁材料。

3.2　永磁材料的选用原则

1）首先应尽可能采用价低的烧结的钡、锶铁氧体，但它们温度系数大，低温下易退磁，机械性能差。

2）铁铬钴系永磁材料的机械性能较好，但矫顽力偏低，可做体积不大的永磁体，或者需要

韧性好的地方。

3）稀土钴永磁材料一般用在对体积重量有限制的场合。低温度系数的稀土钴和有韧性的稀土钴永磁材料，适用于仪表及其对稳定度要求较高的场合。

4）铂钴永磁材料适用于医疗器械和空间技术中飞行记录的某些器件。

3.3 软磁材料和永磁材料的验收要求

1）软磁材料的验收要求

(1)电磁纯铁　要进行磁性测定与机械性能的测定。即经过退火处理后在规定的磁场强度下测量磁感应强度和1.5特拉斯磁感应强度下的矫顽力。而机械性能不论是板材或棒材，在不进行退火处理下测量其硬度。板材还要用试验机测量弯曲90°时的抗弯强度。

(2)电工硅钢片　要进行磁性试验、层间电阻试验与机械性能测定等。机械性能包括拉伸和弯曲试验。

(3) 铁氧体磁心　主要用于电子设备和电信设备的铁氧体磁心要进行电磁物理性能、机械性能、耐气候影响的性能试验等。磁性能要进行交流和直流磁性能试验，如用交流电桥法测磁导率、Q值、磁滞损耗因数、居里温度等；直流是用冲击式检流计或磁通计测磁化曲线、磁滞回线，求出磁导率、饱和磁感应强度、矫顽力等。电性能要测量电阻率，在高频下用电桥或Q表。机械性能要进行弯曲试验；而耐气候影响则要进行耐热性、耐寒性、冷热循环和耐潮性等试验。

另外，软磁材料的表面绝缘处理，要求涂层厚度均匀，坚硬光滑．对涂层材料要求有好的绝缘性、耐热性、耐油性和防潮性等。

2）永磁材料的验收要求

永磁材料一般只作磁性能试验，测量剩余磁感应强度、矫顽力和最大磁能积。试样作成圆柱形或菱形。试验装置由磁化器、磁通量和磁场强度测量单元和磁化电源装置组成。

参考文献

[1] 机械工程手册电机工程手册编辑委员会编：电机工程手册(第7～13篇)电工材料部分．机械工业出版社，1978年

[2] 陈德方 黄纬编：电工绝缘材料手册 水利电力出版社，1974年

[3] 陈宪文 翁世耀 程玉书编 电工器材料。中国铁道出版社，1983年

[4] 上海航道局编：船舶电工手册(上册) 上海人民出版社，1975年

第5篇　船舶电气检验与安全

第1章　船舶电气设备的检验

1　概　　述

船舶检验是国家对在水上航行和作业的船舶和设施及船用产品(军用舰船和运动竞赛艇除外)执行技术监督的重要措施，随着我国航运、造船及保险业的发展，于1958年8月1日正式成立了“中华人民共和国船舶登记局”，即现中华人民共和国船舶检验局的前身，简称“ZC”，即“中船”二字汉语拼音的第一个字母，总局设在北京，在沿海及内河主要港口设有分支机构，负责对船舶和水上 设施及主要船用产品执行监督检验，并办理船舶入级业务。船舶检验的目的是使船舶和水上设施具备安全航行和作业的技术条件，保障水上人命和财产的安全。

为了有利于发展国际检验业务，经国务院批准于1986年8月1日 正式成立了中国船级社，该社以民间组织的形式接替船舶检验局承办船舶和海上设施的入级检验业务，同时也可接受本国政府和外国政府的委托，代替办理国际公约和各国政府规定的法定检验工作。中国船级社还和国际上13个船舶检验机构签订了相互代理和合作检验的协议，开展多方面的相互代理和联合检验工作。

验船部门既是国家技术监督部门，又要全心全意为船东和船厂服务，以促进我国航运和造船事业的发展。

船舶检验的依据是经国务院批准的“中华人民共和国船舶检验局章程”及相应的船舶规范、规程和船检局认可的有关标准和规定。船舶规范按航区分为海船和内河船舶两种，按检验种类分为建造检验规程和营运检验规程。

2　船舶检验的主要任务

1)制定有关船舶检验、船舶入级、船舶证件等规范和规程及相应的规定。

2)对建造、修理和营运船舶执行监督检验。

3)对制造中的主要船用产品和材料执行监督检验。

4)对到达中国港口的外国籍船舶执行监督检验或接受外国政府及船级社的委托，对其船舶进行法定检验和相互代理检验。

5)对申请入级的船舶进行入级检验和保持船级的检验。

6)接受申请办理有关船舶的公证检验业务。

7)根据我国政府参加的国际组织和接受的国际公约，代表政府签发有关组织和公约规定

的各种船舶证书和证件。

8)从事船舶安全方面的科学研究,为修订船舶规范提供依据。

3　船舶电气设备检验的主要任务

1)确保船舶正常操作、正常生活所必需的电力设备的供电和正常运行。

2)确保在应急状态下,为保证安全航行所必需的电力设备的供电和正常运行。

3)确保船上人员生命安全和设备安全(主要指免遭电气事故的伤害)。

4)对船舶电气设备执行技术监督检验:

(1)根据现行规范审查和批准技术设计和 施工设计图纸;

(2)审查和批准电气设备在工厂和船上的试验计划;

(3)进行船舶建造、修理和营运中的检验;

(4)对主要船用电气产品的制造执行监督检验;

(5)对检验合格的船舶和船用产品签发船舶和船用产品证书及技术文件。

4　船舶电气设备检验的种类

4.1　法定检验

4.1.1　建造检验

指新建船舶由受理检验开始,审查图纸和技术文件,以及在船舶建造过程中对电气设备进行安装检查、系泊和航行试验,全部检验合格后签发船舶证书和技术文件。

4.1.2　初次检验

指未经我国验船部门监督下建造的船舶(一般指在国外建造的船舶),向我国验船部门申请的第一次检验。其目的是检查电气设备的技术状况是否符合我国船舶规范和安全航行的技术要求。检验合格后换发我国的船舶证书和技术文件。

4.1.3　特别检验

根据营运船舶检验规程的规定,海上营运机动船舶每隔四年(内河机动船舶每隔六年)应进行一次特别检验(间隔期从建造检验完成之日算起),全面检查船舶电气设备的技术状况,确定是否能继续保持船舶安全航行的技术条件。

4.1.4　循环检验

将船舶特别检验时所需检验的全部项目分 散在四年或五年(称为一个周期)内完成全部检验,每年安排检验项目的 1/4 或 1/5,四年或五年完成全部检验。而后再开始第二个周期,如此循环。但 应注意:循环检验只能代替特别检验,即进行循环检验的船舶无需再进行特别检验,但除特别检验之外的其它规定的检验仍需照样进行。循环检验可使船舶在不停航和不需安排专门修理的情况下完成特别检验,可提高船舶的营运率。

4.1.5　中间检验和年度检验

营运检验规程对不同的船舶规定了中间检验或年度检验。中间检验每隔两年(机动船)或四年(非机动船)进行一次,年度检验每年进行一次。中间或年度检验主要了解电气设备的技术状况,确保船舶安全航行。

4.1.6 无线电设备的定期检验

按国际公约和我国无线电设备的规范规定，对船舶无线电设备应 每年进行一次定期检验，以保证通信设备处于完好状态。

4.2 船级检验

对入级船舶的检验也分为建造入级检验和初次入级检验及保持船级的检验(年度检验、中间检验、特别检验或循环检验)，其内容大体和法定检验相同，不再重述。

4.3 临时检验

船舶变更船名、船东、用途、航区以及发生机海损时应向验船部门申请临时检验。

船舶证书到期，因条件限制不能进行规定的检验，应向验船部门申请展期检验。

船东或其它部门需要对船舶技术状况进行鉴定或证明，可向验船部门申请公证检验。

临时检验种类很多，不一一列举。

5 船舶电气设备建造检验程序

5.1 受理检验

按船检局章程规定，凡是新建船舶都必须由船舶制造厂向验船部门申请对所建船舶进行建造检验，同时应将船舶的技术设计图纸一式三份送验船部门审查。若图纸原已经验船部门审查批准，则可只送一套备查图纸，但验船部门的审图意见和批准号也应一并送上备查。

验船部门收到检验申请后，即指派验船师负责对图纸进行审查和进行船舶的建造检验工作。

5.2 审图及编写审图意见书

5.2.1 规范规定的送审图纸范围

1)全船电气设备说明书。

2)电气设备明细表。

3)电力负荷估算书(备查)。

4)发电机输出端短路计算，主汇流排短路计算、应急配电板、区和分配电板汇流排短路计算，馈电变压器短路计算。

5)主配电板和应急配电板原理图和布置图，包括电力推进装置配电板(如有时)和蓄电池充放电板。

6)电力推进装置推进电路(主电路、操纵、控制和信号电路)原理图和操 纵台的板面布置图。

7)电力系统图(包括电缆型号、截面积、敷线长度和线路过电流保护值及主干电缆布置)。

8)电力设备布置图。

9)正常照明、应急照明和临时应急照明系统图和布置图。

10) 操 舵装置控制系统图。

11)船内通信及信号系统图。

12)备件清单。

13)系泊和航行试验大纲。

设有自动化的船舶还应补送自动化部分的图纸和资料；同时验船师还可根据实际情况要求增加送审某些图纸资料。

5.2.2 审图要点

船舶设计图纸审查是保证船舶建造质量和具备安全航行技术条件的重要一环，审图就是按照规范的要求对设计图纸进行逐条核查，特别是对船舶电站的设置、电力负荷估算书、短路电流计算等应进行校核，对不符合规范要求的部份及错误要向设计方提出修改和处理意见。现将主要图纸的审查要点介绍如下。

5.2.2.1 全船电气设备说明书

通过说明书的审查应了解下列情况：

1)船舶是按什么规范进行设计的；

2)船舶的种类、主尺度及航行区域；

3)主要电气设备的选择是否符合要求；

4)船舶电制、配电系统的概况；

5)通信和航行信号设备的配备情况。

不同种类的船舶、不同的航区，其要求是不同的，特别是对一些特殊船舶，规范也有其特殊要求。例如油船由于装载不同级别的油类，其船舶供电制和电气设备的选型要求都不一样。所以电气设备说明书是审查全船电气设计图纸的重要基础，通过说明书可了解设计者的意图，然后再根据规范和有关标准，针对不同情况提出审查意见。

5.2.2.2 电气设备明细表

主要审查选用的电气设备是否是经过验船部门检验的船用产品以及型号、容量等参数是否符合要求。

5.2.2.3 电力负荷估算书

应着重审查：

1)需要系数、负荷系数、同时系数选取恰当与否；

2)各种工况下的负荷有否遗漏；

3)有否考虑5%的网络损耗；

4)任何工况下均应留有15%～20%的功率余量；

5)审查发电机与原动机的功率匹配情况；粗略估算配比一般为：发电机容量为1kW时，其原动机的功率应为1.1～1.5kW；也可采用下式进行计算：

$$P=0.736[C(N_e-N)]\eta$$

式中：P ——发电机功率，kW；

N_e——发电机原动机功率，kW；

N ——原动机自带水泵功率，kW；

η ——原动机效率，等于0.86；

C ——系数，等于1。

考虑功率匹配情况主要用于审核发电机的功率能否充分发挥及机组过载保护装置整定值的选取是否合适，同时还可作为选取主开关容量的依据。

5.2.2.4 有关短路电流计算的审查

审核各短路电流计算时，主要校核各参数选取是否合理，同时校核开关的接通能力、分断能力及容量选择是否符合要求。

5.2.2.5 电力系统图

1)系统布置是否符合规范要求；

2)电缆的型号和载流量是否合适；

3)电网的电压降是否在允许范围内。

5.2.2.6 配电板原理图与布置图

1)板面布置合理，线路原理正确无误；

2)监测仪表(精度不低于2.5级)和指示装置齐全；

3)包括熔断器在内的保护系统、联锁装置是否齐全、合理；设有自动电站的船舶应特别注意保护系统的协调性；

4)汇流排的截面积是否符合要求；

5)三相四线制的"零线"不能装设熔断器和开关；

6)仪表互感器的次级绕组应可靠接地；

7)变压器应设置隔离开关；

8)并联运行的交流发电机应在配电板上设置可以对原动机转速在额定转速的±10%范围内进行遥控调节的调速装置；

9)配电板上应设有发电机充磁按钮；

10)应设有能连续监测对地绝缘电阻的装置(电压不超过50V者除外)，且该装置应能在绝缘电阻异常时发出声光报警信号。

5.2.2.7 电气设备布置图

1)各项设备布置是否合理，且其型式是否与安装处所相适应；

2)电气设备之间的间隙应符合要求。

5.2.2.8 照明系统布置图

1)灯具、开关的位置应符合规范要求；

2)机炉舱、公共处所及超过16人的客舱的照明应由两路电源供电，且灯点应交叉布置；货舱、行李舱、邮件舱、冷藏舱、粮食舱应装设带接通指示灯的开关；

3)油漆间、蓄电池间、煤舱应装设防爆灯具。

5.2.2.9 通信和信号系统图

1)安装位置和数量是否符合要求；

2)不同信号应在报警器型式和音响上容易区别；

3)无线电室只设红色警灯；

4)舵机只设置短路保护和过载报警，不允许设置过载保护；

5)应设有失电和过载的声光报警；

6)当舵机电源失电而再次获得电源供应时，应能重新自动起动。

5.2.2.10 主要电动副机控制原理图

1)线路原理正确；

2)安全保护系统合理。

5.2.2.11 机舱自动化

1)自动失灵时应能迅速转换为手动控制；

2)各种保护系统和联锁装置安全、合理。

5.2.3 编号审图意见书

全船电气设计图纸审查完毕后，应编写审图意见书，其内容应包括：

1)指明被审查图纸的图号；

2)明确指出图纸(注明图名和图号)中的错误，提出处理意见。意见可分为两类，一类是规范要求，一定要修改；一类是建设性意见，可以协商解决；

3)注明被审查图纸的批准号。

设计部门按审图意见修改后，将修改后的图纸再次送验船部门审查，经复审合格后在图纸上加盖审图批准章，连同审图意见书一起退设计部门。生产部门必须按审图意见和批准的图纸施工。但应特别注意，经验船部门批准的图纸若需要修改，则应将修改部分的图纸重新送验船部门审查批准后方可施工。若图纸审查批准后，船舶还没开工建造而规范又进行了修改，则此图纸应重新送审。

5.3 电气产品的车间检验和在船舶上的安装检验

5.3.1 船用电气设备的环境条件

电气设备安装在船上使用，其所经受的环境条件与陆地上大不相同。主要表现为温差大，湿度大，有油雾和盐雾的侵袭及倾斜摇摆、振动严重等，因此对船用电气设备有较高的要求。

1)环境温度

船用电气产品应能在+55℃至-25℃的范围内正常工作。各种电气设备的设计基础温度都有其规定，若环境温度超出其设计基础温度，则应考虑其温度校正系数的影响。例如船用电缆的最大允许工作电流(载流量)是以+45℃为基准设计的，使用在不等于+45℃的环境温度时，其载流量应乘上温度修正系数作相应的增减。

电缆温度修正系数见表8.5.1—1。

表8.5.1—1 **电缆温度修正系数**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
导电线芯允许最高工作温度	不同环境温度的校正系数										
(℃)	35℃	40℃	45℃	50℃	55℃	60℃	65℃	70℃	75℃	80℃	85℃
60	1.29	1.15	1.00	0.82	—	—	—	—	—	—	—
65	1.22	1.12	1.00	0.87	0.71	—	—	—	—	—	—
70	1.18	1.10	1.00	0.89	0.77	0.63	—	—	—	—	—
75	1.15	1.08	1.00	0.91	0.82	0.71	0.58	—	—	—	—
80	1.13	1.07	1.00	0.93	0.85	0.76	0.65	0.53	—	—	—
85	1.12	1.06	1.00	0.94	0.87	0.79	0.71	0.61	0.50	—	—
90	1.10	1.05	1.00	0.94	0.88	0.82	0.74	0.67	0.58	0.47	—
95	1.10	1.05	1.00	0.95	0.89	0.84	0.77	0.71	0.63	0.55	0.45

2)相对湿度

规范规定用于船舶的电气设备在相对湿度为95%时应能正常工作(相对于+25℃时)。

3)倾斜与摇摆

对于船舶来说，普遍存在着横倾、纵倾及周期性横摇现象，规范对海船和河船的要求详见

表 8.5.1—2；

电气设备在表 8.5.1—2 中的环境条件下应能正常工作。对于应急设备还应在船舶横倾 22.5°和纵倾 10°的情况下也应能有效地工作。

表 8.5.1—2 电气设备工作的环境条件

船舶种类	横倾	纵倾	横摇
内河船舶	10°	7°	/
海船	15°	7.5°	22.5°

此外，还有外壳防护型式、防潮、防霉、防盐雾和油雾、振动和绝缘等方面都有具体要求。总的原则是属于船舶重要设备的电气产品都应使用经验船部门检验合格的船用产品。

5.3.2 电气产品的车间检验

电气产品在制造厂生产车间的检验属于产品检验范围，船检局已有"产品检验规程"，在此不作介绍。但造船厂自己修理电机和制造配电板的情况较多，所以下面仅对电机和配电板的车间检验作些介绍。产品检验的依据仍然是现行规范和经验船部门审查批准的设计图纸和试验大纲。

5.3.2.1 电机的车间检验

1)检查电枢绕组的安装情况和线端的固定连接情况；

2)检查电机的换向器、电刷架及电机的安装质量；

3)检查接线盒内接线柱的距离、线端标记和安装情况；

4)检查电机的冷态绝缘电阻应大于 1MΩ；

5)绕组对地、绕组间的绝缘介电强度试验(耐压试验)，试验电压见表 8.5.1—3；

6)试运转检查电机的转向和转速；

7)额定负载下的发热试验应不超过允许温升；

8)测量电机的热态绝缘电阻，电机在温升试验之后，立即用 500V 或大于 500v 的直流高阻计测量绝缘，容量小于和等于 100kW(直流)或 KVA(交流)者应不小于 1MΩ；容量大于 100kW(直流)或 kVA(交流)者不小于下式的计算值：

$$\text{绝缘电阻(M}\Omega) = \frac{3\times \text{额定电压(V)}}{1000+\text{额定容量(kW 或 kVA)}}$$

9)发电机还应按规范要求测定其电压变化率(连同调压装置)；

表 8.5.1—3 试验电压

项号	电机或部件	试验电压(有效值)
1	功率小于 1kW(或 1kVA)或额定电压不超过 36V 的电机绝缘绕组，但第 4 至 8 项除外	500V+2 倍额定电压
2	功率小于 10000kW (或 10000kVA)的电机绝缘绕组，但第 1 项和第 4 至 8 项除外(注②)	1000V+2 倍额定电压，但最低为 1500V①
3	1000kW(或 1000kVA)及以上的电机绝缘绕组，但第 4 至 8 项除外。 额定电压 U①	
	2000V 及以下 2000V 以上至 6000V 6000V 以上至 17000V 17000V 以上	1000V+2 倍额定电压 2.5 倍额定电压 3000V+2 倍额定电压 按专门协议

续上表

项　号	电　机　或　部　件	试　验　电　压(有效值)
4	直流电机的他励磁场绕组	1000V+2倍最高额定励磁电压，但最低为1500V
5	同步发电机、同步电动机及同步调相机的磁场绕组	
a)	同步发电机的磁场绕组	
	额定励磁电压为500V及以下	10倍额定励磁电压，但最低为1500V
	额定励磁电压为500V以上	400V+2倍额定励磁电压
b)	当电机起动时，磁场绕组短路或并联一小于绕组电组10倍的电阻	10倍额定励磁电压，但最低为1500V，最高为3500V
c)	当电机起动时，磁场绕组并联一等于或大于绕组电阻10倍的电阻或采用带(或不带)磁场分段开关而磁场绕组开路	1000V+2倍最高电压的有效值(此电压在规定的起动条件下存在于磁场绕组的线端间，如为分段磁场绕组则存在于任一段的线端间)，但最低为1500V③
6	非永久短路(例如用电阻起动)的异步电动机或异步结构的同步电动机的转子绕组	
a)	不可逆转或仅在停止后才可逆转的电动机	1000V+2倍转子电压
b)	在运转时将电源反接而使逆转或制动的电动机	1000V+4倍转子电压
7	励磁机(下列二种除外)	与所连接的绕组相同1000V+2倍励磁机额定电压，但最低为1500V
a)	同步电动机(包括异步结构的同步电动机)接地的或在起动时不与磁场绕组连接的励磁机	
b)	励磁机的他励磁场绕组	同本表4项
8	成套设备	应尽量避免再做以上第1至7项的试验。但如对新的成套设备作试验，而其每一组件已事先通过耐电压试验，则试验电压应为成套装置任一组件中最低试验电压的80%④

① 对有一个共同出线端的两相绕组，公式中的额定电压为运行时任意两个线端之间所出现的最高电压有效值。

② 对具有分级绝缘的电机，试验应按专门协议。

③ 在规定的起动条件下，磁场绕组或其分段的线端间所产生的电压可用下法求得。适当降低电源电压进行测量，再将测得的电压按规定的起动电压与降低的电压之比来折算。

④ 对一台或多台电机作电连结的绕组，其电压应为绕组对地实际存在的最高电压。

由于造船厂一般是修理电机，故机体防护试验、振动和冲击试验、倾斜试验、超速试验等一般不作要求。

5.3.2.2 配电板的车间检验

1)结构、接线和电器零部件是否符合设计要求；

2)仪表、指示灯、开关等是否符合要求；

3)汇流排的尺寸、排列顺序、材料和颜色是否符合要求；

4)检查带电部件的电气间隙和漏电距离；

5)检查仪表互感器次级绕组的接地情况；

6)检查零部件的安装和紧固情况；

7)检查各种开关是否轻便灵活，便于操作；

8)对发电机主开关的保护系统按规定进行调试；

9)测量冷态绝缘电阻应不小于1MΩ；

10)耐压试验按表 8.5.1—4 的要求进行；

表 8.5.1—4 试验电压

额定电压(V)	试验电压	试验要求
≤60	500V	以交流 25～100Hz 的电压进行耐电压试验；历时 1min，应无击穿或闪络现象。
>60	1000V+2 倍额定电压但不低于 2000V	

注：① 在进行耐电压试验时，半导体器件应拆除，同时允许不接测量仪表、电容器、指示灯等附属设备。

② 耐电压试验应在所有带电部分与机壳间和各极(相)相互之间进行。

11)耐压试验之后用至少 500V 的直流高阻计测量其带电部件之间和对地的热态绝缘，电阻值均应不小于 1MΩ；

12)在额定电压及规定的负载电流下进行温升试验，直至温升稳定为止，最大不应超过其允许温升(汇流排最大允许温升为 45℃)；

13)对配电板进行效用试验，检查其工作情况和进行各种功能性试验；

14)检查配电板的各种联锁保护装置。

在上述内容全部检查和试验合格之后，便可对其签发船用产品证书和检验报告。

5.3.3 电气设备在船上的安装检验

验船师对电气设备在船上的安装检验，是依据验船部门审查批准的图纸、技术条件、工艺规程及现行规范进行的。船厂在安装设备之前，应将设备制造厂的出厂技术文件和验船部门签发的船用产品证书提交验船师审查。

5.3.3.1 船舶电气设备在船上安装的一些基本原则：

1)电气设备的型式应与安装处所相适应，如高温、潮湿、露天区域和危险处所都对电气设备有其特殊要求；

2)安装牢固，使用可靠；

3)易于达到，维修管理方便；

4)远离热源，有防止机械损伤的保护措施；

5)电机水平安装时，其轴线应尽量与船舶首尾中心线平行，垂直安装时其轴线应与机舱平面垂直，且均应安装在机舱花铁板以上；

6)控制电器均应垂直安装；

7)船上电气设备均应有醒目的铭牌。

5.3.3.2 电缆敷设工艺及注意事项

1)电缆敷设前的准备工作：导板、弓形架、紧钩、扎带、线槽和电缆管的加工质量、防腐处理和安装情况应作重点检查，特别是穿过水密舱壁和防火隔堵的电缆管的安装工艺及质量更应注意；

2)电缆表面不应有破损，不应损坏其绝缘；

3)电缆应有防止机械损伤的保护措施，同时也应有防止油、水、蒸汽和高温等不良影响的措施；

4)电缆严禁穿过油舱，也不应在燃油舱、油柜和双层底储油舱等舱室外壁上敷设，若有困难时，则电缆与其舱壁至少应有 50mm 的距离；

5)厨房、冷藏舱的电缆应明线敷设，不应敷设在绝缘层里，且离绝缘层至少应有 50mm 的距离；

6)电缆的弯曲半径、穿管系数、伸缩弯头及敷设层数应符合规范和有关标准；

7)不同用途、温升及不同护套的电缆应分组敷设；通信电缆与动力电缆应尽量分开敷设；

8)机舱花铁板底下的电缆应穿过水舱的电缆应穿管敷设；与蓄电池室无关的电缆不应经过蓄电池室，进入蓄电 池室的电缆必须穿管敷设；

9)电缆离锅炉等热源的距离应大于 100mm；离蒸汽管的距离应大于 300mm；离油船甲板的距离应大于 200mm；

10)电缆的金属护套应妥善接地；

11)主干电缆的盖板应能开启，且成束电缆不应埋在隔热材料里；

12)电缆穿过非水密舱壁或结构钢时，孔口必须用铅或其它认可的材料作衬垫；若钢材厚度等 于或大于 6mm 时，则可不加衬垫，但应适当倒圆孔口；

13)电缆穿过水密舱壁和甲板时，可采用单独的水密填料函，或用装载多根电缆的水密填料箱，完工后应保持其水密性；

14)如采用单蕊电缆代替多蕊电缆，则应按规定采取特殊措施；

15)穿过和进入无线电室的电缆应有防干扰措施；

16)舵机、航行灯等设备需两路电源供电，且其电缆应尽量由两舷分开敷设；

17)电缆安装应紧固，且端头应有与图纸相符的标号。

5.3.3.3 电机

1)安装牢固，运行时不应有不正常的振动；

2)检查接线盒内的接线和安装情况；

3)非全封闭的电机的开启部分和联轴器、皮带盘应有用不燃材料制成的防护罩；

4)电机机壳应可靠接地。

5.3.3.4 变压器

1)船舶主照明变压器应为双绕 组空气自冷干式型，且应有与安装处所相适应的防 护措施；

2)变压器的金属外壳应妥善接地。

5.3.3.5 蓄电池

1)酸性蓄电池和碱性蓄电池不能装于同一室内；蓄电池不能安放在居住舱室，应有专用的蓄电池室；对充电功率不大于 2kW 的蓄电池组可用箱或敞开安放在通风良好的地方；

2)蓄电池室（箱)和托架应有防腐蚀措施，并应有防止高温、水、蒸汽等不良影响的措施；

3)若蓄电池分层安置时，则电 池上面至少应有 300～450mm 的空档，蓄电池四周应留有 20mm 的间隙，托架前后应留有不小于 50mm 的空隙，以利于通风、散热和维修；

4)蓄电池之间的接线应紧固，且连接线和紧固件应有良好的导电性及防腐蚀措施；

5)蓄电池应有防止移动的措施；

6)蓄电池室的照明灯具应为防爆式；且通风孔应有防火措施。

5.3.3.6 配电板及控制电器

1)配电板的安装位置是否与图纸相符；

2)配电板前后应有扶手，后面通道应有可关闭的门，板前板后应有充足的照明；

3)配电板不应有外露 的带电部件；

4)配电板安装应 牢固，应有防震措施，并应可靠接地；

5)配电板接线正确，所有接线和零部件应有永久标记；

6)配电板上方和周围不应有压力管系通过，若不可避免时则不应有法兰接头；同时应有防

止水、油、蒸汽、高温等不良影响的措施；

7）配电板前后应铺有防滑和耐油的绝缘地毯或经过绝缘处理的木格栅，板后应张贴一张配电板原理图；

8）控制电器安装的位置应易于到达，且高度应在1.3～1.4m，以便于操作和维修保养。

5.3.3.7 照明系统

1）各灯的安装位置应与图纸相符，且应急照明和临时应急照明灯具应以红色作为标记；

2）检查灯具的安装和接线情况，灯具外壳应可靠接地，并应有防止机械损伤和意外触及带电部件的防护措施；

3）不同电压等级的插头、插座应在结构上有明显区别，且电压超过安全电压的插座和可携式电气设备的插头都应有接地极。

5.3.3.8 通信和信号装置

1）安装的处所应便于使用、监视和维修；

2）驾驶室电车钟手柄的操纵方向应与船舶的航向一致，机舱电车钟手柄的操纵方向应与主机正、倒车操纵手柄的方向一致；

3）电气设备的信号指示和照明灯应有亮度调节装置；

4）装于同一舱室的不同设备的信号应在声响上有不同的音调；

5）超过安全工作电压的电气设备的金属外壳应妥善接地；

6）所有通信和信号装置应有永久铭牌说明其用途和使用方法；

7）各种自动声光报警器，应设有能切断声响信号而保留光信号的装置；

8）各种报警器和显示装置应有自检功能，且当其中一路或几路发生故障时，不影响其余设备的正常工作。

5.3.3.9 避雷、接地和防干扰

1）装有电气设备的钢质桅杆上应设有直径不小于12mm的铜杆或直径不小于25mm的铁杆避雷针，避雷针至少应高出桅杆顶或桅杆顶上的电气设备300mm；

2）木质桅杆的避雷针应以截面积不小于$70mm^2$的铜排（铜索）或截面积不小于$100mm^2$的铁条与船体作可靠的电气连接，且它们应尽可能直线敷设；

3）活络桅杆应与船体有可靠的电气连接，其连接铜线的截面积应不小于$70mm^2$；

4）工作电压超过安全电压的电气设备的金属外壳均应可靠接地（保护接地）。接地可以直接通过机座与船体金属结构可靠连接，也可用专用接地线（铜导体）连接。无论采用专用导体或采用机座接地，其接触面均应光洁平贴。

专用导体截面积Q和电气设备电源线的截面积S的关系如下：

当$S \leqslant 4mm^2$时，$Q=S$，但应不小于$1.5mm^2$；

当$4mm^2 < S \leqslant 120mm^2$时，$Q=\frac{S}{2}$，但应不小于$4mm^2$；

当$S > 120mm^2$时，$Q=70mm^2$；

5）工作接地不能与保护接地共用接地线和接地螺钉；工作接地的接地线截面积应为载流导体截面积的$\frac{1}{2}$，但不应小于$1.5mm^2$；接地螺钉的直径应不小于6mm且应连接在船体钢质结构上；工作接地线的长度应尽量短；

6）防止对无线电设备产生干扰的措施有两条，一是电缆的金属护套应保证连续屏蔽，并可靠接地，且在进入无线电室之前设置防干扰的滤波器；第二是无线电室的电气设备应有屏蔽措

施和设置滤波装置，且两者的金属外壳均应可靠接地。

5.3.3.10 电热器具和电阻

1)检查其安装位置是否会使附近的可燃物质引起火灾；

2)电取暖器应固定安装，电热丝不能直接外露，其上方不能设置衣帽钩；

3)在有可燃气体和尘埃易于聚集的地方，不得装设电热器具。

5.3.3.11 绝缘电阻检查

不同电压等级的电气设备在船上的最低热态绝缘电阻允许值见表8.5.1－5；在进行热态绝缘电阻测量之前，应先让电气设备和电路接通工作一段时间以后再停机进行测量。

表8.5.1—5　**船舶电气设备在船上的最低热态绝缘电阻允许值**(MΩ)

<table>
<tr><th colspan="2">设　备　项　目</th><th>工作电压≤100V</th><th>工作电压>100V</th></tr>
<tr><td colspan="2">功率等于或小于100kW(kVA)的电机</td><td>—</td><td>1.0</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">推进电机及功率大于100kW(kVA)电机单个分励或他励励磁绕组</td><td>—</td><td>3U/(1000+P)</td></tr>
<tr><td>—</td><td>1.0</td></tr>
<tr><td colspan="2">电力推进的励磁机</td><td>—</td><td>1.0</td></tr>
<tr><td colspan="2">各种配电板</td><td>—</td><td>1.0</td></tr>
<tr><td colspan="2">照明配电板最后分支线(不包括电风扇和小型电暖器)</td><td>0.3</td><td>1.5</td></tr>
<tr><td colspan="2">变压器</td><td>—</td><td>1.0</td></tr>
<tr><td colspan="2">电力拖动控制设备</td><td>0.3</td><td>1.0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">船内通信</td><td>电话、车钟、转速表、舵角指示器、声光信号系统及报警装置</td><td>0.5</td><td>1.0</td></tr>
<tr><td>火警报警、警铃系统</td><td>0.3</td><td>1.0</td></tr>
<tr><td colspan="2">电热器具</td><td>—</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td colspan="2">航行灯线路</td><td>—</td><td>1.0</td></tr>
</table>

注：① 本表的U为额定工作电压(V)；P为额定容量(kW)或(kVA)。

② 网路电压在100V及100V以上时，测量绝缘电阻应采用电压不低于500V的直流高阻计。网路电压低于100V时，采用250V直流高阻计。

③ 测量电气设备的绝缘电阻，可仅在各极(相)对地之间进行。

④ 汽轮发电机转子绝缘电阻的测定应于额定转速下进行。

5.4 电气设备的系泊试验

电气设备在船上安装完毕，并经过工厂全面检查调试合格后，再按照验船部门审查批准的系泊试验大纲进行试验。

系泊试验是船停靠在码头旁进行的试验，其目的是检查电气设备的安装质量和工作情况，是保证船舶安全航行的重要检验。

系泊试验是船厂向验船部门提交检验。

5.4.1 配电板保护装置调试

船舶电站是船上的重要设备，而配电板又是电站的核心，配电板保护装置则为电站的正常工作提供安全保证。

配电板在船上安装完工后，首先测量其冷态绝缘电阻应大于1MΩ，然后进行通电效用试

引，确认各开关、仪表、指示灯工 作正常，便可进行保护装置的调试。

5 4.1.1 过载保护值的整定

由于在设计船舶电站时，要求在各种工况下都应让发电机的功率留有 15%～20%的余量，所以电站在正常工作情况下，一般不会超过其发电机的额定功率。但在特殊情况下临时增加电站的负荷或在某处突然短路，则会超过发电机的额定功率，如不设置过载保护，则会使发电机过载而损坏，所以发电机主开关过载保护值的整定是一项很重要的工作，必须认真进行调试，以确保电站的正常工作和安全。

规范规定：

1）发电机过载小于额定功率 P_H 的 10%时，建议设一带延时的声光报警装置，其最大值整定在发电机额定电流的 1.1 倍，延时时间不超过 15min；

2）发电机过载在 10%～50%P_H 之间时，经少于 2min 的延时自动开关应分断；发电机的过载保护装置建议整定在 125%～135%I_H 时，延时 20～30s 自动开关分断；

3）过电流大于 50%I_H，但小于发电机的稳定短路电流，经与系统选择性保护所要求的短暂延时后自动开关应分断；自动开关短暂延时脱扣可按如下规定进行整定：始动值为发电机额定电流的 200%～250%，延时 0.2s（直流）或 0.5s（交流）自动开关分断；

4）有三台或三台以上发电机并联运行时，还应设有短路瞬时脱扣器，并应整定在稍大于其所保护发电机的最大短路电流下，自动开关瞬时分断；

容量小于 50kW（或 kVA）且不并联运行的发电机，可用一多极联动开关，并在每一绝缘极上设一熔断器作保护；

过载保护装置调试的方法很多，在此只介绍其中几种：

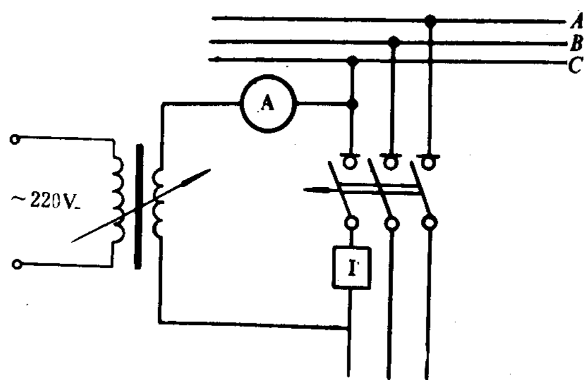


图 8.5.1—1 发电机主开关过载保护试验接线图

1）把配电板汇流排一相接地（短路），合上发电机主开关（此时需取下主开关失压线圈的弹簧或用外接电源经失压线圈供电，以保证主开关合闸），用一电流互感器通过调节原边的电压得到所需要的电流，通过主开关加在汇流排和地之间，经一定延时使主开关自动分断，具体接线和电路如图 8.5.1－1。

试验电流可通过串接在电路中的电流表或钳形表监测，从加上负荷开始记录时间，直到主开关自动分断为止，这段时间即为延时时间。此试验方法的缺点是需整 个配电板停电操 作，且拆接线比较麻烦，并需将三相汇流排分别 逐相进行试验。

2）将配电板中三相汇流排中任两相短接，然后将电流互感器的副绕组经主开关和短路的两相汇流排相连接，具体接线如图 8.5.1—2。

试验方法和原理与前述相同，但在试验时应将其中一相的脱扣器机构固定，使其不动作。待另一相调试合格后再调这一相，调试这一相时同样需将另一相的脱扣机构固定。这种方法比第一种方法要简单些。

3)用电焊机也可进行配电板保护装置调试，其原理和方法与前两种相同。电焊机本身就是一个电流互感器，这种方法的优点是无需专门的设备。

4)用水电阻和电抗器(交流发电机用)作为负载进行过载保护调试。其方法是让发电机启动运转，接通发电机主开关，使发电机和配电板处于实际工作状态。先用水电阻使发电机承担20%～60%P_H，再用电抗器给发电机加上一部分无功电流使达到试验所需要的电流值。具体线路如图8.5.1—3。记录时间的方法和试验要求与前述相同。大多数造船厂都采用这种方法，因为它不需停电操作，接线简便，而且又接近于实际工况，试验数据比较准确。同时还由于发电机的负荷大部分为无功电流，则发电机原动机的负荷没有过载，颇受船东和船厂欢迎。缺点是需要专用试验设备，得投资一部分经费。

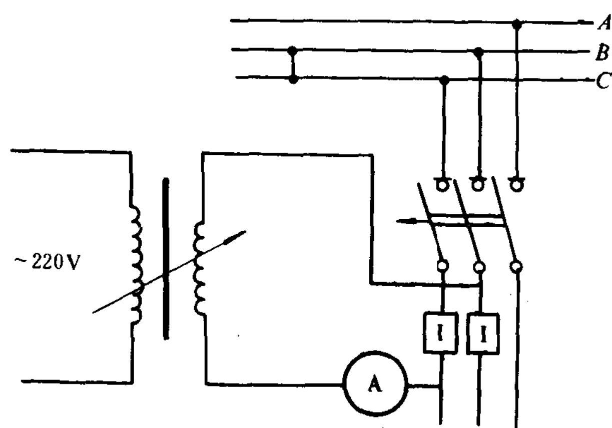


图8.5.1—2　发电机主开关过载保护试验接线图

在调整试验过载保护整定值时应注意：

1)过电流保护整定值调整好后，还应该使发电机在110%P_H时工作半小时，此时发电机主开关不应自动分断(但可以发出过载报警)，这样才证明过电流保护整定值是合适的，否则应重新调整。

2)用模拟方法进行试验时，一般是一相一相进行试验，这和实际工况(三相同时有负载)不同。从实践摸索，取一相进行试验时，整定值应该取得偏高些，实际中我们一般取规范规定的上限值，即取135%I_H(有些资料介绍单相动作值应高于三相同时动作值的10%)，这样基本上可以保证三相同时动作值不小于125%I_H。

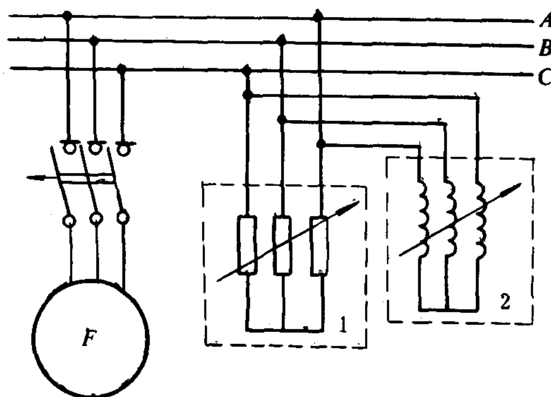


图8.5.1—3　发电机主开关过载保护试验接线图
1—水电阻；2—电抗器

3)按规范规定，在进行过载保护试验时，其功率因素应调整至额定值，因为功率因素对过载保护整定值是有直接影响的，特别是对半导体过载保护装置的影响更大一些。但由于试验条件限制及人们的习惯作法(模拟试验时功率因素无法调节，且在额定功率因素下进行过载试验时，原动机势必处于过载状态，船厂和船东都不太欢迎此种作法)，所以我们在进行过载保护试验时，一般不考虑功率因素的影响(即不过分强调功率因素调整至额定值)。经过实践证明，这样调整试验的整定值能够满足实际使用工况的要求。国际上英国劳氏船级社和法国船级社在做过载保护试验时，其方法和我国基本相同，也没有考虑功率因素的影响。

4)短路保护试验因产品已在制造厂进行过试验，故在船上一般不再试验。

以上是以交流电站为基础叙述的，对于直流电站因现代船舶较少采用，故不在此介绍。但

上面叙述的一些要求和试验方法对直流电站也是适用的。

5.4.1.2 逆功率(逆电流)保护装置调试

规范规定并联运行的交流发电机应设有延时3～10S动作的逆功率保护装置;并联运行的直流发电机应设有瞬时或经短暂延时(少于1S)动作的逆电流保护装置。当原动机为柴油机时,其保护整定值可整定在8%～15%P_H(或I_H)范围内动作;当原动机为汽轮机时,其逆功率(逆电流)可调整在2%～6%P_H(I_H)范围内动作。

1)将1#和2#两台发电机并联运行,使总负荷为30%($I_{H1}+I_{H2}$)左右,然后降低1#发电机的转速(交流电机)或励磁电流(直流电机),使负荷全部转移到2#发电机,并记录2#发电机承担负荷的准确值(此时1#发电机的负荷为零),再继续降低1#发电机的转速或励磁电流(此时1#发电机即呈现为逆功率或逆电流状态,即从电网吸收功率),直到1#发电机主开关自动分断,此时记录2#发电机在原有负荷上新增加的负荷数值,即是1#发电机逆功率(逆电流)继电器的保护整定值。整定值大小的调整可通过改变逆功率继电器中电流绕组的抽头和改变控制弹簧的松紧程度来实现。逆功率保护延时测定方法是打开逆功率继电器的外壳,记录从其铝盘开始转动到主开关自动分断的时间即为延时时间,延时调节可通过其延时调节螺钉位置的改变来实现。

2)将逆功率继电器的两根进线对调,接通主开关并加上15%P_H(I_H),此时逆功率继电器即承受逆功率而使主开关自动分断。调整和测试方法同前。

逆功率保护值的调试必须对每台发电机都进行试验。

5.4.1.3 欠电压保护装置的调试

并联运行的发电机应设有欠电压保护装置,以防止在发电机不发电时闭合其主开关和在低电压状态时其主开关不能自动分断。对于欠电压保护,规范有两种不同的要求,当电压降低至额定电压的70%～35%时,主开关应能自动分断,且应有为选择性目的所需要的延时;当欠电压脱扣器用于防止主开关自动闭合时,必须能瞬时分断。具体试验方法如下:

1)让发电机正常运转,主开关接通,然后降低发电机原动机转速或减小发电机励磁电流,使发电机端电压降低而导致主开关自动分断,记录此时的电压值即为发电机的欠压保护整定值。此方法操作简便,但测得的数据不太准确。

2)用自耦变压器进行调试,用自耦变压器输出电压直接供给主开关失压线圈,接通主开关,然后再慢慢降低自耦变压器的输出电压,直至主开关分断为止,记录此时变压器的输出电压即是发电机的欠电压保护整定值。此方法比较合理,数据准确;但需停电操作,接线较麻烦。我国提倡采用这种试验方法。

5.4.1.4 配电板联锁保护装置

一般船舶都设有船电和岸电联锁、主发电机和应急发电机之间的联锁保护装置,对此装置必须进行试验。试验方法很简单,当船用发电机供电时,强行接通岸电主开关,但终因联锁装置的保护作用而无法接通,反之亦相同。主发电机和应急发电机之间的联锁保护试验也是如此。

5.4.1.5 船舶电站自动化

随着航运和造船事业的发展,不少船舶已设置了自动电站,实现了船舶电站自动化。对于自动电站,主要应检查和试验以下几个方面的功能:

1)当发电机过载时,能自动分级(一级或多级)卸去非重要负荷,以保证电站正常工作。

2)当运行发电机出现故障而自动停车时,备用发电机组能自动启动并且自动合闸供电。

若几台主发电机组都不能正常工作时，应急发电机组应能自动启动，并且自动合闸供电。

3）当几台主发电机组均不能工 作，在应急发电机没有供电之前，临时应急照明应能自动接通供电，待应急发电机组自动供电后，临时应急照明应能自动停止供电；同样当主发电机恢复供电后，应急发电机组应能自动断开电路，自动停车。

4）自动电站应 设有发电机联锁保护装置，以防止原动机在可能造成严重损坏的情况下启动。

5）当电站自动控制失灵时，应能迅速转为手动控制。

6）应有各种自动保护装置和故障声光报警装置，且应有自检和记忆功能。

船舶自动电站的试验方法一般是根据规范、设计说明书和试验大纲的要求进行，主要是调试各种自动控制装置的整定值。对油温、水温、压力、自动故障 停车及警报系统一定要进行模拟试验和实际效用试验。对设有分级卸载装置的自动电站保护系统在调试时，一定要注意整个保 护系统的协调性。自动电站因船而异，在此不一一叙述。

5.4.2 发电机负荷试验

在配电板保护装置调 试完成后，就可进行发电机负荷试验。试验前一般应对发电机的安装情况作进一步检查，并检查试验设备是否符合安全、可靠和易于操作的要求。在测量发电机的冷态 绝缘电阻不小于 1MΩ 后即可进行试验。

5.4.2.1 发电机原动机冷车启动试验

若发电机原动机由蓄电池起动时，应配合轮机验船师对 柴油发电机组进行冷车起动试验。要求蓄电池在充 足电以后不再进行补充充电的情况下，其容量足够连续启动发电机原动机的次数应不少于 10 次。此项试验必须让原动机处于冷态下进行。其目的一是考核蓄电池的容量，二是检查启动装置工作的可靠性。

5.4.2.2 发电机空载运行

起动发电机 组 原动机，观察发电机组各部分的运转和振动情况，检查发电机 组运行的稳定性。接通发电机主开关后，核对配电板上仪表的准确性和指示灯、开关等设备工作的可靠性。

5.4.2.3 发电机负荷试验

负荷试验的程序和时间 见表 8.5.1—6；

表 8.5.1—6 **发电机负荷试验的程序和时间**

试验负荷 P_H	0	25%	50%	75%	100%	110%
试验时间 h	1/4	1/4	1/4	1/4	2～4	1/2～1

1）当 $P_H \leqslant 100$kW 时，100%P_H 的试验时间为 2h，110%P_H 的试验时间为 1/2h；

2）当 $P_H > 100$kW 时，100%P_H 的试验时间为 4h，110%P_H 的试验时间为 1h；

3）110%P_H 的试验应在发电机电压调整率试验和温升及热态绝缘电阻测量之后进行，因为 110%P_H 的试验时的温升不作考核；

4）在各种试验工况下，都必须将发电机的电压、频率、转速及功率因素等参数调整至额定值；

5）发电机的负荷一般采用水电阻，功率因素则采用电抗器增加或减少无功电流来调整；具体线路见图 8.5.1—3。

在进行负荷试验时应着重检查：

1）记录各种工况下的三相电压、三相电流、功率、功率因素、频率及转速等数据；

2）检查发电机各部分的运行、振动及温升情况；

3)检查励磁系统的工作及火花情况，火花等级不应超过 $1\frac{1}{4}$ 级；对于无刷励磁系统主要检查励磁电流是否超过其允许值；

4)检测配电 板上各测量仪表、指示灯、开关等指示和工作正确与否，同时应检查三相电压和电流的平衡情况；

5)检查发电机 原动机调速器遥控装置(若设有时)的调速范围是否 符合要求；

6)检查手动电压调节装置的操纵手轮的操作方向是否符合要求，顺时针方向电压升高，逆时针方向电压降低。

5.4.2.4 电压变化率试验

进行电压变化率试验，主要是考核发电机适应负荷突变的能力。试验方法是起动发电机原动机，使发电机承担 $100\%P_H$，此时将发电机的频率、电压、功率因素、转速均调整至额定值，将发电机的负荷突 然减少至零，此时记录发电机的频率、电压和转速等数据；然后再 将发电机各参 数调整至额定值后，将发电机的负荷由零突增到 $100\%P_H$，此时再记录频率、电压、转速等数据；如此反复试验几次，即由 $100\%P_H \rightarrow 0 \rightarrow 100\%P_H \rightarrow 0 \rightarrow 100\%P_H$，再用下列公式即可求出发电机的稳态电压变化率：

$$\delta_u\% = \frac{U - U_N}{U_N} \times 100\%$$

式中：U ——最高电压或最低电压，V；

U_N——额定电压，V。

规范规定交流发电机的稳态电压变化率应不超过 $\pm 2.5\% U_H$，应急发电机可允许在 $\pm 3\% U_H$；在进行此种试验时，原动机的稳定调速率应不大于额定转速的 $\pm 5\%$，且瞬时调速率应不大于额定转速的 $\pm 10\%$；若发电机的电压变化率超出规定允许值，但原动机的调速率符合要求，则电压变化率与原动机转速无关，此时应调整发电机的调压系统，直至符合要求；若原动机的调速率超出规定 范围，则应先调整调速器，使其符合要求，然后再调整调压系统。这就是我们在测定发电机电 压变化率的同时，通常还要测定原动机调速 率的缘故。原动机的转速和发电机的频率是成对应关系的，所以在试验中我们可以只测定两者中任一数值即可。

发电机的电压变化率试验也可以让发电机由空载先突加 $50\%P_H$，然后再加上 $50\%P_H$，再突然减至空载，反复几 次也可测定出发电机的电压变化率。

发电机的动态电压变化率试验，是让发电机负载为空载，转速为额定转速，电 压接近额定值的状态下，突加和突卸 $60\%P_H$ 及功率因素不超过 0.4(滞后)的对称负载时，当电压跌落时，其瞬态电压值应不低于额定电压的 85%；当电压上升时，其瞬态电压值应不超过额定电压的 120%，而电压恢复至最后稳定值相差 3%以内所需的时间应不大于 1.5S；此项试验应在有大功率起货设备的 海船上进行，因为在使用起货设备时，电站的功率因素较低，且起停频繁，对电站要求较高。为考核 电站运行的稳定性，应增加此项试验。

5.4.2.5 温升及热态绝缘电阻测量

在发电机进行 $100\%P_H$ 负荷试验之后，应立即停车检查发电机各部分(定子绕组、转子绕组、滑环和轴承)的温升，均不应超过其允许温升；同时还应测量发电机各绕组对地和各绕组之间的热态绝缘电阻值，大于 1MΩ 为合格。

5.4.2.6 超负荷试验

让发电机承担 $110\%P_H$，电压、频率、转速和功率因 素均调整至额定值，试验时间见表 8.5.1—6；主要检查发电机各部分的运行情况，不应有异响和不正常的振动。

应注意，无论是主发电机，还是应急发电机或是轴带发电机，均需分别进行 负荷试验。

5.4.2.7 并联运行和负荷转移

在进行发电机并联运行试验之前，一定要先进行其保护装置的试验，以确保试验安全。

1)并联运行

先让 1# 发电机承担 50%P_H，然后将 2# 发电机并联，调整两台发电机的转速或励磁电流，使其功率分配尽量平衡。并联运行试验的程序、负荷和时间见表 8.5.1—7；

表 8.5.1—7 **并联运行试验的程序**

序号	试验负荷	试验时间
1	20%($P_{H1}+P_{H2}$)	5～10min
2	50%($P_{H1}+P_{H2}$)	
3	75%($P_{H1}+P_{H2}$)	
4	100($P_{H1}+P_{H2}$)	
5	75%($P_{H1}+P_{H2}$)	
6	50%($P_{H1}+P_{H2}$)	
7	20%($P_{H1}+P_{H2}$)	

(1)在进行试验时，一般在 20%($P_{H1}+P_{H2}$)时尽量将两发电机的负荷分配调整平衡，电压和功率因素尽量调至额定值。两台发电机的负荷不可能完全相同，在增加或减少负荷时可以一台发电机的数据为准；

在试验前对两机组可进行一次调整，试验过程中一般不再调整机组参数；

(2)记录每台发电机在各种工况下的电压，电流等参数值；

(3)在并联运行试验时主要检查：

①并联运行的稳定性；

②两发电机的功率分配误差。

并联运行的直流发电机，当负载在总额定负载的 20%～100%范围内变化时，各机组所承担的负载与总负载按机组额定功率比例分配值之差应不超过：

最大机组额定功率的±12%；

当最小机组的额定功率小于最大机 组额定功率的 50%时，为最小机组额定功率的±25%；

这样的负载分配不应引起较小机组过载运行；

并联运行的交流发电机组，当负载在 总额定负载的 20%～100%范围内变化时：

各机 组所承担的有功 负载与总负载按机组额定功率比例分配值之差应不超过下列数值中的较小者：

最大机组额定有功功率的±15%；

最小机组额定有功功率的±25%。

各机 组所承担的无功负载与总无功负载按机组定额比例分配值之差应不超过下列数值中的较小者：

最大机组额定无功功率的±10%；

最小机组额定无功功率的±25%；

发电机组的额定无功功率可由下式求出：

$$Q_H = P_H \cdot tg\varphi = P_H \cdot \sqrt{\frac{1-\cos^2\varphi}{\cos\varphi}}$$

式中： P_H ——发电机的额定功率，kW；

cosφ ——发电机的额定功率因素。

③考核发电机并联运行的稳定性的方法是人为的增加或减少负荷。一般让两发电机承担50%($P_{H1}+P_{H2}$)，起动和停止船上最大容量的电动机，两发电机不致因启动电流的冲击而失步。当负荷没有改变时，两发电机各自承担的负荷不应有大的波动和改变；

④进一步检查和考核逆功率(逆电流)装置工作的可靠性；

⑤检查并联装置(包括同步表或同步指示灯)工作的可靠性和准确性；使用电抗器并联的还应检查电抗器保护装置，即电抗器接通5～7S(此时间可调整)后无论并联成功与否，电抗器都应自动与电路分断，以免接通时间太长而损坏；

⑥若设有自动并联装置，则应分别试验自动和手动并联的可靠性。

2)负荷转移

设有两台以上发电机的船舶，无论是需要并联运行，还是为满足航行需要而实现不停电转换，都需要进行负荷转移。试验方法是让1#发电机承担50%P_H，将2#发电机并联，然后增加2#发电机的转速或励磁电流，同时减少1#发电机的转速或励磁电流，直至1#发电机的负荷全部转移到2#发电机，切断1#发电机主开关，整个负荷转移完成。两台发电机之间往返转移几次，若不发生停电和失步现象则为正常。

在进行并联运行和负荷转移试验时，无论有几台机组(包括应急发电机)，都必须在任两台发电机之间相互反复进行几次，一则考核发电机并联和并联运行的可靠性，同时也考核负荷转移的可靠性。

5.4.2.8 绝缘电阻测量

电气设备的绝缘电阻对整个电网的供电质量和安全至关重要，所以配电板和发电机在进行试验前后都必须进行认真检测。

1)在试验之前，先断开所有外电路，测量其冷态绝缘电阻；

2)在试验结束之后，测量其热态绝缘电阻；所谓热态是指设备在通电5min以后和停机后5min以内；

3)用配电板上设置的兆欧表和绝缘指示灯测量整个电网的绝缘电阻值，以检查带电测量的准确性和可靠性；

4)电气设备在船上所允许的最低热态绝缘电阻值见表8.5.1—5。

到此，整个电站的系泊试验全部结束。目前船舶电站的种类繁多，电站设备和条件也不尽相同，所以试验方法亦不会全然相同。前面叙述的基本是以交流电站为主，直流电站除部分内容有差别外，其基本要求和试验方法是相同的。在实际检验中，应分别不同情况，确定其最佳试验方法，以保其试验准确、安全、可靠。

5.4.3 舵机系统的系泊试验

船舶航向直接由舵机系统控制，舵机系统的质量直接关系到船舶的安全，所以舵机系统的系泊试验是极为重要的。船舶上最常用的是电动舵机和电动液压舵机，下面就以这种型式的舵机为例介绍其系泊试验的程序和要求。

1)测量舵机系统的绝缘电阻，具体要求见表8.5.1—5；

2)检查舵角指示器的方向和准确性；每隔5°校核一次，舵角指示器的最大误差不得超过

±1°,但在零位不允许有误差;

3)检查两舷供电与应急电源转换的可靠性;

4)从各操舵位置(驾驶室和舵机房)分别用主操舵和辅助操舵装置进行操舵试验,将舵转到左右极限位置,检查限位开关动作的可靠性;

5)配合船体轮机专业,将舵从一舷满舵操至另一舷满舵,每台舵机如此往 复连续操舵30min,检查舵机工作的可靠性,同时 测量舵机电动机的启动电流、工作电流、转速、温升及检查各部分的运转和火花情况(包括电磁离合器和制动器);

6)检查舵机失电及过载报警装置工作的可靠性;过载报警整定值一般取电动机额定工作电流的 1.1～1.2 倍;

7)检查主操舵和辅助操舵、应急操舵之间的转换和联锁装置工作的可靠性和准确性;

8)在液压舵机作系统封闭压力试验时,电动机的工作电流一般不应超过其额定值,但也允许有 1.1～1.3 倍的过载系数;但在溢流阀或安全阀的压力达到其整定值而开启时,电动机的工作电流应不超过其额定值;

9)设有应急舵机系统的船舶,应检查在主电源失电时能迅速自动转到应急电源供电,并能正常操舵;应急舵机应能连续运转 30min,以检查其应急电源的 容量是否符合要求;

10)检查操舵时间:航行于内河急流航段的船舶应在 12S 以内将舵从一舷 35°操至另一舷30°;航行于其它区域的内河船舶能在 20S 内将舵从一舷 35°操至另一舷 30°为合格;海船能在28S 内将舵从一舷满舵操至另一舷满舵为合格;

11)自动舵系统在系泊试验中只作模拟试验,待航行试验中再作自动操舵试验。

5.4.4 锚机和绞缆机系泊试验

锚机、绞缆机和吊艇机等设备系泊试验的要求和方法基本相同,主要应检查下列项目:

1)测量冷热态绝缘电阻值;

2)作启动试验,在 30min 内能连续起动电动机运转的次数不少于 25 次;

3)检查操纵手柄或手轮的方向应符合下列要求:

操纵手柄向前应为抛锚、放缆和下降;

操纵手柄向后应为绞锚、收缆和上升;

操纵手轮顺时针方向旋转应为绞锚、收缆和上升;

操纵手轮逆时针方向旋转应为抛锚、放缆和下降;

4)检查电磁制动器、零位保护、紧急工作按钮和限位开关等装置工作的可靠性;

5)检查手动和电动联锁装置工作的可靠性;

6)配合船体、轮机专业作空载和负载试验,试验时检查电机的运转、火花和温升情况,并记录其各种工况下的起动和工作电流、电压、转速等数据,还应注意绞锚时锚破土的工作电流;

7)对于交流三速锚机,当用过流继电器作高速过载保护(即三速过载时自动恢复二速运行)时,其过载整定值可取高速运转额定电流的 1.1～1.25 倍;对于直流锚机,当用负载继电器作过载保护时,其过载整定值可取 2～2.5I_H,且电流降低至额定电流时应自动复位;此项试验可用电流互感器进行调试。

5.4.5 锅炉及其自动控制系统

在柴油机动力船舶上,一般只装设辅助锅炉和废气锅炉,其试验方法和要求如下:

1)检查水位(包括极低水位)和压力自动控制及其警报工作的可靠性;

2)检查扫气时间和熄火保护装置的可靠性;各种锅炉的扫气时间不等,可根据说明书进行

调试；熄火保护一般延时 5～7s 起作用，即点火 5～7s 后因油或其它原因不能燃烧时，则锅炉能自动停火，并发出声光报警(模拟试验)；

3)应分别进行手动点火和自动点火的工作试验，检查其联锁保护和火焰监视器的工作情况；

4)配合轮机专业进行效用试验，测量风机、水泵、油泵的起动电流和工作电流、转速等数据；

5)测量各电气设备的绝缘电阻。

5.4.6 电力推进(包括首侧推)装置

电力推进装置在系泊试验中应检查：

1)测量各系统的绝缘电阻；

2)检查推进发电机、推进电动机、励磁装置、通风冷却装置、主回路及控制回路的电缆及与电力推进有关的电气装置的安装和运行情况；

3)检查各操纵器具操作的灵活性和可靠性及各种监测系统的工作情况；

4)检查各种保护装置、联锁、警报和信号装置动作的可靠性和正确性；

5)按规定进行负荷试验。

5.4.7 电动辅机及其控制系统

空压机、油水分离器、消防及舱底泵等电动辅机在系泊试验中主要检查：

1)测量系统的绝缘电阻；

2)配合轮机专业进行效用试验，试验时间不少于 2h，检查电机运行及温升情况，记录其电流、转速等数据；

3)检查机舱风机、油泵及舱室风机遥控切断装置；

4)检查各系统自动控制设备的工作情况。

5.4.8 照明及航行信号系统

1)对首制船舶抽查电压降(不应超过 $7\%U_H$)；

2)测量各分配电箱的绝缘电阻值；

3)检查防爆灯具工作情况；

4)检查变压器的工作情况，三相负载的不平衡度应不大于 $15\%\sim25\%I_H$；

5)检查航行信号的工作情况，对其两路电源供电的转换及故障报警装置作效用试验；

6)全船主照明和应急照明应作效用试验；

7)检查应急照明自动接通的可靠性，并对蓄电池作充放电试验。

5.4.9 船内通信及警报系统

1)测量各系统的绝缘电阻值；

2)对船内外通信设备均作效用试验；

3)对客船应检查船员和旅客集合警铃及其音响区别，并进行实效试验；

4)检查火警、自动火灾探测器、水密门关闭和开启指示及预告水密门关闭报警、CO_2 及卤化物施放预报警等装置的工作情况(可作模拟试验)；

5)检查电传令钟和舵机系统失电报警装置，并作效用试验；

6)除主舵角指示器外，驾驶室舵机操纵台上若无机械指示器时，一般应设一独立馈电的备用舵角指示器(以蓄电池供电为宜)。

5.4.10 接地、避雷及防干扰

1)抽查接地电阻,除已有明确规定外,一般应不大于 0.03Ω;

2)检查引入无线电室的电源电缆是否在引入该室之前装有滤波器;

3)检查避雷装置及天线避雷器的安装情况。

5.4.11 机舱自动化系统试验

1)检查各控制站之间的转换、联锁及本系统故障试验;

2)各报警系统和监控系统进行模拟和实效调整试验,校核所整定的报警整定值,并进行声光报警(包括远传报警)和监控效用试验;

3)检查各自动控制系统和遥控系统及手控装置,按控制程序对控制对象进行起动、运行、并联运行及停止等实效试验,检查其工作的可靠性和稳定性;

4)检查超速保护等各种安全保护装置及紧急停车或切断装置动作的可靠性,并应进行效用试验。

5.4.12 主机遥控系统试验

主机遥控系统在系泊试验中应检查的项目:

1)检查手控和遥控转换装置,在遥控失灵时应迅速转换到机旁手动控制;

2)检查主机的运转方向(正车和倒车)是否与遥控指示方向相同;

3)检查遥控指示精度,误差不得大于 0.5°;

4)检查主电源和应急电源的转换和供电情况;

5)检查失步(错车)报警;

6)对系统故障自检功能和消音按钮(保留光信号)作效用试验;

7)检查失电报警或失压报警及自保功能;

8)对 超速保护装置作效用试验;

9)对应急停车按钮作效用试验;

10)对各控制站的操纵联锁保护装置作效用试验;并检查备车、运转、完车等指令系统;

11)检查遥控装置调速的均匀性;

12)用遥控装置对主机作正倒车换向试验;

13)对主机作各种工况的遥控运转试验。

5.4.13 无线电通信设备的检查和试验

1)检查主天线、备用(应急)天线安装情况,测量其绝缘电阻值;

2)检查主、应急电源及变流机的工作情况;

3)检查主用、备用(应急)收、发信机的工作情况,在各个工作频率上进行调试和效用试验;

4)对无线电报和无线电话遇险信号自动拍发器和自动报警装置进行模拟试验;

5)对救生艇手提式收发报机在 500kHz、2182kHz 和 8364kHz 的频率上进行模拟试验和效用试验,并检查遇险信号自动拍发器的工作情况;

6)检查无线电话遇险频率值班收报机的工作情况;

7)对无线电测向仪进行检查和试验;

8)检查无线电报房的应急照明、红色警灯和船内通信电话,并作效用试验。

5.4.14 助航设备试验

对电罗经、测深仪、计程仪、测向仪、双曲线定位仪、雷达和卫星导航等设备在系泊试验中应着重检查:

1)检查各设备的安装情况;

2)按规范要求和产品说明书进行效用试验；

3)测量各系统的绝缘电阻值。

5.4.15 起货设备试验

1)检查信号装置、保护装置(欠电压和零位保护)、失电自保装置、联锁装置和应急切断装置并进行效用试验；

2)检查操纵手柄的操作方向是否符合规范要求；

3)对起重机的旋转、变幅和起升高度的限位装置进行 效用试验；

4)在空载情况下作 30min 倒顺车试验，并测量各档转速、启动电流和工作电流；

5)配合船体专业作起货设备的吊重试验，检查电气控制设备及各档调速 和电磁制动器的工作情况，检查和调整过载保护及调载保护装置 ，测量电动机的启动电流和工作电流及转速等数据；

6)在安全工作负荷下，分别用各档速度作起升和降落的效用试验，同时测量各档转速；

7)试验测定空钩的下降速度；

8)检查各种工况下电磁制动器的工作情况；

9)测量系统的绝缘电阻值；

对于每台起货设备均应进行上述各项试验。

5.5 电气设备的航行试验

新建船舶通过船体、轮机和电气设备 系泊试验之后，并且消除了系泊试验中发现的缺陷，才能进行航行试验。电气设备在航行试验中主要检查和试验下列项目：

5.5.1 下列电 气设备在航行试验中按实际工况作效用试验

1)蓄电池充放电系统；

2)正常照明、应急照明、航行信号；

3)空压机、消防、舱底等电动辅机和舱室辅机设备及锅炉系统；

4)船内外通信、广播及警报系统；

5.5.2 船舶电站

1)在航行试验中按实际工况，观察发电机单机和并联运行的工作情况，尽量使发电机在额定工作负荷(或接近额定负荷)下运行，考核发电机运行的稳定性、负载分配及转移的情况；

2)在各种工况下，有意改变发电机的负荷(起动或停止本船最大容量的电动机)，不应引起运行中的机组失步、停转或电器自行停止工作；

3)记录各发电机在各种工况下的参数值。

5.5.3 舵机系统

1)全速航行时，在各操舵站以各种操舵方式进行实际操 舵试验，并测定操舵时间；

2)对应急舵和应急电源的转换及自动投入和应急操舵进行效用试验；

3)对自动操舵系统的各种功能进行实际测试；

4)记录执行电动机的转速、电压和电流等数据。

5.5.4 锚机系统

1)进行抛、起单锚试验，测定起锚速度，并记录电机的电压、电流和转速等数据；

2)进行抛、起双锚试验(自水底依次拔起单锚，即一锚破土，另一锚停止不动，然后同时绞起)，记录电机的电流、转速等数据，并观察记录锚破土时的电流；

5.5.5 电力推进(包括首侧推)系统

1)作全速航行试验,检查电机的温升、润滑和冷却情况;

2)对推进系统作各种接线方式的运转试验,并作全速倒车试验;

3)在各种速度下作前车——停车——倒车——停车——前车的操纵转换试验;

4)对系统的联锁装置、过载保护和警报系统作效用试验和模拟试验;

5)首侧推应在航速低于 5n min 的情况下进行试验,注意检查遥控和监测系统的情况。

5.5.6 机舱自动化系统

1)航行试验中应进行各控制站之间的控制转换及主机手动控制站的转换和操 纵试验;

2)在主机经 2h 运转后,应在主、辅控制站用遥控和自控系统对主机进行各种运转工况范围内的各种控制试验,检查各控制系统的工作情况;

3)对自动电站应进行模拟故障试验,检查备用和应急发电机组自动起动并自动投入供电的功能。若发电机为几台并联运行时,则要检查所停机组从配电板自动脱开和余下机组维持供电及备用(应急)机组自动起动并自动并联供电的情况;

4)在供电恢复后,与船舶航行有关的重要辅机在控制站进行遥控起动时,应不需要到机旁去进行调节即能投入运行;

5)锅炉控制系统主要作各种工况下的效用试验;

6)对于自控系统的警报装置(包括远传报警)、指示、监测(包括记忆功能)和保护系统应作模拟故障和效用试验;

7)对周期无人机舱还应在航行试验中进行至少 6~8h 无故障和无报警的运行试验(各种船舶要求不同,可根据设计和试验大纲的要求进行试验),即在 6~8h 的连续航行中,整个机舱自控系统不应出现任何故障和报警。

5.5.7 主机遥控系统

在航行试验中主要作效用试验,检查其工作可靠性。

5.5.8 助航系统

1)对电罗经系统配合操舵试验,对其自差进行测定和校正,并检查其系统的工作情况;

2)对雷达系统作各种功能的效用试验,并测定其盲区和方位误差;

3)对无线电测向仪进行效用试验,并对其自差进行测定和校正;

4)对其它助航设备均作效用试验。

5.5.9 无线电 设备

1)在航行试验中,对主用、备用收发报机进行实际工作试验;

2)对应急设备均进行模拟试验或效用试验。

5.6 备件和备品检查

在系泊试验和航行试验完成后,还应对规范规定配备的电气设备的备件和备品进行数量核对和质量检查,特别是对船上备用的发电机主开关的保护系统也应按规定调 试合格,以便在需要时能及时更换使用。

5.7 编写检验报告和签发船舶证书

新建船舶在系泊试验和航行试验完成以后(指全部试验合格),并且收到了船舶制造厂的出厂质量证明书,则可按船舶检验局的有关规定编写船舶检验报告和签发船舶证书。新建船舶

在获得验船部门签发的船舶证书后即可正式投入营运。投入营运后再按船检局营运船舶检验规程的规定办理有关检验。

6 油船和油驳拖船的附加要求

油船和油驳拖船与其它船舶不同，它们装运和拖带的货物属于危险品货物，所以对这类船舶的电气设备有着特殊要求。本节适用于装运和拖带闪点（闭杯试验）低于60℃的原油和石油产品的船舶和拖船。本节没涉及的内容应符合本篇其它章节的有关要求。

6.1 油船上危险区域或处所的划分原则

油船上经常会积聚易燃或易爆的蒸气或气体的地点均属于危险区域或处所。危险区域或处所可按下列原则划分：

1）装载易燃易爆性货物的处所和邻近货油舱的所有区域或处所都属于危险区域或处所；

2）有通道直接进入危险区域或处所的封闭或半封闭的处所也属于危险区域或处所；

3）在装卸、压载和消除气体时，可能出现大量的爆炸性或可燃性气体或蒸气而形成新的危险区域或处所，属于扩大的危险区域或处所。

6.2 油船所采用的配电线路

1）交流单相双线绝缘系统；

2）直流双线绝缘系统；

3）交流三相三线绝缘系统。

应特别注意，不同电压网路不应有电气上的联系。

6.3 油船上电气设备的安装要求

1）发电机电路、配电及供电电路均不应接地，也不应使用以船体作回路的系统，但下列情况可不受此限制：

（1）仪表互感器次级绕组接地；

（2）抑制无线电干扰的电容器接地；

（3）船体阴极保护系统；

（4）有限和局部利用船体作回路的系统（机舱柴油机起动系统）；

（5）循环电流不超过30mA的绝缘监测装置。

2）油船上应有下列消除静电的措施：

（1）设有与岸连接的接地装置，其连接电缆截面积应不小于16mm²；

（2）输油管和船体之间、输油管法兰之间、桅杆稳索与船体之间均应作可靠的电气连接；

3）货油泵应设在独立的货油泵舱，其拖动电动机不是防爆型则不能装于同一舱室，且安装货油泵和安装电动机的舱室之间的隔壁应保证气密；

4）货油泵电动机、电磁离合器以及货油泵舱的照明，应设有在泵舱抽风机工作3～5min后才能开始工作的时间联锁装置；

5）货油泵舱的照明至少分为两个独立的分路，且灯点应交叉布置；其照明分电箱应安装在非危险处所，每个分路均应有接通指示灯，且应有明显标记；

6)安装在危险处所的测量、监视、控制和通信电路均应为本质安全型电路；

7)危险区域或处所禁止安装任何插座；安装在露天甲板区域的插座应与开关联锁，使开关在接通位置时，插头不能插入和拔出，且该开关应能分断所有的极或相；

8)油船上禁止采用可换熔体式熔断器；

9)油船上禁止悬挂彩灯；

10)油船不允许使用由电缆供电的可携式照明；

11)可能暴露在货油、油蒸气或气体中的电缆应采用下列中的一种护套：

(1)铜护套(仅用于矿物绝缘电缆)；

(2)铝合金护套外加机械性防护(例如铠装或非金属不透性护套)；

(3)非金属不透性护套加铠装(用作机械性防护和接地检测)。

12)危险区域只允许设本质安全电路的电缆；

13)沿步桥敷设的电缆应有防止损伤的保护措施，且应考虑船体的膨胀而留有适当余量；膨胀弯头不应设置在危险区域；

14)电缆敷设时应与甲板、舱壁、油舱及各种管子留有足够的距离；电缆穿过舱壁时与蒸气管子法兰的距离应满足下列要求：

当管径大于或等于 75mm 时，其距离应不小于 450mm；

当管径不大于 75mm 时，其距离应不小于 300mm；

15)电缆穿过分隔危险区域与非危险区域的气密舱壁或甲板时，其布置不应破坏舱壁或甲板的气密完整性；

16)应设置能连续监视电网绝缘电阻、并于绝缘电阻异常降低时发出警报的装置。

6.4 对拖带装运闪点(闭杯)低于 60℃的原油和石油产品的油驳拖轮电气设备的要求

1)安装在甲板露天区域的插座应为联锁式带开关的水密插座；

2)两舷外走道的照明应能分别集中控制，控制开关可安装在驾驶室或其它适当处所；

3)给油驳供电的控制箱应有联锁保护装置；即应保证只有在电源断开时才能接线或拆线；

4)邻近两舷外走道的所有舱室内的可携式电气设备均应固定连接；且不能安装非联锁式的插座；

5)应设有能连续监视电网绝缘电阻的装置。

7 工程船舶的附加要求

工程船舶和其它船舶也不一样，有其特殊要求。在检验工程船舶电气设备时应着重检查如下内容(末涉及的内容应符合本篇其它章节的有关规定)：

1)工程船舶的电源允许使用高压系统：

(1)直流受电设备的最高电压等级为 1000V；

(2)交流受电设备的最高电压等级为 6000V；

高压电气设备的电气间隙和绝缘介电强度试验(耐压试验)的要求见表 8.5.1—8 和表 8.5.1—9。

表 8.5.1—8 **电气间隙**(mm)

电气间隙所处的位置	额定电压(kV)		
	3	6	10
不同相的裸导体之间及裸露带电部分至接地骨架	75	100	100
裸露带电部分至金属封板或金属门	105	130	155
裸露带电部分至网状板或网门	175	200	225
无遮拦裸导体至地高度	2500	2500	2500

表 8.5.1—9 **试验电压**(kV)

试验电器	额定电压(kV)	
	3	6
高压开关柜	24	32
电力变压器	18	25
电压互感器	24	32
高压电器和电流互感器	24	32
电缆	9	15
电机	7	13

高压电气设备的绝缘电阻应不小于按下式计算之值：

$$R=\frac{3U_H}{P_H+1000} \quad (M\Omega)$$

式中：P_H——电气设备的额定功率，kW；

U_H——额定电压，V。

2)在进行工程机械的效用试验时，应同时对其保护系统(短路、过载、失压及限位开关)及其监视、报警系统进行效用试验，对设有自动控制和遥控系统者也应对其进行各种功能性试验；

3)高压电气设备的安装要求：

(1)高压系统可采用三相三线绝缘系统及中性点径限制装置接地的三相系统；

(2)高压变压器应安装在独立的舱室和围壁内；并应有保证安全的措施；

(3)高压电气设备的安装处所应尽量远离生活区；高压电缆不应通过生活区，若必须通过时应采取相应防护措施；

(4)高压设备应牢固安装，接地可靠，应有防止冲击振动及机械损伤的措施；

(5)高压设备均应有“高压、危险”的明显标志。

8 营运船舶电气设备的检验

根据船级社检验工作条例的规定，凡是营运中船舶，均应按照营运船舶检验规程的规定进行营运中的监督检验。

8.1 营运船舶电气设备检验的种类

8.1.1 国际航行船舶的检验种类

1)初次检验；

2)初次入级检验；

3)保持入级的检验(船级的年度检验、中间检验和特别检验，特别检验可用循环检验代替)；

4)法定检验(年度检验、中间检验和定期检验)；

5)临时检验。

8.1.2 国内航行船舶的检验种类

1)初次检验；

2)年度检验；

3)中间检验；

4)特别检验；

5)临时检验。

8.2 营运船舶电气设备检验的范围

8.2.1 初次检验(初次入级检验)

凡未经我国验船部门监督建造的船舶，要求换发我国船舶证书时，应申请初次检验。一般要求进行初次检验的船舶都具有其它国家或地区的验船机构签发的证书，一般出厂营运时间不长，则只对重要电气设备进行检验(从国外购买的旧船不在此列，对其应进行全面检查)。

1)要求补送有关的图纸和资料；

2)对发电机和重要用途的电动机作效用试验；

3)对配电板进行效用试验，并对发电机主开关的保护装置的整定值进行校核；

4)对并联运行的发电机进行并联运行试验，检查负荷分配及调速器的工作性能；

5)对舵机系统进行效用试验；

6)对电力推进系统的保护、联锁和报警装置尽实际可能进行效用试验；

7)对机舱自动化系统进行效用试验；

8)对全船通信、航行信号、警报系统及所有应急设备进行效用试验；

9)检查全船电网的绝缘电阻；

10)对无线电报和助航设备全部进行效用试验。

经过船体、轮机和电气设备全部检验合格后，即可签发我国船舶证书。

初次检验是对国内航行和不入级的船舶而言的，对于国际航行船舶和要求入级的船舶则为初次入级检验，两者的检验范围和内容基本一样，只是签发的证书不同。

国际航行船舶应签发下列证书(常用的)：

1)船体和轮机入级证书(长期使用)；

2)货船构造安全证书(有效期五年)；

3)货船设备安全证书(有效期二年)；

4)国际船舶载重线证书(有效期五年)；

5)国际防止油污证书(有效期五年)；

6)国际吨位证书；

7)苏伊士运河和巴拿马运河吨位证书(需要时签发)；

8)货船无线电报/无线电话证书(视设备不同每艘船只签发一种，有效期一年)；

9)客船安全证书(仅客船签发,有效期一年);

10)货物冷藏装置入级证书(需要时签发),(长期使用);

11)散装谷物报告及批准 书(需要时签发);

12)乘客定额证书(仅客船签发);

13)起货设备检验等。

凡是证书有效期超过一年的设备都应进行年度检验、中间检验、特别检验或定期检验,否则证书自动失效;期满时重新核发证书。

长期使用和没有注明有效期的证书,只要船舶没有发生影响证书失效的变更,则被认为有效;但长期使用的证书每年应结合检验进行签证。

国内航行船舶应签发一本船舶证书簿,其中包括吨位证书、载重线证书、乘客定额证书和适航证书;船舶种类不同,适航证书的有效期也不同。适航证书期满时,船东应及时向验船部门申请相应的检验(年度检验、中间检验或特别检验),否则证书也自动失效。

8.2.2 特别检验(定期检验)

特别检验是为保持船级而进行的检验,它可用循环检验代替;定期检验是法定检验的要求;两者检验的范围和要求基本相同。

船舶电气的特别检验是船舶经过四年(海船)或六年(河船)的营运或经过中修、大修后所必须进行的检验。特别检验主要对发电机、配电装置、配电系统、电力拖动设备、应急和安全设施以及照明、通信、信号等系统进行全面的检查和试验,其目的在于查明电气设备的技术状况,鉴定船舶是否具备安全航行的技术条件。此种检验一般结合厂修进行,具体检验范围和要求如下:

8.2.2.1 发电机

1)发电机应进行1～2h的负荷试验,试验负荷可用船舶各种使用工况中常用的最大负荷;对于绕组经过修理的发电机,除按修理要求在车间进行试验外,装船后应进行不少于4h的负荷试验,试验负荷尽量达到发电机的额定负荷;负荷试验时检查发电机的电压、电流、功率等参数指示是否正常,检查振动、火花和温升情况;测量其绝缘电阻值,要求见表8.5.1—10;下述设备绝缘电阻值的要求亦相同;

2)对于电压调整装置和绕组经过修理或更换备件的发电机,应进行电压变化率试验;

3)对并联运行的发电机组应作并联运行试验,检查其功率分配误差;同时还应进行负荷转移试验;

4)对应急发电机的检查和试验要求和主发电机相同。

表8.5.1—10　**船舶电气设备在船上的最低热态绝缘电阻允许值(MΩ)**

设 备 项 目	工作电压≤100V	工作电压>100V
电 机	—	0.5
推进电机	—	3U/(1000+P)
电力推进的励磁机、励磁绕组和控制设备	—	1.0
各种配电板	—	0.5
照明配电板最后分支线(不包括电风扇和小型电器)	0.2	0.5

续上表

设备项目		工作电压≤100V	工作电压>100V
变压器		—	1.0
电力拖动控制设备		0.2	0.5
船内通信	电话、车钟、转速表、舵角指示器、声光信号系统及报警装置	0.3	0.5
	火警报警、警玲系统	0.2	0.5
电热器具		—	0.5
航行灯线路		—	1.0

注:① 表中U为额定工作电压(V),P为额定容量(kW)或(kVA)。

② 网路电压在100V及100V以上时,测量绝缘电阻应采用电压不低于500V的直流高阻计,网路电压低于100V时,采用250V的直流高阻计。

③ 测量电气设备的绝缘电阻,可仅在各级(相)对地之间进行。

④ 汽轮发电机转子绝缘电阻的测定应于额定转速下进行。

8.2.2.2 配电装置

1)检查配电板(包括应急配电板)的完整性和工作可靠性,所有仪表均应进行校验;

2)对配电板保护系统的整定值进行校核;若超出规范要求则应进行重新调整;

3)检查各联锁保护装置的可靠性;

4)设有自动电站时,应对其进行全面检查。

8.2.2.3 舵机系统

1)检查舵角指示器、各种转换和联锁装置、限位开关及报警系统工作的可靠性;

2)对主舵机、应急舵机及其控制设备和应急电源供电均作效用试验。

8.2.2.4 锚机系统

进行抛起锚效用试验,检查电动机及控制系统、制动器和过载保护装置工作的可靠性。

8.2.2.5 照明、通信及航行信号系统

1)对各设备均进行效用试验;对警报系统和应急电源供电也进行效用试验;

2)对风机、油泵应急切断装置作效用试验。

8.2.2.6 电力推进系统

1)尽实际可能检查推进系统的技术状况和完整性,并进行效用试验;

2)校核各保护装置的整定值,对各联锁装置、应急操纵系统和警报系统进行效用试验。

8.2.2.7 无线电和助航设备

1)无线电设备每年应进行一次定期检验,主要是对各种设备进行效用试验,检验合格后签发"货船无线电报安全证书",有效期一年;

2)对助航设备应进行效用试验,并测定电罗经和无线电测向仪的自差;

上述试验要求基本和建造船舶的检验要求相同,只是在试验时间和要求上有所区别,在试验条件受到限制时,可采用其它等效的试验方法;进厂修理或船员自修的船舶,应先在码头进行系泊试验,合格后再进行航行试验;

在全部检验合格后,验船部门签发相应的证书和检验报告。

8.2.3 年度检验和中间检验

电气设备的年度检验和中间检验,主要是对全船电气设备进行外观检查,向船员了解其技

术状况，必要时对某些重要设备和对其技术状况有怀疑的设备进行效用试验；但对舵机系统，在年度检验和中间检验时也应按特别检验的要求进行检查和试验。

经过修理(指影响到性能变化)的设备或更新的设备，应按特别检验中相应的项目和要求进行检查和试验。

年度检验和中间检验合格后，也应签发相应的证书和检验报告。

8.2.4 临时检验

当船舶发生下列情况之一时，应向验船部门申请临时检验：

1)更改船名、船东、用途、航区等；

2)发生机 海损后需要修理或进行公证检验。

临时检验是应船东申请，进行局部和单项设备的检验、鉴定或公证，根据检验情况出具相应的检验报告，必要时在船舶证书上进行签注。

8.2.5 展期检验

营运船舶在证书期满时因某种原因不能按期进行规定的检验，可向验船部门申请展期检验。但应注意下列情况：

1)货船构造安全证书、国际载重线证书和防止油污证书期满时均不能展期；

2)船级特别检验到期时，可展期 6 个月，特殊情况结合坞检展期最多不能超过 12 个月；

3)起货设备年度检验到期时不能展期，四年度全面检验到期时可展期 6 个月；

4)国际航行船舶在国内航行时一般不得展期；在国外港口证书期满时，且当地无我国验船机构，可申请我驻外使领馆或我国验船部门对证书进行展期，但这种展期只允许船舶回到国内港口或驶达预定的检验港口(也可申请与我国验船部门有相互代理检验协议的船级社进行展期检验)，当船舶回到国内第一港口或预定检验的港口时，应立即向验船部门申请进行规定的检验。在没有进行检验和领到新证书之前，不得因获得上述展期而驶离港口。

5)国内航行船舶中间检验和年度检验到期时可申请展期检验，展期不得超过三个月；特别检验到期时，展期一般不超过 6 个月，最多不超过 12 个月。

第2章 安全用电

1 概 述

电能是人类生活中的一种重要能源，它已被广泛应用到生产和生活的各个方面。但是我们要管好、用好电确是件不容易的事，由于缺乏安全用电常识和使用管理不当，触电的事故时有发生。特别是船舶电气设备，由于其工作环境比陆地上恶劣，故潜在的危险更大。为充分发挥电能在生产和生活中的作用，应全面掌握电能的基本常识，采取必要措施，确保用电定全。本章主要介绍安全用电方面的常识。

1.1 触电的类别

根据触电的现象不同，触电大致可分为两类：

1)电击：由于触电而有大电流流过人体体内，由此而产生热效应和化学效应而损伤内脏器官，外表不留任何痕迹，这种触电现象就叫电击。它对人体的危害最大。

2)电伤：由于短路或带负荷断开电路产生大电 流形成强大电弧，产生光和热而侵袭人体造成外表灼伤痕迹，这种触电现象就叫电伤。

1.2 造成触电的原因

1)裸露的带电部件与人体接触；

2)电气设备绝缘损坏，人体与其外壳接触；

3)电路短路；

4)带负载断开电路产生强 大电弧；

5)人体离高压电器的距离太近；

6)带电操作；

7)违章操作和违章用电。

2 触电的方式

2.1 单相触电

单相触电也可称单线触电，即人体与电源中的某一相接触然后经过人体和地构成回路，就有电流流经人体造成触电。见图8.5.2—1。

当电气设备绝缘损坏致使外壳带电，且外壳无接地线或接地线断路，此时人体接触外壳发生的触电现象和单相触电相同。

2.2 两相触电

两相触电也可称双线触电，即人体同时与电源中的两相接触，人体和两相电源构成回路

（也可称短路），人体内就有电流流过而造成触电，见图 8.5.2—2。

两相触电比单相触电危害大。

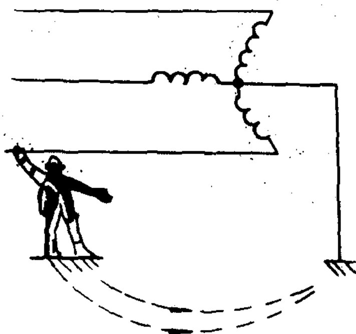


图 8.5.2—1 单相触电示意图

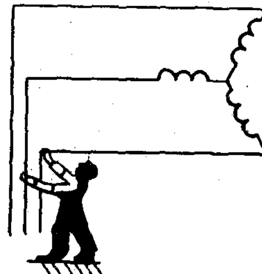


图 8.5.2—2 两相触电示意图

3 各种因素对触电结果的影响

3.1 人体的电阻

通过实测，人体具有一定数量的电阻值。人体电阻是由皮肤角质层的电阻和体内电阻之和组成。体内电阻一般为 500Ω，不受外界条件的影响而变化；而皮肤角质层的电阻是随外界条件（潮湿、表面不干净、有伤口）不同而变化的。在干燥情况下，皮肤的阻值约为 6000～10000Ω；所以人体的总阻值一般为 1kΩ～几 kΩ；但人体触电时，其电阻值不能完全按欧姆定律计算；电压高低、时间长短、频率高低和接触面大小对人体的电阻都有影响。人体的电阻值与电压、频率、电流、时间和接触面均成反比关系。

3.2 电流量对人体的生理影响

通过试验，人体瞬时流过 10mA（交流）或 50mA（直流）的电流时，一般不致发生危险。人体内流经的电流越大，人体的电阻值越小，对人体的危害也越大。

3.3 触电过程的时间

人体触电的时间越长，人体的电阻值越小，对人体的危害就越大。

3.4 频率和电压对人体的影响

人体具有一定的电阻值，它既呈现出阻抗，又呈现出容抗，所以既可以说人体是一个电阻；也可以说是一个电容。根据阻抗计算公式，频率和电压越高，则阻抗越小；所以人体触电时的电压和频率越高，人体的电阻就越小，对人体的危害就越大。为了保证人体安全，我国规定了对人体的安全电压，现在船舶上允许使用的安全电压为 12V、24V、36V、50V 几种，最高不允许超过 50V。

3.5 电流通过人体的路径

人体触电时电流流经人体的路径通常有下列几种情况：

1)电流通过手流到脚；

2)电流通过一只手流到另一只手；

3)电流通过一只脚流到另一只脚；

4)两手指或两脚指之间的局部触电。

1)和 2)两种情况电流一般都要流入心脏，对人体危害最大；凡是电流流过呼吸器官、心脏、神经中枢的，对人体危害就大。

4 预防触电的措施

为避免触电事故发生，保障安全用电，必须采取预防为主的方针，尽量减少不必要的伤亡。

4.1 普及安全用电常识

保障安全用电，首先必须了解它的特性，而后制定科学的使用和管理制度。只有掌握安全用电常识，才可能避免和尽量减少触电事故的发生。

要保证安全用电，应该做到：

1)对电气设备建立经常与定期的检查制度，特别是对移动式电气设备更应如此。发现故障(绝缘降低等)应及时处理，以消除隐患。

2)严格遵守操作规程和用电规则。

3)禁止带电操作，必要时应采取切实可靠的安全措施，并需有人配合和监视。

4)可携式电气设备应尽量采用安全电压或采用隔离变压器供电。

4.2 接地和接零

1)把电气设备的金属外壳(框架)用接地装置与大地作可靠连接(适用于电源中性点不接地的低压系统)就叫接地。

电气设备由于绝缘损坏而使金属外壳带电，但由于接地装置接地电阻很小，则处壳对地电压大大降 低。当人体与外壳接触时，设备外壳与大地之间形成两条并联支路，一条是外壳经接地装置到地，一条是经人体到地，由于接地装置的接地电阻很小(规定不超过 0.03Ω)，所以大部分电流都经接地装置到地，流经人体的电流就很小了(因为人体的电阻远远大于接地电阻)，这就起到了保护人体免于触电的作用。

2)把电气设备的金属外壳和中性线(零线)连接就叫接零(适用于电源中性点接地的低压系统)。

当电气设备的绝缘损坏后致外壳带电，但由于中性线电阻很小，将会产生很大的短路电流，使电路中的保护装置(发电机主开关的过载保护装置或熔断器)动作而自动切 断电源，这样就可以避免触电事故的发生。

4.3 避 雷 保 护

雷电是大气层中自然放电的一种现象，有时发生在云层之间，有时发生在云层与大地之

间。发生在云层与大地间的放电所经过的建筑物、电气设备和人畜就会遭到严重破坏和伤亡，这就是直接雷击。建筑物除了受直接雷击之外，其金属部分由于静电感应和电磁感应等原因，还可产生感应电势，电位升高导致金属导体之间放电而引起爆炸和火灾，这种现象叫感应雷放电。这种现象对于在恶劣天气（云层很低）下航行于海上的船舶尤其危险；世界航海史上由此原因而引起爆炸的船舶已不属罕见，特别是油船更危险。因为油在运输过程中不断与空气、舱壁摩擦及油分子之间的互相撞击都会产生大量静电，当静电聚集到一定数量时，若船舶上无消除静电的措施，就会在金属导体之间产生放电，也可能和带电云层产生放电。

还有一种现象，即雷电产生的高压沿架空电路引入房屋（电磁作用）而击穿电气设备的绝缘，造成人身伤亡。

我们必须在高大建筑物和船舶上安装避雷装置（避雷针），让云层和避雷装置之间形成尖端放电，避免发生雷击。

4.4 船舶上消除静电的措施

由于船舶，特别是油船可能产生静电而引起爆炸，所以除了在船舶上安装避雷装置外，还必须设置消除静电的装置，因为油船装运的油就是易燃易爆的危险品，一旦产生静电放电就会引起爆炸。油船上消除静电的措施主要有两条：

1）金属导体之间均应有可靠的电气连接；

2）电气设备的金属外壳均应可靠接地。

5 触电的紧急救护法

5.1 经常性准备

发生人体触电事故时，时间就是生命，必须采取紧急救护措施。为保证能在事故发生时能迅速采取有效救护措施，在平时就必须经常做好和检查触电时的紧急救护的准备工作。首先在思想上应有充分准备，让全体人员都熟悉和掌握触电的应急救护知识。其次是物质准备，如绝缘木板和木杆、手套、干衣服、布带和绳子、梯子及必要的电工工具等都应事先准备好；没有这些准备，一旦发生事故就会手忙脚乱，束手无策，以致延误对触电者的救护或发生救护人员也被电击的事故。第三是应有专人负责，经常抓紧和做好触电紧急救护的准备工作。

5.2 触电时的紧急救护

1）首先应迅速切断电源，断开电源开关或采取其它措施（如用工具剪断电线）使触电者脱离电源。若在高空作业触电，在切断电源的同时，还应有防止触电者从高空跌下的措施。紧急情况下来不及切断电源，可采用绝缘器具（带绝缘手套等）设法使触电者先脱离电源。

2）在触电者被救护脱离电源后，如一时昏迷而又没失去知觉，则应将其平放在干燥的木板上抬到空气流通的地方，让其静卧休息。若触电者虽有呼吸，但极其微弱，或者呼吸和心脏跳动停止，则应采用人工呼吸和心脏按摩法进行抢救。人工呼吸和心脏按摩法必须坚持长时间地进行，必要时可用人轮换进行，只要触电者没有出现明显的死亡症状，就不能轻易停止。

5.3 人工呼吸法

让触电者仰卧在空气流 通的地方，解开其上衣和裤带，使头部尽量后仰，鼻孔朝天，使舌根不致阻塞气道，救护人员在其头部一侧取跪势，一只手捏紧其鼻孔，另一只手掰开其嘴唇，然后救护人员紧贴着触电者的口连续吹气约 2s，使其胸部充分扩张，接着放松口鼻，使其胸部自然地缩回呼气约 3s（若掰不开嘴，则可捏紧触电者的嘴唇，紧贴着鼻子吹气和放松）；然后再吹气、放松；这样吹气放松连续不断地进行，直至触电者出现眼皮闪动和嘴唇微动而有自行呼吸的象征时，则应停止人工呼吸，让其自行呼吸数秒钟，若还不能恢复正常呼吸，则应继续进行人工呼吸，直到触电者能正常呼吸为止。人工呼吸简便有效，而且还可同时进行心脏按摩。

5.4 心脏按摩法

让触电者平躺在木板上，头部稍低，救护人员站在一侧，将一只手的掌跟放在触电者胸骨下端（此时应解开其上衣和裤带），另一只手迭于其上，靠救护人员上身的体重，向 胸骨下端用力加压，随即放松，让胸廓自动弹起，以每分钟 60～80 次的速度，连续有节奏地压挤和放松，直至触电者 肤色逐渐恢复，瞳孔缩小，自发性呼吸恢复。同样，在进行 心脏按摩的同时，也可进行人工呼吸。

参考文献

[1] 水运技术词典，人民交通出版社，1982
[2] 钢质海船入级及建造规范，人民交通出版社，1983
[3] 钢质海船入级及建造规范修改通报，船舶检验局 1986
[4] 船舶建造检验规程 ，船舶检验局。1984
[5] 海船无线电设备规范 ，船舶检验局，1983
[6] 海上营运船舶检验规程 ，船舶检验局，1984
[7] 长江水系钢船建造规范 ，船舶检验局，1978
[8] 长江水系钢船建造规范修改通报 ，船舶检验局，1984
[9] 长江水系营运船舶检验规程 ，船舶检验局，1985
[10] 内河钢质工程船建造规范 ，船舶检验局，1982
[11] 柴油机动力海洋船舶系泊及航行试验通则 GB3471－83
[12] 柴油机动力内河船舶系泊及航行试验大纲 GB3221－82
[13] 国际海上人命安全公约（1974）及 1978 年议定书
[14] 国际海上人命安全公约（1974）1981 年及 1983 年修正案

第 9 卷
机 舱 自 动 化

主　　编：朱绍庐　副主编：钱瑞麟
主　　审：郁凤昌　赵兴贤　徐以介
撰 写 人：马毛茂　马震英　王丰永　王立安
牛宝来　方霖芝　史和祥　朱仰华
朱绍庐　朱隆新　达良臣　孙季宽
杨百生　汪仲山　陈兆中　陈明昭
陈鸿璆　张荣一　孟宪尧　孟浩波
沈鼎新　吕登有　郑凤阁　赵兴贤
贾欣乐　徐绍衡　黄郁南　蒋广生
特约编辑：王立群
参编单位（除主编、副主编外均按姓氏笔划排列）：
大连海运学院、上海海运学院、上海船舶运输科学研究所、上海中远自动化服务中心、上海长江轮船公司、武汉水运工程学院、海军工程学院、船检局海船规范科研所

责任编辑：任建中

第1篇　机舱自动化概论和规范

第1章　概　　述

1　机舱自动化的基本内容

机舱是船舶的心脏，机舱自动化是船舶自动化最重要的组成部分。机舱自动化的典型成就即周期无人值班机舱，主要包括主机驾驶室遥控系统；动力装置参数和过程自动调控系统；机舱监测报警系统；电站自动化系统；以及主机和船舶的安全系统。其总体功能达到船舶正常航行时，轮机人员无须在机舱值守、操作和监视机电设备的运转，可在白天安排计划维修和日常维护工作。但在进出港，狭水道或复杂航区航行及备车过程中，轮机人员仍须在机舱操作和监视。根据推进主机为柴油机或汽轮机的不同，机舱自动化系统的具体设置有许多差异，然其基本内容是一致的。

1.1　主机驾驶室遥控系统

主机遥控系统保证主机可在驾驶室用车钟手柄直接操纵，或者在机舱集中控制站操纵。通过逻辑回路控制主机的起动、换向和停车等操作，并有转速的PID控制，通常采用电子组件执行上述任务。近年来基于微型计算机的主机遥控系统得到了发展。执行器部分一般是一些电磁阀和气缸。主机遥控系统与主机本身的操纵系统关系极为密切。由于传统方法和出于安全考虑，主机遥控系统一般具有与机舱其它自动化系统分开的硬件和软件结构。该系统还设有故障停车、故障减速、应急操纵、三次连续起动、自动避开临界转速和冷车起动时按时间程序增加热负荷等一系列功能。

1.2　动力装置参数和过程自动调控系统

对柴油机动力装置而言，需进行自动调节的参数不多，主要有主、辅机冷却水温度、滑油温度、燃油粘度、辅锅炉蒸汽压力及风油配比、压力容器压力等。通常采用PID气动、电动或自力式反馈控制即可满足要求。而更多的是过程开环控制，包括分油机顺序控制；燃油细滤器和滑油滤器等的自动清洗；空压机泵和辅锅炉等的自动起停；以及焚烧炉自动控制等。

至于汽轮机动力装置，系统热力特性十分复杂，特别是高、中参数蒸汽锅炉的控制相当困难，当前的趋势是通过计算机进行最优控制，以至自适应控制。

1.3　机舱监测报警系统

主、辅机及其它动力装置的各种运行参数，包括温度、压力、液位、流量、转速等，通过传感

器、变送器和中央处理单元，用表头、数码管及CRT等方式进行显示；当任一参数越限时发出声、光报警；修改报警极限值或报警延时即自动打印修改结果；定时或随时打印轮机日志；自动打印报警记录。

监测报警点的设置必须符合船级社规范要求，并应考虑故障发生概率、故障后果影响和该参数反映机器故障的有效程度等。例如，柴油机单缸排气温度和各缸平均排气温度的偏差，能有效地反映出高压燃油管、燃油泵、喷油头和排气阀等的故障，故需要监测排气偏差温度；对柴油机主轴承，可以直接监测主轴承温度，也可监测柴油机曲轴箱油雾浓度，后者能反映主轴承高温或其他热点故障。监测报警系统必须有完善的自检报警，电网失电时应能保证监测报警功能连续性。

无人值班机舱还必须设置延伸报警，即把所有报警信号按其严重程度分成若干组，送到值班轮机员室、生活屋及驾驶室等处，并需设置值班选择及呼叫装置。

1.4 电站自动化系统

电站自动化系统主要进行电站的故障处理，保护连续安全供电。对原动机故障分两级处理。一级故障，例如冷却水温度高、滑油进口压力低等，则起动备用机组，然后换车；二级故障，例如滑油失压、原动机超速等，立即自动停车，同时起动备用机组。一般规范规定最大失电时间不超过45s。发电机故障，除短路故障跳闸，启动备用机组外；其他故障，例如发电机过载、电压、频率不正常等，均先起动备用机组，然后换车。换车方式可以采取失电换车，也可以不失电换车。发电机安全供电设备有自动并车、调频调载装置。发电机负荷分配可以是均匀分配，也可按发电机经济负荷最优分配。此外，还有按负荷的变化，使发电机自动投入或解列等功能。

1.5 安全系统

从广义而言，各种自动化装置或系统均有其本身的安全系统。这是针对无人值班机舱船舶的三种主要危险：失电操纵性、火灾和浸水而设置的安全系统。主机安全系统分三类：一类，例如滑油进口压力过低，主机超速等，立即停止运行；二类，例如排气偏差温度高、曲轴箱油雾浓度高、滑油进口压力低等，降低功率或转速运行；三类，起动并投入备用设备，例如滑油泵故障自动切换。船舶安全系统，主要是防火和防止浸水。要求具有可靠的防火、探火及火灾报警系统，以及有效的消防措施。为了防止因机舱浸水而发生沉船危险，机舱内应正确设置舱底水位报警装置，海水阀手动操作位置应适当选择或遥控。

2 机舱自动化的发展历史和现状

2.1 国外面舱自动化的发展

1933年在蒸汽机船上开始采用锅炉燃烧液压控制装置，把过程变量—蒸汽压力转换成液压模拟量信号，进行闭环控制。40年代至50年代，在汽轮机船和柴油机船上继续发展液压、气动及电气控制的单元自动化装置。在汽轮机船上解决了锅炉水位及汽压、冷凝器液位及真空度、汽轮机汽封汽压等的自动调节和锅炉燃烧自动控制。在某些中小型柴油机船上采用了主机遥控和动力系统冷却水和滑油温度调节装置。

50年代后期，由于船员不足，工资昂贵，迫使日本和欧洲各造船和航运发达国家，加紧发

展以机舱自动化为主的船舶自动化，以减少船员，节省船员开支，提高竞争力。

60年代至70年代初，机舱自动化发生了飞跃发展。大体上经历了单元自动化装置、机舱集中监控和无人值班机舱三个阶段。此后，无人值班机舱成为一种常规设计标准。为了改善轮机管理，还发展了柴油机工况监测和维修预报系统。

2.1.1 机舱自动化系统的发展

1959年，日本设计了一艘万吨级远洋货轮"金华山丸"，提出了把机舱自动化作为一个总体系统来考虑的设计思想。在机舱内设有带隔音和空调设备的集中控制站，只需一人值班，就可通过仪表集中监视几乎全部机舱热力参数，遥控主机及部分辅机，并可使驾驶室直接对主机进行遥控操纵，1961年正式投入营运。船员编制从45人减到36人，当时引起各国海运界的注意。

由于主机、辅机和各种自动化设备的可靠性日益提高，船舶出海正常航行时，机器很少需要照料。为了进一步减少船员配置，提出了夜间及假日机舱无人值班的要求。1964年按此要求建造了两艘货轮"Selme Dan"和"Andorra"，经使用经济效益显著，此后无人值班机舱船舶在新造船舶中的比例大幅度上升。1966年挪威船级社DNV首先制订了无人值班机舱规范并对符合要求的船舶在证书上增添"EO"符号(Engin Room Zero People)，意即"机舱无人"。1968年英国劳氏船级社LR订出的船舶无人值班机舱规范，取船级符号为"UMS"(Unattended Machinary Spaces)。日本船级社NK于1969年订出"MO"(Machinary Spaces—Zero People)规范。其它船级社相继制订类似的规范。

在发展无人值班机舱船的同时，已出现了在船上使用电子计算机的例子，如法国1966年造的油轮"Dollabella"(68000tdw)和冷藏船"Oyonnax"(3300tdw)，西德1967年建造的6艘Polay型冷藏船(7600tdw)，美国1968年建造的"Argo"海洋考察船(2079tdw)等。1969年，英国建成了"Qeen Elizabeth Ⅱ"大型豪华客轮(2025名旅客，110000HP汽轮机，航速28.5kn)，挪威建成了"Taimyr"货轮；瑞典建成了"Sea Souereign"油船。这些船都设置了由计算机控制的自动化系统，它们的一个显著特点就是跳出了机舱自动化的范畴，在机舱、导航、舾装、报务及医疗等方面实现全面自动化。1970年日本建造的"星光丸"大型油轮(138000tdw)在计算机自动化方面是一个突出的典型，其功能包括：卫星导航船位测量、电磁计程仪和罗经船位推定、自动避碰、货油装卸自动控制、船舶状态计算、货油和压载水的最佳装载计算、医疗诊断、主机扭矩控制、机舱故障应急处理及数据记录等。采用一台东芝公司制造的TOBAC300S型船用计算机，字长16位，内存16K。

在"星光丸"之后到1973年，日本先后建造了十来艘这类船舶，总的评价是计算机控制技术应用于船舶是可取的，计算机及外部设备相当可靠，各种控制功能令人满意，但各种传感器还存在不少问题。这些船舶均采用集中的计算机系统，在设计时以为这样会比多台专用机分散控制的方案经济得多。但实际使用经验表明，共用一台计算机所需的软件结构异常复杂，更新、维护困难，不利于标准化。

1975年以后，随着微型计算机的成熟和普及，采用微机的分散控制系统日益增多，可靠性有很大提高。在机舱方面，控制概念和控制决策并没有什么新变化，仍是以无人值班机舱为基本要求。微机的应用使各种控制设备的功能更完善，灵活性更大。在监测报警系统中开始采用分级分布式的方案和彩色屏幕显示器。基于微机的工况监测系统迅速发展，采用微机的主机遥控系统日益普遍。

按英国劳氏船级社统计，至1979年底50%以上的柴油机船和95%以上的透平船均为

UMS级。联邦德国劳氏船级社统计，1979年取得无人值班机舱附加标志AUT的船舶为68%，至1980年增加到74%，至于德国藉的这类船舶则由86%增至91%。

80年代初期和中期的机舱自动化采用功能更强的16位微型计算机，内存容量达1MB，每片ROM达64KB，动态RAM64KB，静态RAM16KB。用更先进、可靠的技术实现下述各项任务：

(1)监测报警；

(2)机器工况监测和维修予报；

(3)主机运转优化控制；

(4)柴油发电机组和电力系统的综合控制；

(5)柴油发电机组、透平发电机组(主机排气余热利用)和轴带发电机系统之间的功率分配管理；

(6)可调螺距螺旋桨最佳工作点控制。

2.1.2 柴油机工况监测和维修予报系统的发展

柴油机工况监测和维修预报是自动化仪表、自动控制技术、计算机和信息处理技术综合应用于机舱自动化领域所取得的一项重大成果，目前是世界范围的热门研究课题，也是未来船舶提高安全性，减少维修工作量和维修费用，以及减少定员的重要基础。

长期以来的管理习惯是凭经验确定柴油机的维修周期，轮机人员通过触觉、听觉、嗅觉和视觉以及简单的仪器以获得对机器工况的粗略判断，安排维修工作。现代柴油机的功率和比负荷显著增加，为使承受高热负荷的部件，如活塞、排气阀、缸盖和缸套等不致发生故障，允许的相对于正常工况的偏差值已明显减小。由于每个维修周期的工况不同(燃烧压力、温度和热负荷等的差异)，固定维修周期内机器的运转时数，可能在一种情况下部件已受到损害，而在另一种情况下又嫌维修过于频繁。计算机化的工况监测和维修预报系统采用各种温度传感器测量缸盖、缸套等处金属的温度，燃油、扫气和排气的温度；各种压力传感器测量气缸燃烧压力、燃油管路压力和喷射压力、扫气和排气压力；流量传感器测量燃油消耗量；差压传感器测量增压器的压力升高和中冷器的阻力压降；活塞环传感器测量活塞环的磨损程度；油门杆位置传感器测量机器的负荷；转速传感器测量主机的转速等；以此获得机器工况的量测数据。工况监测系统的工作原理是：建立表征一台新的调整完好的柴油机性能的动态数学模型，模型的某些参数是工况监测系统基准性关键数据；把柴油机的一组实际运行数据和外界环境数据作为边界条件代入上述数学模型经计算而获得各部件的理想工况；由各传感器测量得到实际工况(部分实际工况参数无法直接测量，需间接计算)，将其与理想工况比较得到工况偏差，后者表示该部件由于磨损、效率降低及工况恶化等引起的结果；把工况偏差再和保证安全运行的允许偏差极限值相比较，即可确定当前是否需要维修。采用数学回归和趋势分析，可以确定何时偏差将达极限值，从而预报维修时间。

工况监测系统通常包括下列子系统：

1)气缸燃烧工况监测系统　它监视柴油机的燃烧过程，给出燃油喷射压力曲线和气缸压力曲线，同时打印出这些曲线上某些重要参数，如压缩压力、最高压力、平均指示压力、指示功率、燃油最高压力等，以及这些参数的正常基准值。由此可检测出燃油系统的异常情况，有助于进行各缸之间的功率平衡调整。

2)金属温度测量系统　根据测量的结果进行趋势分析。

3)活塞环工况监测系统　采用专门设计的电感式微位移传感器，通过测量缸套与活塞环

之间的间隙来判断环的功能，是否发生断环、粘环、串气、拉缸等现象。

4)冷却器和增压器效率计算。

工况监测和维修预报系统和柴油机本身结构关系极为密切，必须在机器的设计及加工制造阶段就给以充分注意。一些大的柴油机制造厂也投入力量研制适合本厂生产的机型的工况监测系统。

工况监测历来主要是针对机舱主、辅机的热力参数，而对某些旋转机械的振动工况监测也予以注意；对包括船舶、螺旋桨、轴系在内的推进系统工况监测已经做了一些工作。在信息处理方面，提出了组成基于船上计算机的工况监测和基于陆上管理部门计算机的工况监测的分层次总体工况监测系统。前者着重短期工况监测和报警，后者着眼于长期工况监测，机器故障诊断和维修预报。数据和信息传递可通过卫星通信，无线电通信或采用定期转移磁带等方式。

2.1.3 船舶综合自动化系统的发展

80年代以来，微机监控系统在船上日益广泛应用，为了提高总体监控功能和资源共享，日本及欧洲已发展采用微机局域网的船舶综合自动化系统，包含机舱自动化、导航自动化及舾装自动化等。关于机舱自动化的基本内容已如前述。为了全面了解船舶自动化，这里简要介绍导航自动化和舾装自动化。

2.1.3.1 导航自动化

1)避碰系统　计算机化的雷达避碰系统 ARPA 主要用 3cm/10cm 波段雷达作为传感器，同时输入来自陀螺罗经和计程仪的本船航何和航速信号。避碰雷达连续监视周围海城，当发现有船舶及较大漂浮物时，进行自动跟踪，最多可跟踪50个目标，范围可达24km。在避碰雷达的分雷达显示器(PPI)上可提示以相对运动或真运动方式显示的被跟踪目标的矢标，指示目标的位置、航速及航向。在数字显示器上给出被跟踪目标的预计相遇最近点(CPA)，到本船的距离(DCPA)，到相遇最近点的时间(TCPA)，目标的真航速与真航向等信息。有碰撞危险时发出声、光报警。还可由计算机确定相对于目标船的最佳避碰航线。也可以模拟对某一指定目标的避让操纵。雷达避碰系统可以单独工作，或作为组合导航系统的一个子系统。

2)自动定位系统　计算机化的自动定位系统综合处理由美国海军导航卫星系统(NNSS)接收机、亚米茄、劳兰C、台卡接收机等提供的导航信息，以确定船位，这种方式比单用任何一种定位仪的精度要高，并提高了定位系统的冗余度。最高定位精度可达30m。

应用 NNSS 导航卫星系统只能每隔 1～2h 测定一次船位，为了得到连续的船位信息需进行船位推算，此时引用陀螺罗经和电磁计程仪给出的量测数据。

3)导航计算自动化系统　这一系统由一组算法程序组成，用于航线设计和各种导航计算。航线设计程序的功能是根据给定航程的起点与终点、预计船速、转折点数目、导航方式(大圆航法或恒向线航法)，给定每一转折点的经度和纬度，从起航点至每一转折点所需的时间和每一转折点上的初始航向，后者将被送到自动操舵仪作为航向保持控制器的设定值。此外还有气象航法，即为了避免风浪危险及借助有利的气象条件而确定最佳航线，以保证安全、节省燃料和航行时间。此航法必须有长期的气象和海况预报，采用远程通讯手段。

4)自动操舵系统　根据陀螺罗经测定的航向与自动导航系统给出的航向设定值之间的偏差，自动操舵仪控制器按照一种指定的性能指标，计算出所需的航角，指挥操舵伺服机构运转，实现对航向和航迹的闭环自动控制。船舶动态特性将随着航速、装载条件及海况而变化，当前最先进的自动舵是采用适应控制算法，使得在所有工作条件下，都能保证尽可能小的偏航和尽可能小的舵角，达到最佳节能效果。

5)组合导航系统　避碰系统、自动定位系统、导航计算自动化系统和自动操舵系统的有机结合,构成组合导航系统,可有效地防止碰撞和触礁海损事故及其造成的海面污染,保证了安全;使航向和航迹保持更为准确;提高航速,节省燃料。经验表明,各子系统分别采用专用的微型计算机比共用一台通用机更可靠,更具灵活性。

2.1.3.2 舾装自动化

1)货物装卸计划　主要应用于原油及成品油运输船。计算机根据输入的装(卸)油量、货油温度、海水比重及要求的吃水差等数据,给出各货油舱和压载舱的最佳装(卸)货量及压载水排(注)量以及最优装(卸)或排(注)顺序,并计算出过渡状态下船体应力与船的稳性。

2)装卸货自动控制　货油装卸、压载水排注等操作都在计算机控制下进行。各种传感器和执行器,如液位计、阀、泵等与计算机形成闭环,按货物装卸计划的计算结果进行操作,并动态地监视船体应力,纵倾和稳性。

3)货物保护　适用于冷藏船;基于计算机的监控系统监视、控制与记录冷藏货舱的温度和湿度,并预计趋势。

2.1.4 船舶节能和减少船员,提高竞争力

1973年石油危机使船舶营运成本中的燃料费用由约20%上升到约40%。由此提出船舶节能,至今仍为一个重要课题。包括改进船体线型,提高推进性能,动力系统节能控制,以至发展节能型船舶。

在轮机工程发展中无论是减功率设计(De－rating)、减速航行,采用低速螺旋桨、采热利用,还是采用轴带发电机,都存在着复杂的控制问题。微型计算机和先进的自动化技术在实现船舶节能和高效率推进系统中起着重要作用。西德和日本在发展"未来船舶"和"合理化船"一类超自动化船时,实现综合节能是其一个主要目的。

到目前为止采用计算机综合控制技术的高度合理化船,定员大幅度减少。日本已在1984年实现了定员18名(驾驶部13名,轮机部5名)的试验计划,定员16人的试验已于1985年开始。挪威现代化试验船定员为13～14名。超自动化船的发展,要求采用高可靠性机器、工况监测、故障诊断和维修预报等手段来补偿定员减少产生的不安全性。

2.2　我国机舱自动化发展的历史和现状

我国从1974年开始从国外购入无人值班机舱船舶,截至1983年的统计,在远洋船队总吨位1000万吨中,已有自动化机舱船舶155艘,其中无人值班机舱船舶73艘,一人值班机舱船舶82艘,共占营运船舶总数的三分之一。这些船舶的技术状况可分为下列几种类型:70年代初德国建造的"军粮城"型货船采用气动遥控系统;日本建造的"大城"、"大田"型货船采用继电器式主机遥控系统;70年代中期德国建造的"广河"型货船采用中小规模集成电路自动化装置;70年代末期日本建造的"小石口"型滚装船采用微机自动化装置。从远洋船队发展来看,自动化机舱船舶的比例将不断上升。并主要选用微机监控装置。

我国机舱自动化的研究工作起始于50年代后期,当时集中力量研制适用于汽轮机动力装置主锅炉及整个热力系统参数调节的水力式调节器,成果在不少舰艇上使用,但未在民用船舶上推广。60年代研究了气动自动调节装置,主要用于长江客轮主锅炉系统的控制。70年代初期,把气动单元组合式仪表和电动单元组合式仪表应用于机舱动力系统热力参数自动控制。随着以柴油机为主推进动力的船舶在建造中取得优势,发展了电动和气动驾驶室主机遥控装置。80年代初期,研制成功低速大功率柴油机电子/气动遥控装置,发展了采用集成电路的多种监

测报警装置和电站自动化装置。在长江船舶方面，自60年代至80年代初，发展了自成系列的主机驾驶室遥控和机舱集中监视系统，普遍推广应用。

在发展无人值班机舱方面，根据1979年国家科委下达的"新型运输船舶和自动化技术的研究"任务，交通部有关科研，院校和海运管理部门以16000吨级散货船为应用环境，着手船舶无人值班机舱自动化系统和船舶微型计算机监控系统的研制工作。无人值班机舱系统于1984年研制成功，首先在"长顺"号投入使用。微机监控系统的研究在80年代中期有迅速发展，符合舰船条件的微机硬件、专用监控软件包、快速中文打印、中文CRT显示等相继研制成功，并在新建的数十艘民用船舶、军用舰艇及科学考察船上推广使用，标志着我国机舱自动化技术发展到一个新阶段。

近来我国各造船厂积极参与国际竞争，建造了大批出口船舶，采取与国外设计单位联合设计、按船东要求引进机舱自动化设备，使出口船舶产品质量和自动化程度达到80年代国际水平，并通过ZC、DNV、LR等船级社的检验。

3 机舱自动化的未来发展

3.1 船舶定员体制的改变

国外对于船舶定员体制一真存在着争论，即随着船舶自动化程度的提高，是应该进一步裁减船员以节约工资费用，还是将节余的劳力用于船上的维修，以减少陆上维修人员和船舶停港时间。现在第一种论点得到充分肯定。今后船舶编制定员将进一步减少，目标是11人。传统的驾驶员和轮机员将由具有统一技术的"船舶操纵员"所取代。

3.2 采用智能系统

由于船上定员减到最低限度和轮换周期缩短，致使船员对气象，海况和机器工况的熟悉程度降低。为了确保航行安全，采用智能系统是必不可少的。由具有高功能、高精度、高可靠性的传感器采集有关船舶运行及其环境的全面信息，经专家系统协助人们进行船舶的操纵和管理。

3.3 大量船内作业转到陆上进行

为实现船舶超自动化和省人化，陆上支援具有更重要作用。例如船陆一体化管理信息系统的实现，可提供广阔海域的气象和海况预报和出入港航路情报等，保证船舶安全航行。为此，必须通过海事通讯卫星传送信息，由陆上的大型计算机进行分析和处理，指导船舶运行。另外，机器的检修和船舶进出港的作业等不得不越来越多地依靠陆上支援体系。

3.4 "未 来 船 舶"

3.4.1 德国HDW造船公司应用51项科研成果，建造了两艘未来船舶的原型"Norasia Samantha"号和"Norasia Susan"号，已于1985年底交付使用。虽然这两艘船只体现了未来船舶设计思想的60%，但已与迄今为止的任何船舶完全不同。

过去的驾驶室概念已不复存在，代之以船舶操纵中心(Ship Operation Center)。值班驾驶员在其座位上操纵全船，控制台上集中了全部的操纵和显示装置，包括自动舵、主机遥控、避碰雷达和导航系统、压载和燃油控制系统以及货物监控系统等。计算机监控系统传感器多达800

个，电视屏幕给出全彩色高分辩率的模拟图象，直方图和曲线，并给出报警信号。

设备豪华的船员交际中心(Communication Center)，使船员在紧张工作之余可以在那里聚会，交流工作信息，进行适当的娱乐。船上营运管理中心(Board Management Center)进行全船的营运管理，并与公司通讯。

采用综合节能措施，包括不对称尾部设计、大直径低速螺旋桨及尾流分布导流管、节油柴油机及轴带发电机、热虹吸式冷却系统、集中燃油舱和低质燃油应用等。

采用抛落式救生艇、坏天气防止事故系统等一系列提高安全性的措施。

3.4.2 挪威正在进行14名船员定额的超现代化船试验，提出了船舶综合自动化系统的方案。通过该系统船员在驾驶台可实现对全船各子系统的集中控制。各子系统组成计算机网络，并通过卫星通信与外部进行大量的信息交换。

英、法、荷兰等国也都竞相采取措施，力争在今后的十年中取得对未来船舶研究的突破。

3.4.3 日本在过去几年在50艘船上已把定员规定为18名和16名。现在一些公司的计划是把船员定额减至11～12人，并为此研制了计算机自动声控系统。

最近日本宣布了采用人工智能技术的“合理化船”研究计划，目标是采用新材料和航天技术，实现海上自动驾驶，并研究进/出港自动导航等高难度课题。这实际上是无人驾驶船舶的雏型。

3.5 我国机舱自动化的未来发展

我国在1984年研制成功无人值班机舱。在研究开发微型计算机自动化系统的基础上，将发展分布集中式微型计算机网络，实现船舶综合自动化，并进一步研究驾驶自动化。为此必须进行扎实的基础性研究工作。

第2章　机舱自动化基本理论

1　顺序控制

1.1　顺序控制的基本概念

所谓顺序控制，系指根据工作指令控制系统自动、顺序地完成一系列操作，以达到自动控制的目的。

由工作指令到自动地形成控制指令的过程，称为指令形成过程。

如果顺序控制中的控制指令是根据一定条件进行选择的，并不按时间或逻辑先后顺序排列，则通常称为条件顺序控制。

如果顺序控制中的控制指令是按时间顺序排列的，则通常称为时间顺序控制。

如果顺序控制中的控制指令是按逻辑顺序排列的，则通常称为逻辑顺序控制。

时间顺序控制和逻辑顺序控制也称为程序控制，相应的控制系统称为程序控制系统。

1.2　逻辑代数(布尔代数)

顺序控制中所使用的信息是二值信息，即“无”、“有”，常用“0”和“1”表示。

1.2.1　逻辑代数的运算

1)逻辑乘法(“与”运算)

逻辑积一般叫“与”(AND)，只有当所有参加“与”运算的逻辑变量都取1，逻辑积才是1。

对于两个逻辑变量A和B，逻辑积X可用下列多种形式来表示：

$$X=A\cdot B=AB=A\times B=A\wedge B=A\cap B=A\&B=A_{and}B \qquad (9.1.2-1)$$

2)逻辑加法(“或”运算)

逻辑和一般叫“或”(OR)，当任一参与“或”运算的逻辑变量为1，逻辑和取1。

对于两个逻辑变量A和B，逻辑和X可以用下列多种形式来表示：

$$X=A+B=A\vee B=A\cup B=A_{or}B \qquad (9.1.2-2)$$

3)逻辑否定(“非”运算)

逻辑否定一般叫“非”(NOT)，它对变量取反，例如变量A为1，A的“非”运算得非A，值为0。

对于变量A，“非”运算X可用下列多种形式来表示：

$$X=\overline{A}=\sim A=\tilde{A}=-A=A_{-}=A'=\neg A \qquad (9.1.2-3)$$

4)“与非”运算

“与非”运算用NAND表示，它是先对两个或两个以上的逻辑变量实行“与”运算，然后再对结果实行“非”运算。

对于两个逻辑变量A和B，其“与非”运算X可用下列多种形式表示：

$$X=\overline{A\cdot B}=\overline{AB}=\overline{A\cdot B}=\overline{A\wedge B}=\overline{A\cap B}=AAB=A\uparrow B \qquad (9.1.2-4)$$

5)“或非”运算

"或非"运算用 NOR 表示，它是先对两个或两个以上的逻辑变量实行"或"运算，然后再对结果实行"非"运算。

对于两个逻辑变量 A 和 B，其"或非"运算 X 可用下列多种形式来表示：

$$X=\overline{A+B}=\overline{A\vee B}=\overline{A\cup B}=A\,\overline{\vee}\,B=A\downarrow B \tag{9.1.2-5}$$

6)"异或"运算

"异或"运算用 XOR 表示，也叫排差逻辑加，或者叫逻辑差。它仅当逻辑变量取异值时为 1，否则为 0。

对于逻辑变量 A 和 B，其"异或"运算 X 可表示为：

$$X=A\oplus B=A\#B \tag{9.1.2-6}$$

7)"同或"运算

"同或"运算也叫重合运算，它仅当逻辑变量取同值时为 1，否则为 0。

对于逻辑变量 A 和 B，其"同或"运算 X 可表示为：

$$X=A\odot B=A\equiv B=A\rightleftharpoons B=A\overline{\oplus}B \tag{9.1.2-7}$$

1.2.2 逻辑代表的基本定理

1)交换律

$A.B=B\cdot A$ $\qquad$ $A+B=B+A$

2)结合律

$A\cdot(B\cdot C)=(A\cdot B)\cdot C$ $\qquad$ $A+(B+C)=(A+B)+C$

3)分配律

$A\cdot(B+C)=A\cdot B+A\cdot C$ $\qquad$ $A+(B\cdot C)=(A+B)\cdot(A+C)$

4)恒等律

$A\cdot 1=A$ $\qquad$ $A+0=A$

5)衡消律

$A\cdot 0=0$ $\qquad$ $A+1=1$

6)互补律

$A\cdot\overline{A}=0$ $\qquad$ $A+\overline{A}=1$

7)重迭律

$A\cdot A=A$ $\qquad$ $A+A=A$

8)吸收律

$A+A\cdot B=A$ $\qquad$ $A\cdot(A+B)=A$ $\qquad$ $A\cdot B+A\cdot\overline{B}=A$

9)折转律

$\overline{(\overline{A})}=A$

10)反演律〔德摩根(DeMorgan)定理〕

$$\overline{(A\cdot B\cdot C\cdots\cdots)}=\overline{A}+\overline{B}+\overline{C}+\cdots\cdots$$

$$\overline{(A+B+C+\cdots\cdots)}=\overline{A}\cdot\overline{B}\cdot\overline{C}\cdots\cdots$$

1.2.3 常用规则

1)代入规则

任何一个含有变量 X 的等式，如果将所有出现 X 的位置都代入一个逻辑函数 F，则等式仍然成立。

2)反演规则

设已知逻辑函数 X，求 $\overline{X}$ 时，只需将 X 中所有的“.”变为“+”，“+”变为“.”；0 变为 1，1 变为 0；原变量变为反变量，反变量变为原变量，便可得到 $\overline{X}$。

3）对偶规律

将一个逻辑式中的“.”变为“+”，“+”变为“.”；0 变为 1，1 变为 0；变量保持不变；便可得到一个对偶的逻辑式。

1.3 真值图（卡诺图）

真值表是以表格形式分析研究逻辑式。真值图可以化简逻辑式，而且分析设计逻辑电路也较方便。因此，真值图是常用的有效工具。

B \ A	0	1
0	1	1
1	0	0

图 9.1.2－1 两个变量的真值图

C \ AB	00	01	11	10
0				
1				

图 9.1.2－2 三个变量的真值图

C \ AB	00	01	11	10
0	0	0	0	1
1	1	0	1	1

图 9.1.2－3 应用真值图化简逻辑式

现以两个变量的真值图进行说明。图 9.1.2－1 是两个变量的真值图，其逻辑式为 $X=A\cdot\overline{B}+\overline{A}\cdot\overline{B}$。图上把变量 A 的值按列排列，把变量 B 的值按行排列。按行、列将图分成四个方框（称为单元），A、B 有 $2^2=4$ 种组合，即 $A\cdot B$、$A\cdot\overline{B}$、$\overline{A}\cdot B$、$\overline{A}\cdot\overline{B}$。对于某一逻辑式（“与－或”形式，即组合的逻辑加形式），其真值图是这样的，与各组合项对应的方框标 1，其余方框标 0（标 0 有时省略不写）。对于逻辑式 $X=A\cdot\overline{B}+\overline{A}\cdot\overline{B}$，与组合项 $A\cdot\overline{B}$ 和 $\overline{A}\cdot\overline{B}$ 对应的方框标 1，其余方框标 0。

n 个变量的真值图包含有 2^n 个方框，图 9.1.2－2 表示三个变量的真值图。

现应用真值图来化简逻辑式。设三个变量的逻辑式为：

$$X=A\cdot B\cdot C+\overline{A}\cdot\overline{B}\cdot C+A\cdot\overline{B}\cdot C+A\cdot\overline{B}\cdot\overline{C} \tag{9.1.2-8}$$

上式的真值图表示在图 9.1.2－3 上。

应用真值图化简逻辑式的基本思想基于下式：

$$A\cdot B\cdot C\cdot D+A\cdot B\cdot C\cdot\overline{D}=A\cdot B\cdot C \tag{9.1.2-9}$$

在真值图上，相邻的方框有一个特点，即彼此仅有一个变量不同，将这相邻的方框合并，基于式（9.1.2－9）即可将该不同的变量消掉。同一列中最上面的方框与最下面的方框，同一行中最左面的方框和最右面的方框均应看作是相邻的。

如果一个逻辑式的真值图，在相邻的方框里都标为 1 时，则这两个相邻方框所对应的逻辑式按式（9.1.2－9）可合并为一项。在图 9.1.2－3 上，第二行中第三、四列的相邻方框是式（9.1.2－8）中的第一、三项：

$$A\cdot B\cdot C=A\cdot\overline{B}\cdot C=A\cdot C \tag{9.1.2-10}$$

第二行中第一、四列的相邻方框是式（9.1.2－8）中的第二、三项：

$$\overline{A}\cdot\overline{B}\cdot C+A\cdot\overline{B}\cdot C=\overline{B}\cdot C \tag{9.1.2-11}$$

第四列中第一、二行的相邻方框是式（9.1.2－8）中的第三、四项：

$$A\cdot\overline{B}\cdot C+A.\overline{B}\cdot\overline{C}=A\cdot\overline{B} \tag{9.1.2-12}$$

将式（9.1.2－10）、（9.1.2－11）和（9.1.2－12）逻辑相加，并考虑到重迭律，即可得到式

(9.1.2－8)化简后的结果：

$$X = A \cdot C + \overline{B} \cdot C + A \cdot \overline{B}$$

1.4 逻辑回路

实现逻辑运算的回路称为逻辑回路，它可由电气元件、气动元件和液压元件等组成。

一些复杂的逻辑回路有组合逻辑回路和时序逻辑回路。两者的主要区别是前者不包括记忆元件，它的输出只与同一时刻的输入有关；后者至少包含一个记忆元件，它的输出不仅与同一时刻的输入有关，还与过去的输入有关。

对于条件顺序控制系统，其指令形成装置由组合逻辑回路构成。对于时间顺序和逻辑顺序控制系统，其指令形成装置由时序逻辑回路构成。

1.4.1 逻辑符号

逻辑符号是表示基本逻辑回路的图形符号。实现不同运算的逻辑符号表示在图 9.1.2－4 上。

门别	矩形符号	异形符号
非门		N
与门		
或门	+	+ + +
与非门		
或非门	+	+ +
异门	⊕	⊕
同门	⊙	⊙

图 9.1.2－4　各逻辑门的逻辑符号

图中，矩形符号系我国原四机部标准 SJ1223－77 的规定，符号国际电工委员会(IEC)于 1969 年的推荐。异形符号是美国军事标准(MIL)20 年前的规定。美国电气与电子工程师学会(IEEE)于 1973 年颁布的 91 号标准(ANSI－Y32.14－1973)规定异形和矩形符号可同等地采

用。

1.4.2 正逻辑和负逻辑

如果把数字电路中较高的正电压电平定作 1，较低的正电压电平定作 0，则称为正逻辑；反之则称为负逻辑。对于二输入的逻辑门，它们对应于正逻辑和负逻辑情况下的真值表分别示于表 9.1.2—1 和表 9.1.2—2。

表 9.1.2—1 **正逻辑真值表**

输入		输出					
A	B	与门	或门	与非门	或非门	异或门	同或门
0	0	0	0	1	1	0	1
0	1	0	1	1	0	1	0
1	0	0	1	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0	0	1

表 9.1.2—2 **负逻辑真值表**

输入		输出					
A	B	与门	或门	与非门	或非门	异或门	同或门
0	0	0	0	1	1	1	0
0	1	1	0	0	1	0	1
1	0	1	0	0	1	0	1
1	1	1	1	0	0	1	0

门别	负逻辑符号
非门	
与门	
或门	
与非门	
或非门	
异门	
同门	

图 9.1.2—5 负逻辑逻辑门的逻辑符号

负逻辑的与门等效于正逻辑的或门；负逻辑的或门等效于正逻辑的与门；负逻辑的或非门等效于正逻辑的与非门；负逻辑的与非门等效于正逻辑的或非门；负逻辑的异或门等效于正逻辑的同或门；负逻辑的同或门等效于正逻辑的异或门；至于非门，正、负逻辑两者是等的。

负逻辑逻辑门所对应的逻辑符号表示在图 9.1.2—5 上，通常，如无特别说明，逻辑回路中采用的是正逻辑。

1.4.3 继电器逻辑电路

继电器逻辑电路由继电器和输入触点等组成。表 9.1.2—3 表示了几种常用的继电器逻辑电路，其中，对触点，A、B、C、……等规定：常开触点动合以 A＝1 表示，常闭触点动断时以 A＝0 表示，等等。

1.4.4 晶体管逻辑电路

晶体管逻辑电路由二极管和三极管、MOS 场效应晶体管等构成，可以由分立元件或数字集成电路构成。

表 9.1.2—4 列举几种晶体管逻辑电路。其中二极管—三极管逻辑门简写 DTL；三极管—三极管逻辑门简写 TTL（或 TL）；射极耦合逻辑门简写 ECL；PMOS 和 CMOS 逻辑门是应用 MOS 场效应晶体管构成的逻辑电路。

表 9.1.2－3 **继电器逻辑电路**

序号	名　称	逻辑式	电　　路	说　　明
1	与门	$X=A\cdot B$		当输入触点 A、B 同时为 1 时，线圈 J 才通电，触点，闭合，X 有输出，即 X＝1
2	或门	$X=A+B$		只要有一个输入触点为 1，则线圈 J 通电，触点 J 闭合，X＝1
3	非门	$X=\overline{A}$		当没有输入时，即 A＝0，有输出即 X＝1；而当有输入时，即 A＝1，没有输出即 X＝0
4	禁止电路	$X=A\cdot\overline{B}$		B＝1 时，线圈 J 受 A 控制。当 B＝0 时，线圈 J 不再受 A 控制，即 J 不动作
5	自锁电路（停止优先）	$X=(A+J)\cdot B$		B＝1 时，A＝1，线圈 J 通电，触点 J 闭合。此后 A＝0 不再影响 J。当 B＝0 时，J 始终不通电
6	自锁电路（起动优先）	$X=A+J\cdot\overline{B}$		B＝1 时，A＝1，线圈 J 通电，触点 J 闭合。此后 A＝0 不再影响 J。当 B＝0 时 J 受 A 控制
7	互锁电路	$X=A\cdot\overline{J}_2$ $Y=B\cdot\overline{J}_1$		X 有输出时即 J_1 工作，J_2 不能工作，Y 无输出，反之 Y 有输出时，X 无输出
8	延时电路	$X=A(t-t_0)$		SJ 是延时继电器，A＝1 时开始，经过 t_0 时间后，触点 SJ 闭合，X 才有输出

表 9.1.2－4 **晶体管逻辑电路**

序号	名　称	逻辑式	电　　路	说　　明
1	与门	$X=A\cdot B$		A、B 均为高电平，即 A＝1 B＝1 则 X 为高电平，即 X＝1

续上表

序号	名　称	逻辑式	电　　路	说　　明
2	或门	$X=A+B$		只要 A 或 B 是高电平，则 X 为高电平，亦即 A 或 $B=1$，则 $X=1$
3	非门	$X=\overline{A}$		当 A 为高电平，三极管导通，X 为低电平
4	DTL 与非门	$X=\overline{A\cdot B}$		当输入 AB 均为 1，电流通过 R_1、R_2 注入基极，使 Q_1 随之 Q_2 导通，输出 X 为低电平，即 $X=0$。当 A 或 B 或两者均为 0 时，$X=1$。其中 D_3 为箱位二极管
5	TTL 与非门	$X=\overline{A\cdot B}$		当输入 AB 均为 1，电流经 R_1、Q_1 的正偏发射结注入 Q_1 的基极，使 Q_2 导通，并使 Q_3 截止，Q_4 饱和，输出 X 为低电平，即 $X=0$。当 A 或 B 或两者均为 0 时，输出 X 为高电平，$X=1$
6	ECL 或门 ECL 或非门	$X=A+B$ $X=\overline{A+B}$		当 A、B 均为 0 时（Q_1、Q_2 截止），Q_1 导通，此时 Q_4 截止，输出 X 为低电平，即 $X=0$，反之 $X=1$。如果 Q_4 的基极接到 Q_2 的集电板，则此电路为或非门，即 $X=\overline{A+B}$。ECL 门开关时间比 TTL 门的短

续上表

序号	名称	逻辑式	电路	说明
7	PMOS 与门 PMOS 与非门	$X=A.B$ $Y=\overline{A\cdot B}$		若 A、B 均为 1，Q_1、Q_2 截止，Y 输出为 0，而 $X=1$（Q_3 导通广）。当 A 或 B 或两者均为 0 时 $Y=1$（$\approx +V_{SS}$），而 X（Q_3 截止）
8	PMOS 或门 PMOS 或非门	$X=A+B$ $Y=\overline{A.B}$		当 A 或 B 或两者均为 1 时，Q_1 或 Q_2 或 Q_1、Q_2 截止，$Y=0$，而 $X=1$（Q_3 导通）。当 A 与 B 均为 0 时，Q_1、Q_2 导通，$Y=1$（$\approx +V_{SS}$），而 $X=0$（Q_3 截止）
9	CMOS 与非门	$X=\overline{A\cdot B\cdot C}$		当 A、B、C 均为 1 时，$Q_1\sim Q_3$ 截止，$Q_4\sim Q_6$ 导通，$X=0$。当 A 或 B 或 C 或三者均为 0 时，$Q_1\sim Q_3$ 导通，$Q_4\sim Q_6$ 截止，$X=1$

续上表

序号	名　称	逻辑式	电　　路	说　　明
10	CMOS 或非门	$X=\overline{A+B+C}$		当 A 或 B 或 C 或三者均为 1 时，Q_1 或 Q_2 或 Q_3 或 Q_1～Q_3 截止，Q_4 或 Q_5 或 Q_6 或 Q_4～Q_6 导通，$X=1$。当 A、B、C 均为 0 时，Q_1～Q_3 导通，Q_4～Q_6 截止，$X=0$

1.4.5　气动逻辑回路

气动逻辑回路由气动逻辑元件组成。表 9.1.2－5 列出了一些常用的气动逻辑回路，供读者参考。

表 9.1.2－5　　气动逻辑回路

序　号	名　称	逻辑式	功　能　图
1	与　门	$X=A\cdot B$	
2	或　门	$X=A+B$	
3	非　门	$X=\overline{A}$	

序号	名称	逻辑式	功能图
4	与非门	$X=\overline{A\cdot B}$	A B X
5	或非门	$X=\overline{A+B}$	A B X
6	异或门	$X=\overline{A}\cdot B+A\cdot\overline{B}$ $=A\oplus B$	A B X
7	同或门	$X=A\cdot B+\overline{A}\cdot\overline{B}$ $=A\odot B$ $=\overline{A\oplus B}$	A B X
8	与或门	$X=A\cdot B+\overline{A}\cdot C$	A C B X
9	禁　门	$X=\overline{A}\cdot B$	A B X

1.4.6　记忆元件

常用物记忆元件有延时继电器、延时电路、步进电机、电子记忆元件和气动记忆元件等。

电子记忆元件有各种类型的触发器。触发器翻转前的状态叫现态(当前状态)，用 Q_n 或 Y_n 表示；触发器翻转后的状态叫次态(下一状态)，用 Q_{n+1} 或 Y_{n+1} 表示。触发器的次态是现态和输入的函数。

表 9.1.2－6 列出了常用的电子记忆元件，其中 CP 是时钟脉冲。表 9.1.2－7 列出了气动记忆元件，供读者参考。

表 9.1.2—6　　**电子记忆元件**

	SR 触发器					JK 触发器					T 型触发器				D 型触发器			
逻辑符号																		
	CP	S	R	Q_n	Q_{n+1}	CP	J	K	Q_n	Q_{n+1}	CP	T	Q_n	Q_{n-1}	CP	D	Q_n	Q_{n+1}
次态真值表	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0
	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1
	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1								
	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1								
	1	1	1	0	d	1	1	1	0	1								
	1	1	1	1	d	1	1	1	1	0								
次态方程											$Q_{n+1}=T.\overline{Q}_n+\overline{T}.Q_n$				$Q_{n+1}=D$			

表 9.1.2—7　　**气动记忆元件**

序号	功能图	功能表	逻辑符号
1		B A Y_{n+1} 0 0 Y_n 0 1 1 1 0 0 1 1 不定	
2		C B A Y_{n+1} 0 0 0 0 0 0 1 1 0 1 0 0 0 1 1 不定 1 0 0 0 1 0 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0	

顺序控制系统广泛应用于船舶机舱自动化和工业生产自动化中。LAVAL 自动排渣分油机的程序控制便是一个典型的时间顺序控制系统，它的指令形成装置是由凸轮程序开关和程序控制电路构成的，它们按预定的程序控制时间表发出控制指令，详见第 3 篇第 7 章。

2　线性反馈控制

2.1　反馈控制的基本概念

所谓反馈控制，系指将系统输出量反馈到系统输入端，与给定值相比较，系统力图使两者的偏差减小，并基于这一偏差进行控制的过程。

2.1.1　反馈控制系统的组成

反馈控制系统一般由被控对象、测量单元、控制单元、比较机构和执行单元所组成，如图9.1.2－6所示。

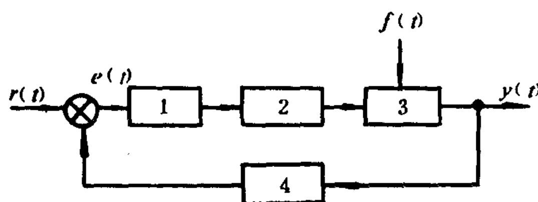


图9.1.2－6　反馈控制系统原理方框图

1－控制单元；2－执行单元；3－被控对象；4－测量单元；

y(t)－被控量；f(t)－干扰量；r(t)－给定值；b(t)－反馈量；e(t)－偏差信号；⊗－比较机构

由图9.1.2－6可知，反馈控制系统是一个具有负反馈的、按偏差信号进行控制的，单向作用的闭环有源动态系统。

2.1.2　反馈控制系统的分类

1)按给定值(控制量)的形式分类

(1)定值调节系统——给定值为某一确定值的系统。

(2)程序控制系统——给定值按某一预先确定的规律变化的系统。

(3)随动系统——给定值预先不能确定，取决于系统外的某一进程的系统。

2)按组成系统的各个单元或元件是否线性分类

(1)线性系统——其所组成的各个单元或元件均是线性的。

(2)非线性系统——其所组成的各个单元或元件中，存在一个或一个以上的非线性单元或元件。结性系统包括常参数系统和变参数系统。

2.1.3　线性反馈控制系统的性能指标

1)稳定性和稳定性贮量

所谓稳定，系指当对反馈控制系统施加某一输入量(给定值或扰动量)时，系统的被控量从某一平衡状态开始变化，经过足够长的时间，被控量仍能回到原来的平衡状态，便称之谓系统稳定。反之，便称为不稳定的。

所谓稳定性贮量，它是表示稳定程度大小的一个指标。

2)过渡过程品质指标

所谓过渡过程，系指当对反馈控制系统施加某一形式的输入量(给定值或干扰量)后，系统的原平衡状态遭到破坏，处于不平衡状态的动态过程。过渡过程品质指标是评价反馈控制系统动态过程的快速性和动态准确性的指标。

通常，过渡过程品质指标用系统的单位阶跃响应来进行评价，其曲线表示在图9.1.2－7上。

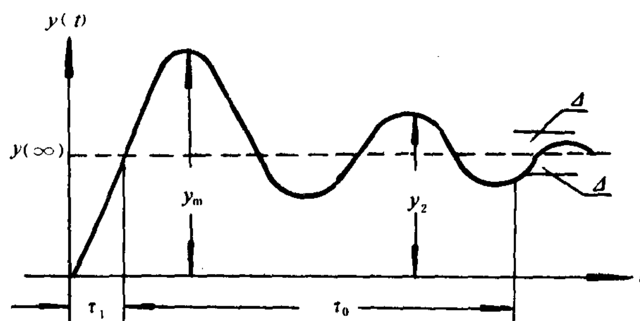


图 9.1.2—7　反馈控制系统的单位阶跃响应曲线

在上图中，原平衡状态均视作为零。y(∞)是被控量 y(t)在过渡过程结束后的静态值，它表示新的平衡状态；y(m)表示被控量的最大值；y_2 表示出现 y_m 一周后的峰值；τ_0 表示过渡过程时间；τ_r 表示上升时间；Δ 是某一指定的容许值，通常取 5%y(∞)或 2%y(∞)。

常用的过渡过程品质指标列在表 9.1.2—8 上。

表 9.1.2—8　**过渡过程品质指标**

名　　称	符号	数　学　表　示　式	说　　明
过渡过程时间	τ_0	$\lvert y(t)-y(\infty)\rvert \leqslant \Delta(t \geqslant \tau_0)$	用以评价系统的快速性，τ_0 小快速性好
上升时间	τ_r	y(t)首次到达 y(∞)的时间	τ_r 小快速性好
超调量	σ%	$\sigma\%=\frac{ym-y(\infty)}{y(\infty)}100\%$	表示过渡过程发生过冲的大小，用以评价系统的动态准确性，σ%小动态精度高
最大偏差	A A%	$A=y_m$ $A\%=\frac{y_m}{y_o}100\%$	用以评价系统的动态准确性，只用于定值调节系统中，A 或 A%小，动态精度高。其中 y_o 是被控量的额定值
衰减比	N	$N=\frac{y_m-y(\infty)}{y_2-y(\infty)}$	用以评价系统的振荡性，N 大振荡衰减快
衰减度	ψ	$\psi=\frac{y_m-y_2}{y_m-y(\infty)}$	用以评价系统的振荡性，ψ 大振荡衰减快

3)静差(又称稳态误差)

静差是指过渡过程结束后的残余偏差。它表示了系统的静态准确性。

对于定值调节系统，静差 ef 通常是指在阶跃干扰量作用下，过渡过程结束后被控量偏离原平衡值的大小，其数学表示式为

$$e_f=y(\infty)-y(o) \qquad (9.1.2-13)$$

对于程序控制系统和随动系统，静差 e 是指在给定值作用下，过渡过程结束后被控量偏离给定值(或给定值的某一所要求的函数)的大小。对于反馈量等于被控量的系统，例如位置随动系统，其数学表示式为

$$e=\lim_{t\to\infty}[r(t)-y(t)] \qquad (9.1.2-14)$$

2.2　线性系统的数学模型

所谓数学模型，是指描述动态系统特性的数学表示式。数学模型有多种不同的型式，包括

微分方程式、传递函数、脉冲过渡函数等。

2.2.1 微分方程式、传递函数和脉冲过渡函数

线性定常系统的特性可用下列常微分方程式来描述：

$$a_0\frac{d^n y(t)}{dt^n}+a_1\frac{d^{n-1}y(t)}{dt^{n-1}}+\cdots\cdots+a_{n-1}\frac{dy(t)}{dt}+a_n y(t)=b_0\frac{d^m u(t)}{dt^m}+b_1\frac{d^{m-1}u(t)}{dt^{m-1}}+\cdots\cdots+b_{m-1}\frac{du(t)}{dt}+b_m u(t) \qquad (9.1.2-15)$$

式中 y(t)是系统的输出量，u(t)是系统的输入量，系数 $a_i(i=0,1,\cdots n)$，$b_i(i=0,1,\cdots m)$均为常数。对于非线性经线性化处理后的系统，y(t)和 u(t)均系指相对于原平衡状态(工作点)的增量。

当初始条件为零时，对微分方程式(9.1.2—15)等式两过逐项进行拉氏变换，可得：

$$\frac{Y(s)}{U(s)}=G(s)=\frac{b_0s^m+b_1s^{m-1}+\cdots+b_{m-1}s+b_m}{a_0s^n+a_1s^{n-1}+\cdots+a_{n-1}s+a_n} \qquad (9.1.2-16)$$

定义 G(s)为此系统的传递函数，考虑到控制系统的物理可实现性，分母的阶大于或等于分子的阶，$n\geqslant m$。

当初始条件为零时，系统对单位脉冲输入量 δ(t)的输出(响应)称为脉冲过渡函数或脉冲响应，以 g(t)表示。

由于 δ(t)的象函数为 1，由式(9.1.2—16)可得

$$g(t)=L^{-1}[Y(s)]=L^{-1}[G(s)] \qquad (9.1.2-17)$$

由上式可知，传递函数 G(s)与脉冲过渡函数 g(t)互为拉氏变换和反变换的关系。

2.2.2 方框图及其变换

1)方框图(结构图)

方框图可用来表示各种物理系统内部诸信号间的联系。如果在图 9.1.2—6 中各个方框内写入相应的传递函数，则可得到反馈控制系统的方框图，如图 9.1.2—8 所示。

2)方框图的变换

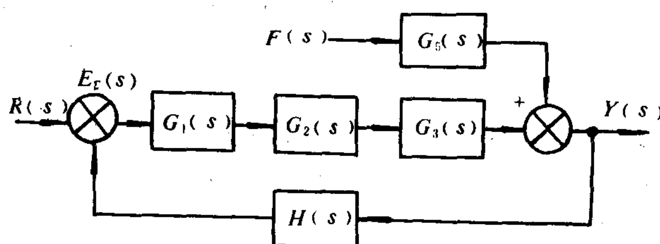


图 9.1.2—8 反馈控制系统方框图

用一个等效方框来代替一些需要化简的方框，便是方框图的变换。方框图的变换有五种基本方式，列于表 9.1.2—9，其中 U(s)、Y(s)、G(s)均简写为 U、Y、G。

2.2.3 信号流图和梅逊(Mason)公式

表 9.1.2 9　**方框图的基本变换**

序号	名称	原方框图	等效方框图
1	串联变换	$U(s)$, $G_1(s)$, $G_2(s)$, $Y(s)$	$U(s)$, $G_1(s)\pm G_2(s)$, $Y(s)$
2	并联变换	$U(s)$, $G_1(s)$, $G_2(s)$, $\pm$, $Y(s)$	$U(s)$, $G_1(s)\pm G_2(s)$, $Y(s)$
3	反馈变换	$U(s)$, $\pm$, $G(s)$, $H(s)$, $Y(s)$	$U(s)$, $\frac{G(s)}{1\pm G(s)H(s)}$, $Y(s)$
4	加减号移动	$U(s)$, $G(s)$, $\pm$, $U_2(s)$, $Y(s)$	$U_1(s)$, $\pm$, $G(s)$, $1/G(s)$, $U_2(s)$, $Y(s)$
		$U_1(s)$, $\pm$, $U_2(s)$, $G(s)$, $Y(s)$	$U_1(s)$, $G(s)$, $U_2(s)$, $G(s)$, $\pm$, $Y(s)$
5	分支点移动	$U(s)$, $G(s)$, $Y(s)$, $Y(s)$	$U(s)$, $G(s)$, $Y(s)$, $G(s)$, $Y(s)$
		$U(s)$, $G(s)$, $Y(s)$, $U(s)$	$U(s)$, $G(s)$, $Y(s)$, $1/G(s)$, $U(s)$

信号流图是另一种表示控制系统的图解方式，它的主要优点在于可以应用所谓梅逊公式，直接得出任一输出信号与任一输入信号的关系。

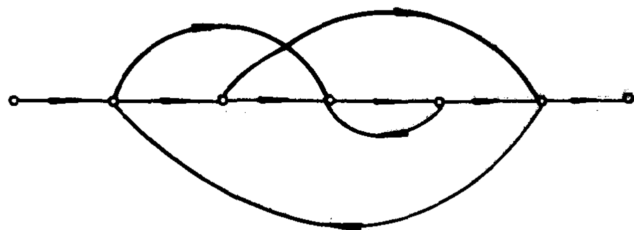


图 9.1.2 9 控制系统的信号流图

当将信号流图法用于控制系统时，首先必须将线性微分方程组进行拉氏变换，变为以 s 为自变量的线性代数方程组，然后作出信号流图。

图 9.1.2—9 表示了一个控制系统的信号流图。其术语有：

节点—以小圆圈"0"表示，用来表示变量或信号的点。输入节点对应于输入量 R(s)，它也称为源点；输出节点对应于输出量 Y(s)；它也称为阱点；混合节点对应于图中的中间变量，它是既有输入支路也有输出支路的节点。

支路—连接两个节点的定向线段，以带箭头的方向线表示。前向通路是指从源点到阱点的通路，它通过任何节点不应多于一次；回路是指通路的终点也是通路的起点；不接触回路是指某些不具有任何公共节点的回路。

传输 两个节点之间的增益称为传输。前向通路传输是指前向通路中各支路传输的乘积；回路传输是指回路中各支路传输的乘积。

信号流图具有下列性质：

1)信号在支路上只能沿箭头单向传递，后一节点对前一节点没有负载效应。

2)支路传输相应于比例系数，信号通过支路时，被乘以支路传输而变为另一信号。

3)节点只表示所有输入支路的信号相加，并把总的信号传递到所有输出支路；如果要求信号相减(例如负反馈)，则可将"－"号表示在传输上，如图上$-H_1(S)$、$-H_2(s)$所示。

信号流图的梅逊公式如下：

$$P = \frac{1}{\Delta}\sum_{k=1} P_k\Delta_k \qquad (9.1.2—18)$$

式中：P ——源点到阱点之间的总传输；

n ——源点到阱点的前向通路的总数；

P_k——第 K 条前向通路的传输；

Δ ——流图特征式，其表示式为

$$\Delta = 1 - \sum_a L_a + \sum_{b,c} L_b L_c - \sum_{d,e,f} L_d L_e L_f + \cdots$$

其中： $\sum_a L_a$ ——所有不同回路传输之和；

$\sum_{b,c} L_b L_c$ ——每两个不接触回路传输乘积之和；

$\sum_{d,e,f} L_d L_e L_f$ ——每三个不接触回路传输乘积之和；

Δ_k——余因子式，即在信号流图中把与第 k 条前向通路相接触的回路除去以后的 Δ 值。在 Δ 中，令与第 k 条前向通路相接触的回路传输为零，便可求得 Δ_k。

2.2.4 频率特性

设一物理系统的微分方程式和传递函数分别如式(9.1.2—15)和(9.1.2—16)所示。假设此系统的输入量是简谐函数 $u(t)=U_m e^{j\omega t}$，则其输出的稳态分量(即强迫振荡分量)$y_\infty(t)$也为

同频率的简谐函数形式，它是微分方程式(9.1.2—15)的特解：

$$g_{\omega}(t) = Gu_m e^{j\omega t}$$

式中G是与t无关的系数。

将u(t)和$y_{\omega}(t)$代入式(9.1.2—15)中可得

$$\frac{y_{\omega}(t)}{u(t)} = G(j^{\omega}) = \frac{b_0(j\omega)^m + b_1(j\omega)^{m-1} + \cdots + b_{m-1}j\omega + b_m}{a_0(j\omega)^n + a_1(j\omega)^{n-1} + \cdots + a_{n-1}j\omega + a_n} \quad (9.1.2—19$$

我们把G(jω)称为此系统的频率特性。G(jω)还可写成下列形式：

$$G(j\omega) = U(\omega) + jv(\omega) = |H(\omega)|.e^{j\varphi}(\omega) \quad (9.1.2—20)$$

式中G(jω)称为复数频率特性或幅相频率特性；U(ω)称为实频特性，V(ω)称为虚频特性；|H(ω)|称为幅频特性，φ(ω)称为相频特性。其中U(ω)和H(ω)是ω的偶函数，V(ω)和φ(ω)是ω的奇函数。

为便于作图，常采用对数频率特性，对数幅频特性表示成L(ω)=20lgH(ω)，单位称分贝，记作“dB”。常用的频率特性图有下列两种

1)幅相频率特性图(奈魁斯特Nyguist图)

它是以U(ω)为横坐标，V(ω)为纵坐标，然后以ω为参数在复平面上作出的频率特性曲线。或者说，将G(jω)分成H(ω)和φ(ω)，然后以ω为参数在极坐标上作出的频率特性曲线。

2)对数频率特性图(伯德Bode图)

对数频率特性图是将频率特性分成对数幅频特性图和对数相频特性图。前者以L(ω)为纵坐标，ω为横坐标(以对数坐标表示)作出的曲线，后者以φ(ω)为纵坐标，ω为横坐标(以对数坐标表示)作出的曲线。

2.2.5 基本环节

设一系统的传递函数具有式(9.1.2—16)的一般形式，其分子多项式和分母多项式的根分别称为传递函数的零点和极点。这些根存在三种情况：零根、实根和共轭复根，共轭复根中包括虚根。任何系统，从其动态特性来看，均可视作为由若干个基本环节的串联所组成。

表9.1.2—10列出了基本环节的传递函数、频率特性，微分方程式和单位阶跃响应。

表9.1.2—10 **基本环节的数学模型和单位阶跃响应**

序号	名称	传递函数微分方程式频率特性单位阶跃响应	说明
1	放大环节	$G(s)=k$ $G(j\omega)=k$ $y(t)=ku(t)$ $h(t)=k\cdot 1\cdot(t)$	k表示放大倍数，可以有量纲。例如有放大器、齿轮系、比例控制器等
2	惯性环节	$G(s)=\frac{1}{Ts+1}$ $G(j\omega)=\frac{1}{Tj\omega+1}$ $T\frac{dy(t)}{dt}+y(t)=u(t)$ $h(t)=1-e^{-\frac{t}{T}}$	时间常数T表示惯性，单位是秒。T大表示惯性大。例如RC电路、液位系统、气压系统，电动机等

续上表

序号	名称	传递函数微分方程式频率特性单位阶跃响应	说明
3	振荡环节	$G(s)=\frac{1}{T^2S^2+2\zeta Ts+1}=\frac{\omega_n^2}{S^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}$ $G(j\omega)=\frac{1}{T^2(j\omega)^2+2\zeta T(j\omega)+1}$ $T^2\frac{d^2y(t)}{dt^2}+2\zeta T\frac{dy(t)}{dt}+y(t)=u(t)$ $h(t)=1-\frac{1}{\sqrt{1-\zeta^2}}e^{-\zeta w_n t}\sin(w_n\sqrt{1-\zeta^2}t+tg^{-1}\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta})$; $(\omega n=\frac{1}{T},0\leqslant\zeta<1)$	ζ称为阻尼比，无量纲。ζ大表示阻尼大，y(t)衰减慢。 当0<ζ<1，y(t)是衰减振荡过程。当ζ=0，y(t)是等幅振荡过程。 例如RLC电路，弹性测量元件等
4	积分环节	$G(s)=\frac{1}{s}$ $G(j\omega)=\frac{1}{j\omega}$ $\frac{dy(t)}{dt}=u(t)$ $h(t)=t$	例如液压伺服机，直流电动机（转角作为输出量）、两相异步电动机（转角作为输出量），比例积分控制器、积分控制器等，它们均包含积份环节
5	一阶微分环节	$G(s)=s\quad G(s)=\tau s+1$ $G(j\omega)=j\omega\quad G(j\omega)=\tau j\omega+1$ $y(t)=\frac{du(t)}{dt}\quad y(t)=\tau\frac{du(t)}{dt}+u(t)$ $h(t)=\delta(t)\quad h(t)=\tau\delta(t)+1(t)$	它常与惯性环节共存例如测速发电器、微分变压器、RC微分电路，比例微分控制器等
6	二阶微分环节	$G(s)=\tau^2s^2+2\rho\tau s+1$ $G(j\omega)=\tau^2(j\omega)^2+2\rho\tau j\omega+1$ $(0\leqslant\rho<1)$	它常与惯性环节共存。当$\rho\geqslant1$时，它将变为两个一阶微分环节的串联
7	恒迟延环节	$G(s)=e^{-\tau s}$ $G(j\omega)=e^{-j\omega\tau}$ $y(t)=u(t-\tau)$ $h(t)=1(t-\tau)$ $(t\geqslant\tau)$	其运动方程式为差分方程式。例如传递气体或液体的长管道、测温元件、介质压力或热量在管道中的传递等

表 9.1.2—11 列出了基本环节的频率特性图。其中，L(ω)倾斜线的斜率以 dB/dec 为单位，它的含义是每十倍频程（记作 dec）变化的分贝（dB）数，例如－20dB/dec 表示每十倍频程下降 20dB。两不同斜率的直线相交点的频率 $\omega=\frac{1}{T}$（或 $T\omega=1$）称为转角频率，也称交接频率。

表 9.1.2—11　　　　基本环节的频率特性图

序号	名称	幅相频率特性图	对数频率特性图	说　　明
1	放大环节			$U(\omega)=k$,　$V(\omega)=0$ $H(\omega)=k$,　$\varphi(\omega)=0°$ 幅相频率特性与ω无关是实轴上的一个点。 $L(\omega)=20\lg k$,　$\varphi(\omega)=0°$
2	惯性环节			$U(\omega)=\frac{1}{T^2\omega^2+1}$,　$V(\omega)=\frac{-T\omega}{T^2\omega^2+1}$ 幅相频率特性是一个半圆。$L(\omega)=-20\lg\sqrt{T^2\omega^2+1}$。当 $T\omega<<1$, $L(\omega)=0$dB；当 $T\omega>>1$, $L(\omega)=-20\lg T\omega$dB；当 $T\omega=1$, $L(\omega)=-3$dB 实线是渐近特性，虚线是精确特性。$\omega=1/T$ 是转角频率。$\varphi(\omega)=-\mathrm{tg}^{-1}T\omega$。
3	振荡环节			$U(\omega)=\frac{1-T^2\omega^2}{(1-T^2\omega^2)^2+(2\zeta T\omega)^2}$ $V(\omega)=\frac{-2\zeta T\omega}{(1-T^2\omega^2)^2+(2\zeta T\omega)^2}$ 当 $\omega=0$, $U(\omega)=1$, $V(\omega)=0$；当 $\omega=\frac{1}{T}$, $U(\omega)=0$, $V(\omega)=-\frac{1}{2\zeta}$；当 $\omega=\infty$, $U(\omega)=0$, $V(\omega)=0$, $\varphi(\omega)=-180°$。$L(\omega)=-20\lg\sqrt{(1-T^2\omega^2)^2+(2\zeta T\omega)^2}$，当 $T\omega<<1$, $L(\omega)=0$dB，当 $T\omega\ll1$, $L(\omega)=-40\lg^{T\omega}$dB。图上所示为渐近特性。$\varphi(\omega)=-\mathrm{tg}^{-1}\frac{-2\zeta T\omega}{1-T^2\omega^2}$
4	积分环节			$U(\omega)=0$, $V(\omega)=\frac{1}{\omega}$。$L(\omega)=-20\lg\omega$，它是一条斜率为−20dB/dec的直线，与odB线交于 $\omega=1$ 处 $\varphi(\omega)=-90°$

续上表

序号	名称	幅相频率特性图	对数频率特性图	说　　明
5	一阶微分环节		L(ω)和 φ(ω)与积分环节相比,分别对 0dB 线和 0°线镜面对称	$G(j\omega)=j\omega, U(\omega)=0, V(\omega)=\omega$ $L(\omega)=20\lg\omega, \varphi(\omega)=90°$
			L(ω)和 φ(ω)与惯性环节相比,分别对 odB 线和 0°线镜面对称,其中以 τ 代替 T	$G(j\omega)=\tau j\omega+1, U(\omega)=1, V(\omega)=\tau\omega$。$L(\omega)=20\lg\sqrt{\tau^2\omega^2+1}, \varphi(\omega)=tg^{-1}T\omega$
6	二阶微分环节		L(ω)和 φ(ω)与振荡环节相比,分别对 odB 线和 0°线镜面对称,其中以 τ 代替 T,以 ρ 代替 ζ	$U(\omega)=1-\tau^2\omega^2, V(\omega)=2\rho\tau\omega$。$L(\omega)=20\lg\sqrt{(1-\tau^2\omega^2)^2+(2\rho\tau\omega)^2}$ $\varphi(\omega)=tg^{-1}\frac{2\rho\tau\omega}{1-\tau^2\omega^2}$
7	恒迟延环节			$G(j\omega)=e^{-j\omega\tau}, H(\omega)=1, \varphi(\omega)=-\omega\tau$。幅相频率特性是一个单位园。$L(\omega)=0dB, \varphi(\omega)=-\omega\tau=-57.3\omega\tau$

振荡环节的对数频率特性精确曲线如图 9.1.2—10 所示。当 $\zeta\geqslant1$,它已变为两个惯性环节的串联。

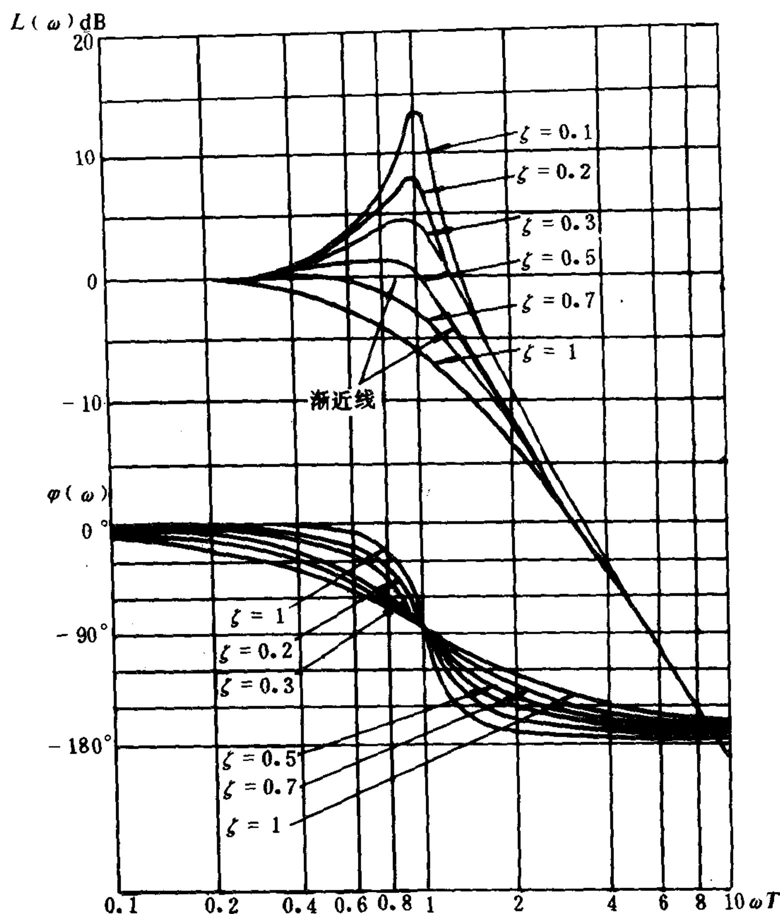


图 9.1.2—10 振荡环节的对数频率特性图

2.3 线性反馈控制系统的静差

2.3.1 反馈控制系统的一般方块图和偏差表示式

反馈控制系统的一般方块图表示在图 9.1.2—11 上，其中 G(s)称为前向传递函数，Gf(s)称为对扰动量的前向传递函数，H(s)称为反馈传递函数，G(s)H(s)称为开环传递函数。

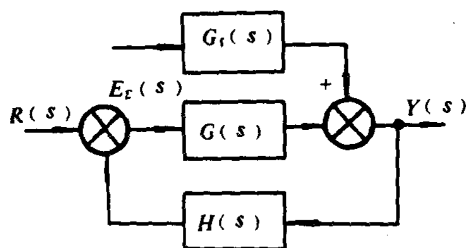


图 9.1.2—11 反馈控制系统的一般方框图

偏差可分为控制偏差和扰动偏差，前者由施加控制量而引起的偏差，后者则由施加扰动量而引起的偏差，两者迭加后为系统的总偏差。

2.3.1.1 控制偏差表示式 令图 9.1.2—11 中的 F(s)＝0，它相应于随动系统的一般方框图。控制偏差有两种定义的方法，从控制端定义和从输出端定义。前者以 e(t)或其象函数 E(s)表示，后者以 e^*(t)或其象函数 E^*(s)表示。

$$E(s) = R(s) - B(s) = \frac{1}{1+G(s)H(s)}R(s) = \Phi_e(s)R(s) \qquad (9.1.2—21)$$

式中 $\Phi_e(s)$称为偏差传递函数。

$$E^*(s) = R^*(s) - Y(s) = \frac{1}{[1+G(s)H(s)]H(s)}R(s) = \Phi_e^*(s)R(s)$$

(9.1.2—22)

式中 $R^*(s)=R(s)/H(s)$ 是被控量的希望值；$\Phi_e^*(s)$ 是从输出端定义的偏差传递函数。显然有

$$E^*(s) = E(s)/H(s), \quad \Phi_e^*(s) = \Phi_e(s)/H(s) \qquad (9.1.2—23)$$

2.3.1.2 扰动偏差表示式　令图 9.1.2—11 中的 $R(s)=0$，它相应于定值调节系统的一般方框图。从控制端定义和从输出端定义的扰动偏差分别以 $e_f(t)$ 或 $E_f(s)$ 和 $e_f^*(t)$ 或 $E_f^*(s)$ 表示。

系统的原平衡状态视作零，当施加扰动量后，被控量的实际值即为引起的扰动偏差：

$$E_f(s) = 0 - B(s) = -Y(s)H(s) = -\Phi_f(s)H(s)F(s) = \Phi_{ef}(s)F(s)$$

(9.1.2—24)

式中，$\Phi_{f(s)}=G_f(s)/1+G(s)H(s)$ 是对扰动量的闭环传递函数；$\Phi_{ef}(s)=-\Phi_f(s)H(s)$ 是对扰动量的偏差传递函数。

$$E_f^*(s) = 0 - Y(s) = -\Phi_f(s)F(s) = \Phi_{ef}^*(s)F(s) \qquad (9.1.2—25)$$

式中 $\Phi_{ef}^*(s)=-\Phi_f(s)$ 是对扰动量的偏差传递函数（从输出端定义）。显然有

$$E_f^*(s) = E_f(s)/H(s), \Phi_{ef}^*(s) = \Phi_{ef}(s)H(s) \qquad (9.1.2—26)$$

2.3.1.3 系统的总偏差表示式当系统中同时施加控制量和扰动量时，应用迭加原理可得从控制端和输出端定义的总偏差表示式，它们分别为

$$E_\Sigma(s) = E(s) + E_f(s) \qquad (9.1.2—27)$$

$$E_\Sigma^*(s) = E^*(s) + E_f^*(s) \qquad (9.1.2—28)$$

2.3.2 静差的计算和分析

2.3.2.1 应用拉氏变换终值定理计算静差应用此法时必须满足拉氏变换终值定理的条件，即象函数在 s 平面的右半部和虚轴上（原点除外）不存在极点。

1）控制静差表示式

$$e = \lim_{t\to\infty} e(t) = \lim_{s\to o} SE_f(s) = \lim_{s\to o} S\Phi_e(s)R(s) \qquad (9.1.2—29)$$

$$e^* = \lim_{t\to\infty} e^*(t) = \lim_{s\to o} SE_f^*(s) = \lim_{s\to o} S\Phi_{ef}^*(s)R(s) \qquad (9.1.2—30)$$

2）扰动静差表示式

$$e_f = \lim_{t\to\infty} e_f(t) = \lim_{s\to o} SE_f(s) = \lim_{s\to o} S\Phi_{ef}(s)F(s) \qquad (9.1.2—31)$$

$$e_f^* = \lim_{t\to\infty} e_f^*(t) = \lim_{s\to o} SE_f^*(s) = \lim_{s\to o} S\Phi_{ef}^*(s)F(s) \qquad (9.1.2—32)$$

3）系统的总静差表示式

$$e_\Sigma = e + e_f \qquad e_\Sigma^* = e^* + e_f^* \qquad (9.1.2—33)$$

按式(9.1.2—23)和(9.1.2—26)显然有

$$e^* = e/H(o), e_f^* = e_f/H(o), e_\Sigma^* = e_\Sigma/H(o) \qquad (9.1.2—34)$$

2.3.2.2 应用动态误差系数法计算静差

1）控制静差表示式

将 $\Phi_e(s)$ 展开成 s 幂级数：

$$\Phi_e(s) = C_o + C_1S + \frac{C2}{2!}S^2 + \cdots + \frac{Ci}{i!}Si + \cdots \qquad (9.1.2—35)$$

上式收敛的条件是 $s\to o$（对应于时域中 $t\to\infty$）。按式(9.1.2—21)可得

$$E(s) = \Phi_e(s)R(s) = C_oR(s) + C_1SR(s) + \frac{C_2}{2!}S^2R(s) + \cdots + \frac{Ci}{i!}S^iR(s) + \cdots$$

将上式进行拉氏反变换，可得控制静差表示式：

$$e = C_o r(t) + C_1 r^{(1)}(t) + \frac{C_2}{2!} r^{(2)}(t) + \cdots + \frac{Ci}{i!} r^{(i)}(t) + \cdots \quad (9.1.2—36)$$

式中 $r^{(i)}(t) = d^i r(t)/dt^i (i=1,2,\cdots)$，$C_o, C_1 \cdots Ci$ 称为动态误差系数。

同理可得

$$e^* = C_o{}^* r(t) + C_1{}^* r^{(1)}(t) + \cdots + \frac{Ci}{i!} r^{(i)}(t) + \cdots \quad (9.1.2—37)$$

2)扰动静差表示式

$$e_f = C_{of} f(t) + C_{1f} f^{(1)}(t) + \frac{C_2 f}{2!} f^{(2)}(t) + \cdots + \frac{C_i f}{i!} f^{(i)}(t) + \cdots \quad (9.1.2—38)$$

$$e_f^* = C_{of}^* f(t) + C_{1f}^* f^{(1)}(t) + \frac{C_2^* f}{2!} f^{(2)}(t) + \cdots + \frac{Cif}{i!} f^{(i)}(t) + \cdots \quad (9.1.2—39)$$

3)系统的总静差表示式

$$e_\Sigma = e + e_f \qquad e_\Sigma^* = e^* + e_f^* \quad (9.1.2—40)$$

式(9.1.2—37)、(9.1.2—38)和(9.1.2—39)中，$C_i{}^*(i=0,1,\cdots)$、$C_{if}(i=0,1,\cdots)$和 $C_{if}^*(i=0,1,\cdots)$分别由 $\Phi_e^*(s)$、$\Phi_{ef}(s)$和 $\Phi_{ef}^*(s)$按式(9.1.2—35)展开级数求得。

4)动态误差系数的求取方法

求取动态误差系数的方法较多，现介绍常用的几种以 $\Phi_e(s)$为例。设

$$\Phi_e(s) = \frac{d_o + d_1 s + d_2 s^2 + \cdots}{1 + a_1 s + a_2 s^2 + a_3 s^3 + \cdots} = C_o + C_1 s + \frac{C_2}{2!} s^2 + \cdots + \frac{Ci}{i!} s^i + \cdots$$

i)将上式的分子除以分母可得

$$Ci = i!\ (di - \sum_{k=0}^{i-1} \frac{C_k}{k!} a_{i-k})(i=0,1,2\cdots) \quad (9.1.2—41)$$

$$\text{ii)}\ ci = \frac{i!}{s^i}\left[\Phi_e(s) - \sum_{k=0}^{i-1} \frac{C_k}{k!} s^k\right]\Big|_{s=0} (i=0,1,2\cdots) \quad (9.1.2—42)$$

$$\text{iii)}\ Ci = \frac{d^i}{ds^i}\Phi_e(s)\Big|_{s=0} (i=0,1,2\cdots) \quad (9.1.2—43)$$

式(9.1.2—37)也适用于包含恒迟延环节的系统。

如果将 $\Phi_e(s)$分别用 $\Phi_e^*(s)$、$\Phi_{ef}(s)$和 $\Phi_{ef}^*(s)$代替，则按上列公式便可确定 $C_i{}^*$、C_{if}和 $C_{if}{}^*(i=0,1,2\cdots)$。

2.4 线性反馈系统的稳定性

2.4.1 稳定条件和稳定性判据分类

线性反馈控制系统稳定的充分与必要条件是，闭环传递函数的极点全为左极点，即闭环系统特征方程式的根全为左根。

所谓稳定性判据，系指判别特征方程式的根是否全为左根的方法。通常分为两大类：一类是代数判据，常用的有古尔维茨判据、劳斯判据等；另一类是频率稳定性判据，常用的有奈魁斯特判据、对数判据等。

2.4.2 古尔维茨(Hurwitz)判据

设系统的特征方程式为

$$a_o s^n + a_1 s^{n-1} + a_2 s^{n-2} + \cdots + a_{n-1} s + a_n = 0$$

按特征方程式的系数排列成古尔维茨行列式：

$$\Delta_1 = a_1, \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix}, \qquad \Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix}, \cdots\cdots$$

$$\cdots\cdots\Delta_n = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & \cdots & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & \cdots & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & \cdots & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & a_1 & \cdots & 0 \\ & \cdots & \cdots & \cdots & \\ 0 & 0 & 0 & & a_n \end{vmatrix} \qquad (9.1.2\text{—}44)$$

如果 $a_0>0$，各阶古尔维茨行列式 $\Delta_k(k=1,2\cdots n)$ 全部为正，则上列特征方程式的根全为左根，系统是稳定的。否则将有非左根存在，系统是不稳定的。

进一步简化：$a_0>0$ 和 $\Delta_k(k=1,2\cdots n)>0$ 可分为两个条件：

1)特征方程式的系数全为正值，即

$$a_0>0,\quad a_1>0,\quad a_2>0\quad \cdots a_{n-1}>0,\quad a_n>0。$$

2)$\Delta_k(k=1,2\cdots n)>0$ 只需满足下列一半，即

$$\Delta_{n-1}>0, \Delta_{n-3}>0, \Delta_{n-5}>0, \cdots。$$

2.4.3 劳斯(Routh)判据

设系统的特征方程式为：

$$a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + a_2 s^{n-2} + \cdots + a_{n-1} s + a_n = 0$$

把特征方程式的系数按下列方式排列：

$$\begin{matrix} a_0 & a_2 & a_4 & a_6\cdots \\ & \downarrow & & \\ a_1 & a_3 & a_5 & a_7\cdots \end{matrix}$$

根据以上两行系数进行计算，排列成劳斯计算表：

$$\begin{array}{c|ccccc} s^n & a_0 & a_2 & a_4 & a_6 & \cdots \\ s^{n-1} & a_1 & a_3 & a_5 & a_7 & \cdots \\ s_{n-2} & b_1 & b_2 & b_3 & b_4 & \cdots \\ s^{n-3} & c_1 & c_2 & c_3 & \cdots & \cdots \\ s^{n-4} & d_1 & d_2 & d_3 & \cdots & \cdots \\ & e_1 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ s^1 & u_1 & & & & \\ s^0 & v_1 & & & & \end{array} \qquad (9.1.2\text{—}45)$$

其中：

$$b_1 = \frac{-\begin{vmatrix} a_0 & a_2 \\ a_1 & a_3 \end{vmatrix}}{a_1}, \quad b_2 = \frac{-\begin{vmatrix} a_0 & a_4 \\ a_1 & a_5 \end{vmatrix}}{a_1}, \quad b_3 = \frac{-\begin{vmatrix} a_0 & a_6 \\ a_1 & a_7 \end{vmatrix}}{a}, \cdots$$

$$c_1=\frac{-\begin{vmatrix}a_1 & a_3\\ b_1 & b_2\end{vmatrix}}{b_1},\quad c_2=\frac{-\begin{vmatrix}a_1 & a_5\\ b_1 & b_3\end{vmatrix}}{b_1},\quad c_3=\frac{-\begin{vmatrix}a_1 & a_7\\ b_1 & b_4\end{vmatrix}}{b_1},\cdots$$

$$d_1=\frac{-\begin{vmatrix}b_1 & b_2\\ c_1 & c_2\end{vmatrix}}{c_1},\quad d_2=\frac{-\begin{vmatrix}b_1 & b_3\\ c_1 & c_3\end{vmatrix}}{c_1},\cdots\cdots;V_1=a_0$$

如果劳斯计算表中第一列元素 $a_0,a_1,b_1,c_1,\cdots,v_1$ 全为正，则特征方程式的根全为左根，系统是稳定的。反之，如果第一列元素中出现负值，则特征方程式中存在右根，系统是不稳定的，而且第一列元素"＋"、"－"号改变的次数等于右根数。如果第一列元素中出现零，则特征方程式中存在非左根，系统也是不稳定的。

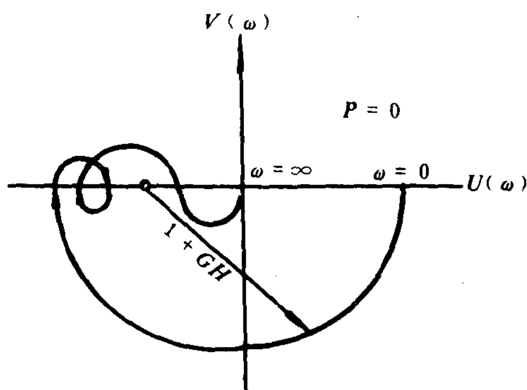


图 9.1.2—12　奈魁斯特图

2.4.4　奈魁斯特(Nyguist)判据

奈魁斯特判据的特点是，根据开环系统的频率特性来判别闭环系统的稳定性。

设一反馈控制系统的开环传递函数为：

$$G(s)H(s)=\frac{b_0s^m+b_1s^{m-1}+\cdots+b_{m-1}s+b_m}{a_0s^n+a_1s^{n-1}+\cdots+a_{n-1}s+a_n}=\frac{M_p(s)}{D_p(s)}\quad(m\leqslant n)$$

则闭环特征方程式为 $D(s)=D_p(s)+M_p(s)=0$。由此 $1+G(s)H(s)=D(s)/D_p(s)$，$D(s)$ 和 $D_p(s)$ 的阶次均为 n。设开环特征方程式具有 p 个右根，闭环特征方程式具有 z 个右根，则按幅角原理可得$[1+G(j\omega)H(j\omega)]$的幅角变化量为：

$$\underset{0\leqslant\omega\leqslant\infty}{\Delta\arg}[1+G(j\omega)H(j\omega)]=\underset{0\leqslant\omega\leqslant\infty}{\Delta\arg}D(j\omega)-\underset{0\leqslant\omega\leqslant\infty}{\Delta\arg}Dp(j\omega)$$

$$=(n-2z)\frac{\pi}{2}-(n-2p)\frac{\pi}{2}=\frac{p-z}{2}2\pi\qquad(9.1.2\text{—}46)$$

若闭环系统是稳定的，即 $z=0$，则上式为

$$\underset{0\leqslant\omega\leqslant\infty}{\Delta\arg}[1+G(j\omega)H(j\omega)]=\frac{p}{2}2\pi\qquad(9.1.2\text{—}47)$$

矢量$[1+G(j\omega)H(j\omega)]$的原点是开环频率特性 $G(j\omega)H(j\omega)$ 的$(-1,j0)$点，如图 9.1.2—12 所示。因此，奈魁斯特判据可以表述如下：

当 ω 从 0 变到∞时，开环幅相频率特性围绕$(-1,j0)$点以逆时针方向转动 N 周，若 $N=\frac{p}{2}$，则闭环系统稳定；若 $N\neq\frac{p}{2}$，则闭环系统不稳定，其右根数 z 可由 $N=\frac{p-z}{2}$ 求出。

当 $G(j\omega)H(j\omega)$ 穿过$(-1,j0)$点以左的实轴上有若干个交点时，用穿越的概念更为方便。$G(j\omega)H(j\omega)$ 穿过$(-1,j0)$点以左的实轴称为穿越，若曲线由上向下穿过时，即随 ω 增大相角 $\varphi(\omega)=G(j\omega)H(j\omega)$ 增大时，称为正穿越，反之称为负穿越。穿过一次计为 1，若曲线始于或止于$(-1,j0)$点以左的实轴，则穿越数计为$\frac{1}{2}$。由此可得：

当 ω 从 0 变到∞时，开环幅相频率特性在$(-1,j0)$点以左实轴上正负穿越数之差为 N，若 $N=p/2$，则闭环系统稳定；若 $N\neq p/2$，则闭环系统不稳定，其右根数 z 可由 $N=(p-z)/2$ 求

出。

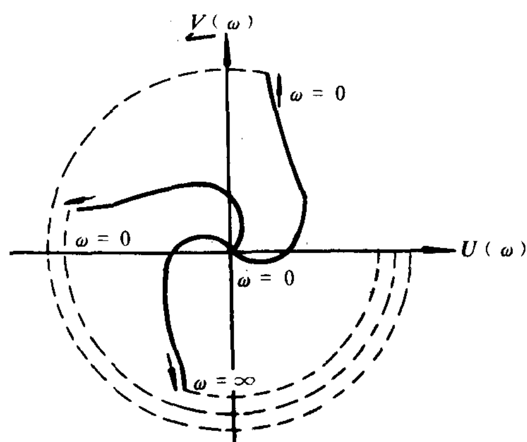


图 9.1.2—13 系统开环幅相频系特性图

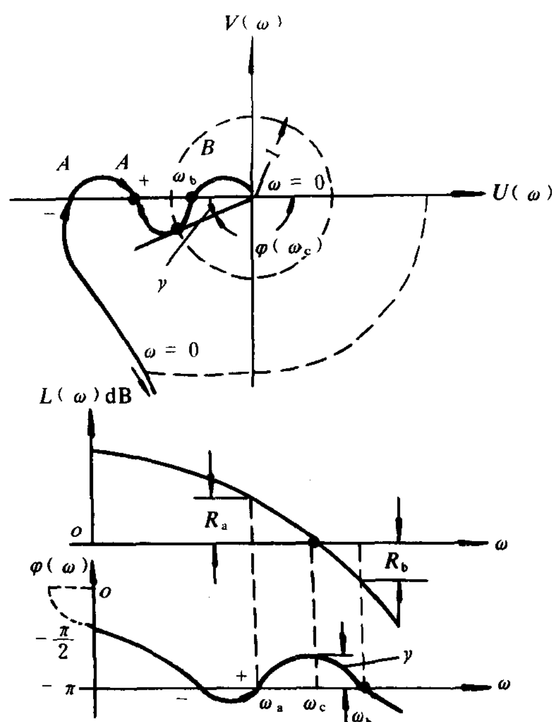


图 9.1.2—14 奈魁斯特图和伯德图

当开环系统的特征方程式具有零根时，亦即开环传递函数具有积分环节，这时，其开环幅相频率特性如图 9.1.2—13 所示(实线部分)其中 υ 是积分环节的数目。通常，把开环系统的每个零根作为左根处理，即在 s 平面上应为虚轴在原点附近部分是一个圆弧：$j\omega=\rho e^{j\theta}$，$\rho\to o$，$\theta=o\to\frac{\pi}{2}$。这时，其相应的积分环节的幅相频率特性在 $\omega\to o$ 处具有 $1/\text{pej}\theta$ 部分，对应于 υ=1，2，3 如图 9.1.2—13 中虚线部分所示。

对于开环传递函数中含有恒迟延环节的恒迟延系统，奈魁斯特判据同样是适用的。

2.4.5 对数判据

对数判据系指利用开环对数频率特性(伯德图)来判别闭环系统稳定性的判据。

开环对数频率特性 L(ω)、φ(ω)与开环幅相频率特性 G(jω)H(jω)存在下列关系：

$$L(\omega) = 20\lg|G(j\omega)H(j\omega)|$$

$$\varphi(\omega) = \underline{/G(j\omega)H(j\omega)}$$

其相应的奈魁斯特图和伯德图如图 9.1.2—14 所示。

由图上可知：〔GH〕平面上的单位圆与 L(ω)的 0dB 线相对应；〔GH〕平面上的负实轴(其相角为 −π)与 φ(ω)的 −π 线(即 −180°)相对应。〔GH〕平面上单位圆以外的负实轴即(−1，j0)点以左的实轴对应于 L(ω)>0 的频段上 φ(ω)的 −π 线。〔GH〕平面上 G(jω)H(jω)曲线穿过(−1，j0)点以左实轴上的正、负穿越对应于 L(ω)>0 频段上的 ψ(ω)曲线穿过 −π 线的正、负穿越。按正、负穿越的定义，即随 ω 增大 φ(ω)增大者称为正穿越，反之称为负穿越，φ(ω)穿过(−π)线，从下往上为正穿越，从上往下为负穿越。对于开环具有积分环节的系统，相应于〔GH〕平面上的虚线部分在伯德图上亦以虚线作业。对数判据表述如下：

设开环特征方程式具有 p 个右根，在开环对数幅频特性 L(ω)>0 的所有频段上，开环对数相频特性 φ(ω)在(−π)线上的正、负穿越数之差为 N，若 N=p/2，则闭环系统稳定；若 N≠p/2，则闭环系统不稳定，其右根数 z 可由 N=(p−z)/2 求出。

对数判据同样适用于恒迟延系统。

2.4.6 稳定性贮量

稳定性贮量也称稳定性裕量或稳定性余量，常用相角贮量和幅值贮量来表示。

在图 9.1.2—14 上，开环幅相频率特性与单位圆的交点（交点频率 ω_c）：$H(\omega_c)=1$，$\varphi(\omega_c)=-180°+\gamma$。我们把 γ 称为相角贮量，它的计算起始轴是负实轴，逆时针方向为正，顺时针方向为负。相角贮量的数学表示式为

$$\gamma = 180° + \varphi(\omega_c) \tag{9.1.2—48}$$

开环幅相频率特性与负实轴在（−1，j0）点两边的交点 A（交点频率 ω_a）和 B（交点频率 ω_b）的幅值为 $H(\omega_a)$ 和 $H(\omega_b)$。如果开环放大系数变化 β_a 或 β_b 倍，分别使 A 点或 B 点趋于（−1，j0）点，即 $H(\omega_a).\beta_a=1$ 或 $H(\omega_b).\beta_b=1$，系统将由稳定趋于不稳定。我们把 β_a 和 β_b 称为幅值贮量，它是开环幅相频率特性从左边和右边最靠近（−1，j0）点的与负实轴相交点的幅值的倒数，即

$$\beta_i = 1/H(\omega_i) \tag{9.1.2—49}$$

式中 ω_i 满足 $\varphi(\omega_i)=-\pi$。图 9.1.2—14 中 $\beta_a=1/H(\omega_a)$，$\beta_b=1/H(\omega_b)$，$\beta_a<1<\beta_b$。

在对数频率特性图上，$L(\omega)$ 穿过 0dB 线的频率 ω_c 称为剪切频率或幅穿频率，在该点 $\varphi(\omega)$ 距 $-\pi$ 线的角度即为相角贮量 γ。它以 $-\pi$ 线为计算起始线，向上为正，向下为负。

幅值贮量反映到对数频率特性图上以 dB 表示：

$$Ri(dB) = 20\lg\beta_i = -L(\omega i) \tag{9.1.2—50}$$

式中 ωi 是 $\varphi(\omega)$ 从左边和右边最靠近 ω_c 的与 $-\pi$ 线相交点的频率，它满足 $\psi(\omega i)=-\pi$。

2.5 线性反馈控制系统过渡过程品质分析

线性反馈控制系统过渡过程品质指标的分析，最常用的是根轨迹法和频率法。其中频率法详见本章第 3 节随动控制。

2.5.1 二阶系统过渡过程品质指标的分析

设二阶系统的闭环传递函数为

$$\Phi(s) = \frac{K_\Phi}{T^2S^2 + 2\zeta TS + 1} = \frac{K_\Phi\omega_n^2}{S^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (0<\zeta<1) \tag{9.1.2—51}$$

上式是振荡环节的数学模型，其极点是共轭复数：

$$\lambda_{1,2} = \frac{-\zeta \pm j\sqrt{1-\zeta^2}}{T} = -\zeta\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2} \tag{9.1.2—52}$$

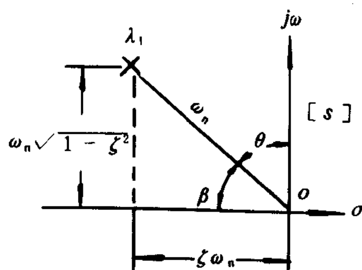


图 9.1.2—15 二阶系统单位阶跃响应

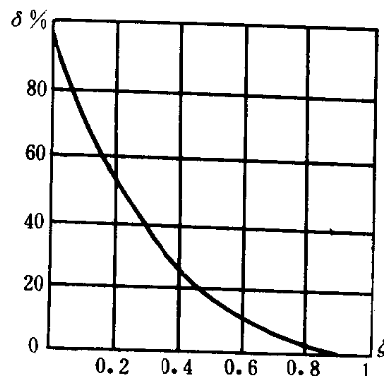


图 9.1.2 16 σ% ζ曲线

其单位阶跃响应 $y(t)$ 为

$$y(t)=K_{\Phi}[1-\frac{e-\zeta\omega_n t}{\sqrt{1-\zeta^2}}\sin(\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}t+tg\frac{-1\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta})]$$

(9.1.2—53)

式中 $tg^{-1}(\sqrt{1-\zeta^2})/\zeta=\beta$，如图 9.1.2—15 所示。

由式(9.1.2—53)及表 9.1.2—12 上过渡过程品质指标的定义，可求得二阶系统过渡过程品质指标与传递函数极点间关系的表示式，如表 9.1.2—12 所示。

表 9.1.2—12 **二阶系统过渡过程品质指标表示式**

名　称	符号	数学表示式	说　明
过渡过程时间	τ_o	$\tau o\approx\frac{3}{\zeta\omega_n}$ (5%) $\tau_0=\frac{4}{\zeta\omega_n}$ (2%)	由式(9.1.2—63)得 $\frac{e^{-\zeta\omega_n\tau_o}}{\sqrt{1-\zeta^2}}=\frac{5}{100}$ 或 $\frac{2}{100}$，由此 $\tau_o=\frac{3}{\zeta\omega_n}+\frac{-\ln\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta\omega_n}\approx\frac{3}{\zeta\omega_n}$ $(0<\zeta<0.9)\tau_0=\frac{4}{\zeta\omega_n}+\frac{-k_n\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta\omega_n}\approx\frac{4}{\zeta\omega_n}(0<\zeta<0.9)$。可见 τ_0 与 $\zeta\omega_n$ 成反比
上升时间 超调量	τ_r $\sigma\%$	$\tau_r=\frac{\pi-\beta}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$ $\sigma\%=e^{-\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\pi}.100\%=e^{-\pi ctg\beta}.100\%$	由 $y(t)=0$ 可得 $\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}\tau_r+\beta=\pi$。可见 ω_n 增大，ζ 减小会使 τ_r 减小。由 $\frac{dy(t)}{dt}=0$ 可得峰值时间 $t_{p1}=\frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$，$y_m=y(t_{p1})$。$\sigma\%$ 随 ζ 增大而减小。
最大偏差	A	$A=K_{\Phi}(1+e^{-\pi ctg\beta})$ $A\%=K_{\Phi}(\frac{1+e^{-\pi ctg\beta}}{yo})100\%$	$A=K_{\Phi}(1+\sigma\%)y_0$ 是被控量的额定值
衰减比	N	$N=e^{\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}2\pi}=e^{2\pi ctg\beta}$	由 $\frac{dy(t)}{dt}=0$ 可得 $t_{p2}=\frac{3\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$，$y_2(t_{p2})$。由此 $N=\frac{y(t_{p1})-y(\infty)}{y(t_{p2})-y(\infty)}$。N 随 ζ 增大而增大
衰减度	ψ	$\psi=1-e^{-\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}2\pi}=1-e^{-2\pi tg\beta}$	$\psi=1-\frac{1}{N}$
振荡次数	μ	$\mu=\frac{1.5}{\pi}tg\beta$ (5%) $\mu=\frac{2}{\pi}tg\beta$ (2%)	振荡周期 $T_p=t_{p2}-t_{p1}=\frac{2\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$，由此，$\mu=\frac{\tau_0}{T_p}$。$\mu$ 随 ζ 的增大而减小

从上表可以看出 $\sigma\%$、N、ψ 和 μ 均只与 ζ 有关。图 9.1.2—16 上表示了 $\sigma\%$ 与 ζ 的关系曲线。

2.5.2 高阶系统过渡过程品质指标的分析

1）直接法

直接法就是直接作出阶跃响应曲线，然后从曲线上确定品质指标。

设闭环系统的传递函数，由式(9.1.2—16)有：

$$\Phi(s)=K_{\Phi}\frac{b_0s^m+b_1s^{m-1}+\cdots+b_{m-1}s+1}{a_0s^n+a_1s^{n-1}+\cdots+a_{n-1}s+1}=K_{\Phi^*}\frac{\prod_{i=1}^{m}(s-l_i)}{\prod_{i=1}^{n}(s-\lambda_i)}\quad(9.1.2—54)$$

$$K_{\Phi}=K_{\Phi^*}\frac{\prod_{i=1}^{m}(-l_i)}{\prod_{i=1}^{n}(-\lambda_i)}$$

当 λ_i 没有重根时，单位阶跃响应为

$$Y(s)=\Phi(s)\frac{1}{s}=K_{\Phi^*}\frac{\prod_{i=1}^{m}(s-l_i)}{\prod_{i=0}^{n}(s-\lambda_i)}=K_{\Phi}^*\sum_{k=0}^{n}\frac{A_k}{s-\lambda_k}$$

$$y(t)=k_{\Phi}^*\sum_{k=0}^{n}A_k e^{\lambda_k t} \tag{9.1.2—55}$$

式中

$$\lambda_0=0,\quad A_k=\frac{\prod_{i=1}^{m}(\lambda_k-l_i)}{\prod_{i=0}^{n}(\lambda_k-\lambda_i)}(i\neq k)$$

2)近似估算法

近似估算法是略去闭环传递函数的非主导零、极点后，按一些对系统的过渡过程起主导作用的主导零、极点的分布直接估算出超调量 $\sigma\%$ 和过渡过程时间 τ_0。

设闭环传递函数的主导极点中有一对共轭复数极点 λ_1 和 λ_2，其余均为实数极点，即 $\lambda_k=-\alpha_k(k=3,\cdots n)$；主导零点可以是实数或复数，或两者兼而有之。这种情况通常是较典型的。

设 $\lambda_{1,2}=-\alpha_1\pm j\omega_d$，$K_\Phi=1$，则由式(9.1.2—55)可得

$$y(t)=1+\sum_{k=3}^{n}B_k e^{-\alpha_k t}+A_\omega e^{-\alpha_1 t}\sin(\omega_d t+\sum_{i=1}^{m}\gamma_i-\sum_{i=0,3}^{n}\psi_i) \tag{9.1.2—56}$$

式中

$$B_k=(-1)^{b_k}K_{\Phi}^*\frac{\prod_{i=1}^{m}|\lambda_k-l_i|}{\prod_{i=0,}^{n}|\lambda_1-\lambda_i|}\quad(i\neq k)$$

$$A_\omega=K_{\Phi}^*\frac{1}{\omega_d}\frac{\prod_{i=1}^{m}|\lambda_1-li|}{\prod_{i=0,3}^{n}|\lambda_1-\lambda i|}$$

$$\upsilon_i=\underline{\lambda_i-l_i}$$

$$\psi_i=\underline{\lambda_1-\lambda_i}$$

b_k—$\lambda_k(k=3,\cdots n)$右边实轴上闭环实数零、极点之和

(1)估算超调量 $\sigma\%$

先在式(9.1.2—56)中略去右方第二项，导出峰值时间 t_p 和超调量 $\sigma1\%$；然后将 t_p 代入右方第二项得超调量的修正量 $\Delta\sigma\%$；最后可得超调量的估算值 $\sigma\%=\sigma_1\%+\Delta\sigma\%$。

由式(9.1.2—56)略去右方第二项后，令 $\frac{dy(t)}{dt}=0$ 可得

$$t_p=\frac{1}{\omega_d}(\pi+\sum_{i=3}^{n}\psi_i-\sum_{i=1}^{m}\gamma_i) \tag{9.1.2—57}$$

由此可得

$$\sigma_1\%=[y(t_p)-1]=A_\omega\frac{\omega_d}{\omega_n}e^{-\alpha_1 t_p}.100\%$$

$$\Delta\sigma\%=\sum_{k=3}^{n}B_k e^{-\alpha_k t_p}.100\%$$

$$\sigma\% = (A_\omega \frac{\omega_d}{\omega_n} e^{-\alpha_1 t_p} + \sum_{k=3}^{n} B_k e^{-\alpha_k t_p}) . 100\% \qquad (9.1.2—58)$$

若所得 $\sigma\%>0$，则表明 $y(t)$ 是振荡过程，否则是非振荡过程。

(2)估算过渡过程时间 τ_o。

①若 $\sigma\%>0$，闭环共轭复数极点距虚轴最近，则以指数 $A_\omega e^{-\alpha_1 t}$ 衰减到 5% 表示过渡过程时间：

$$\tau_o = (3 + l_n A_\omega)/\alpha_1 \qquad (9.1.2—59)$$

如果闭环共轭复数极点和坐标原点之间的实轴上还存在其它闭环实数极点，但它们几乎被邻近的闭环零点所补偿时，式(9.1.2—59)仍然有效。

②若 $\sigma\%\leqslant 0$，闭环实数极点距虚轴最近，且附近无闭环实数零点，则同理可得

$$\tau_o = (3 + l_n |B_s|)\alpha_s \qquad (9.1.2—60)$$

式中 α_s 是距虚轴最近的闭环实数极点的模值，$|B_s|$ 是与该极点对应的输出分量的幅值。

2.5.3 根轨迹法

根轨迹法是一种确定闭环特征方程式根的分布的图解方法。对于每一个开环放大系统 K 值，可直接由根轨迹图确定闭环传递函数的极点，这些极点决定系统的瞬态性能，使设计者可根据要求的瞬态性能方便地选择。

2.5.3.1 根轨迹方程式　设一反馈控制系统的开环传递函数为

$$G(s)H(s) = \frac{M_p(s)}{D_p(s)} = K^* \frac{\prod_{i=1}^{m}(s - z_i)}{\prod_{i=1}^{n}(s - p_i)}$$

式中 z_i 是开环零点，p_i 是开环极点，它们可以发布在 s 平面的任何点上。从静差考虑 p_i 可以有零值，而 z_i 不具有零值。K^* 称为开环根轨迹增益，它和开环放大系数 K 具有下列关系：

$$K = K^* \frac{\prod_{i}^{m}(-z_i)}{\prod_{i}^{n}(-p_i)} \qquad (9.1.2—61)$$

式中 p_i 是去除零值极点后的非零值极点。

由闭环特征方程式 $D(s)=D_p(s)+M_p(s)=0$ 可得根轨迹方程式为

$$G(s)H(s) = K^* \frac{\prod_{i=1}^{m}(s - z_i)}{\prod_{i=1}^{n}(s - p_i)} = -1 \qquad (9.1.2—62)$$

满足上列方程式的 s 值，就是闭环特征方程式的根。根据式(9.1.2—62)等号两边的幅值和幅角应分别相等，根轨迹方程式可分解为两个方程式，即

$$\text{幅值条件}\ |G(s)H(s)| = K^* \frac{\prod_{i=1}^{m}|s - z_i|}{\prod_{i=1}^{n}|s - p_i|} = 1 \qquad (9.1.2—63)$$

$$\text{幅角条件}\ \underline{/G(s)H(s)} = \sum_{i=1}^{m} \underline{/s - z_i} - \sum_{i=1}^{n} \underline{/s - p_i} = (2k + 1)\pi(k = 0, \pm 1, \pm 2, \cdots)$$

(9.1.2—64)

在 s 平面上满足幅相角条件式(9.1.2—64)的点所形成的曲线就是根轨迹。在根轨迹上，对应于各 s 值按幅值条件式(9.1.2—63)可确定各 K^* 值；对应 K^* 值的 s 值便是在该 K^* 值下闭环特征方程式的根(闭环极点)。

2.5.3.2 根轨迹作图的基本法则

1)根轨迹的起点和终点

根轨迹的起点和终点分别指 $K^*=0$ 和 $K^*\to\infty$ 的根轨迹点。根轨迹的起点是开环传递函数的极点;根轨迹的终点是开环传递函数的零点。当 $n>m$ 时,则有 $n-m$ 个无限零点(即零点 $=\infty$)。

2)根轨迹的分支数和对实轴的对称性

根轨迹的分支数等于闭环特征方程式的阶次数。闭环特征方程式的根如果是复数则必定为共轭的,因此根轨迹对称于实轴。

3)实轴上的根轨迹

实轴上的根轨迹由位于实轴上的开环极点和零点来确定。开环复数零、极点对构成实轴上的根轨迹没有任何影响。按式(9.1.2—64)实轴上的根轨迹是这些线段:在它右边的开环实数零、极点个数之和为奇数。

4)根轨迹的分离点(会合点)和分离角(会合角)

N 条根轨迹分支在 s 平面上某一点相遇,然后又立即分开的点称为根轨迹的分离点。由于根轨迹的对称性,故分离点位于实轴上或成对地出现在复平面上。常见的分离点位于实轴上,并把根轨迹离开实轴而进入复数区域的那个点称为实轴上的分离点,根轨迹从复数区域进入实轴的那个点称为实轴上的会合点。在分离点(会合点)上,闭环特征方程式具有重根。

求分离点(会合点)的公式如下:

(1)

$$\frac{dk^*}{ds}=0 \quad 或 \quad \frac{dk}{ds}=0 \tag{9.1.2—65}$$

上式按 $D(s)=A(s)+K^*B(s)=0$ 具有重根的条件求出。当具有重根时,必须满足 $D(s)=0$ 和 $\frac{dD(s)}{ds}=0$。当按式(9.1.2—65)求得的 s 值是实数时,表示分离点(会合点)位于实轴上,当 s 值是复数时,则必定共轭,表示分离点在复数区域。

(2)

$$\sum_{i=1}^{m}\frac{1}{d-z}=\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{d-p_i} \tag{9.1.2—66}$$

上式按相角条件式(9.1.2—64)推导而得,其中 d 是分离点的值,可以是实数,也可以是复数。

N 条根轨迹分支进入和离开分离点(会合点)的分离角(会合角)θ 是指 N 条根轨迹分支在分离点(会合点)进入和离开本身之间或相互之间的夹角。分离角可按下列公式求出:

$$\theta=\frac{180^\circ}{N} \tag{9.1.2—67}$$

如 $N=2$,则分离角(会合角)必为直角,即 $\theta=90^\circ$。

5)根轨迹的渐近线

如果开环传递函数具有 n 个极点,m 个零点,则只有 m 条根轨迹分支终止于有限零点上,其余 $n-m$ 条分支则趋于无限远处,终止于无限零点上。当根轨迹趋向无限远时,由各极点和零点指向根轨迹上无限远点的矢量,其相角可以认为是相等的,这时,一个开环零点和一个开环极点的作用互相抵消。因此,当 s 值很大时,根轨迹趋近于某一直线,此直线即为根轨迹的渐近线。渐近线只有 $n-m$ 条,显然它也对称于实轴。

设渐近线与实轴的交点记为 σ_k,与实轴的交角记为 θ_k,则 σ_k 和 θ_k 可用下列公式确定:

$$\sigma_k = \frac{\sum_{i=1}^{n} p_i - \sum_{i=1}^{m} z_i}{n - m} \qquad (9.1.2—68)$$

$$\theta_k = \frac{(2k+1)\pi}{n-m}(k = 0, \pm 1, \pm 2, \cdots) \qquad (9.1.2—69)$$

上列两式可由根轨迹方程式在 $s \to \infty$ 时确定的直线方程式(即渐近线方程式)求得。

6)根轨迹与虚轴的交点

根轨迹与虚轴的交点,可令闭环特征方程式 $D(s)=0$ 中的 $s=j\omega$ 来求取。这时 $D(j\omega)=x(\omega)+jy(\omega)=0$,由此可得 $x(\omega)=0$ 和 $y(\omega)=0$。由 $y(\omega)=0$ 可求得 ω_k,由 $x(\omega)=0$ 并将 ω_k 代入可求得 K_k^*。此 ω_k 即是根轨迹与虚轴的交点,K_k^* 则是临界开环根轨迹增益。

7)根轨迹的出射角和入射角

根轨迹离开复数极点的切线与实轴间的夹角称为出射角,也称为起始角;根轨迹进入复数零点的切线的实轴间的夹角称为入射角,也称为终止角。

设无限接近某一复数极点 p_j(或复数零点 z_j)的 s 点是根轨迹上的点 p_j(或 z_j)到 s 点的矢量的相角便是出射角 θ_{xj}(或入射角 ψ_{xj})。其它零、极点到该 s 点的矢量的相角就是其它零、极点到 p_j(或 z_j)的矢量的相角。由此,按幅值条件式(9.1.2—64)可得

$$\theta_{xj} = (2k+1)\pi + \sum_{i=1}^{m} \psi_i - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{n} \theta_i \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \cdots) \qquad (9.1.2—70)$$

$$\psi_{xj} = (2k+1)\pi + \sum_{i=1}^{n} \theta_i - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{m} \psi_i \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \cdots) \qquad (9.1.2—71)$$

式中:ψ_i——零点到 p_j(或 z_j)的矢量的相角;

θ_i——极点到 p_j(或 z_j)的矢量的相角。

8)根之和与根之积

设闭环特征方程式的第一项系数为 1,则其各根之和(即根轨迹上各分支的对应点之和)的负值等于闭环特征方程式的第二项系数;当 $n-m \geqslant 2$ 时,则根之和与 k^* 无关,亦即根轨迹有两条以上分支趋向无限零点时,某些向左,则必有另一些向右。闭环特征方程式各根之积乘以 $(-1)^n$ 等于闭环特征方程式的常数项;当开环传递函数包含积分环节时,则根之积与 K^* 成正比。

2.6 线性反馈控制系统的校正

2.6.1 校正的基本概念

对于一个未被校正的系统(称为系统的原有部分),如果它的性能指标不能达到给定的要求,即使改变开环放大系数等参数也不能满足给定的全部性能指标,这时必须在系统中引入一些装置,使系统的特性发生变化,从而使系统满足给定的全部性能指标,这便是所谓校正。所引入的装置称为校正装置。

目前工程实践中常用的校正方法主要有根轨迹法校正,频率法校正和复合控制校正。后两者详见本篇本章第 3 节随动控制。

校正方式主要有串联校正,反馈校正和前馈校正。后者主要用于复合控制校正法中。

在线性系统设计中,通常采用综合法和分析法。

综合法又称希望特性法。它是根据性能指标的要求,先作出开环系统的希望特性,然后将

希望特性与原有部分的特性相比较，以确定校正的方式和校正装置的参数。

分析法又称试探法。它首先根据经验确定校正的方式，选择一种校正装置，然后根据性能指标的要求和原有部分的特性，确定校正装置的参数。而设计结果是否满足性能指标的要求，必须验算。如果不满足给定的全部性能指标，则应改变校正装置的参数，或选用另一种校正装置，甚至改变校正方式，直到校正后系统满足给定的全部性能指标为止。这种方法的实践性强，在设计中经常采用。

2.6.2 根轨迹法校正

2.6.2.1 根轨迹法校正的一般步骤

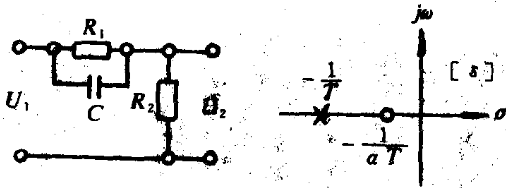


图 9.1.2—17 无源微分校正电路

1)根据给定的静态和动态性能指标，确定希望闭环主导极点的位置和开环放大系数的希望值，并留有余量。

2)绘制未校系统的根轨迹图。

3)动态性能校正。若希望的闭环主导极点的位置不在原来系统的根轨迹上。那末，仅改变开环根轨迹增益不能使系统的动态性能达到动态指标的要求。这时，校正的任务是选择适当的校正装置及其参数，改造根轨迹，使校正后系统的根轨迹通过希望闭环主导极点的位置，从而使系统满足动态指标的要求。

4)静态性能的校正。若根轨迹曲线已通过希望闭环主导极点的位置，但相应的开环增益太小，系统不能满足静态指标的要求。这时，校正的任务是选择合适的校正装置及其参数，以提高开环增益，同时保持根轨迹曲线通过希望闭环主导极点的位置，使系统的静态和动态性能都能达到给定指标的要求。

5)验算校正后系统的静态和动态性能指标，看其是否满足给定的要求。若不满足，则改变希望闭环主导极点的位置，重复上述步骤，直到满足给定的指标为止。

6)根据 3)、4)两步骤所得的结果，设计校正装置。

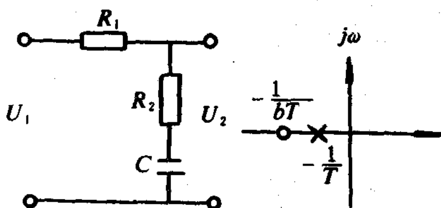


图 9.1.2—18 无源积分校正电路

2.6.2.2 串联微分校正(串联超前校正)

一个系统的动态性能差，在时域里表现为超调量大、过渡过程时间长、衰减比小等，在 s 平面上，则表现为闭环主导极点的阻尼比 ζ 小，距虚轴近等。为使系统的动态性能达到给定的指标，必须使闭环主导极点左移到希望的位置，亦即使复数根轨迹曲线左移。通常可在开环系统中串联微分校正装置来实现上述要求。

串联微分校正装置通常采用有源和无源微分校正电路。无源微分校正电路如图 9.1.2—17 所示。其传递函数为

$$G_c(s)=\frac{\alpha TS+1}{\alpha(TS+1)}=\frac{S+\frac{1}{\alpha T}}{s+\frac{1}{T}} \qquad (9.1.2—72)$$

式中 $\alpha=1+R_1/R_2>1$，$T=R_1R_2C/(R_1+R_2)$。

$G_c(s)$的零、极点分布表示在图 9.1.2—17 上，其零点 $z_c=-1/\alpha T$ 在极点 $p_c=-1/T$ 的右边。因此，微分校正电路能使复数根轨迹左移，只要参数 α、T 选择合适，便能使校正后的根轨迹曲线通过希望的闭环主导极点。

2.6.2.3 串联积分校正(串联滞后校正)当系统的动态性能已符合给定指标的要求，静态性能不满足给定的指标，则采用串联积分校正。

串联积分校正装置通常采用有源和无源积分校正电路。无源积分校正电路如图9.1.2—18所示。其传递函数为

$$G_c(s) = \frac{bTS+1}{TS+1} = b\frac{S+\frac{1}{bT}}{S+\frac{1}{T}} \qquad (9.1.2—73)$$

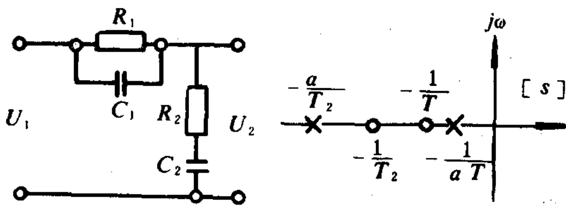


图 9.1.2—19 无源积分——微分校正电路

式中 $b=R_2/(R_1+R_2)<1, T=(R_1+R_2)C$。

G(s)的零、极点分布表示在图 9.1.2—18 上。其零点 $z_c=-1/bT$ 在极点 $P_c=-1/T$ 的左边。如果把 z_c 和 p_c 安排在原点附近，且彼此靠得很近，则它们对闭环主导极点的影响在幅值条件和相角条件中均互相抵消。因此，它们不影响闭环主导极点的位置和相应的开环根轨迹增益。按照下式，只要适当选择 z_c 和 p_c 便能显著改善静态性能：

$$K' = K\frac{(-z_c)}{(-p_c)} \qquad (9.1.2—74)$$

式中 K、K′分别表示校正前和校正后系统的开环放大系数。

2.6.2.4 串联积分—微分校正串联微分校正能显著地改善系统的动态性能，串联积分校正能显著地改善系统的静态性能。如果要求同时改善系统的动态和静态性能，则可采用串联积分—微分校正。

串联积分—微分校正装置通常采用有源和无源积分—微分校正电路。无源积分—微分校正电路如图 9.1.2—19 所示。其传递函数为

$$G_c(s) = \frac{(T_1S+1)(T_2S+1)}{(\alpha T_1S+1)(\frac{T_2}{\alpha}S+1)} = \frac{(S+\frac{1}{T_1})(S+\frac{1}{T_2})}{(S+\frac{1}{\alpha T_1})(S+\frac{\alpha}{T_2})} \qquad (9.1.2—75)$$

式中 $T_1=R_1C_1, T_2=R_2C_2, \alpha T_1+\frac{T_2}{\alpha}=T_1+T_2+R_1C_2, T_1>T_2, \alpha>1$。

$G_c(s)$的零、极点分布表示在图 9.1.2—19 上。离虚轴较远的一对零、极点 $z_d=-1/T_2$、$p_d=-\alpha/T_2$ 可用以进行串联微分校正；在原点附近的一对零、极点 $z_I=-1/T_1$、$p_I=-1/\alpha T_1$ 可用以进行串联积分校正。

进行串联积分—微分校正一般分两步进行。先作微分校正，使系统达到给定的动态性能指标，确定 z_d 和 p_d；然后进行积分校正，使系统达到给定的静态性能指标。进行微分校正和积分校正所使用的方法，原则上与前面所述的方法相同。在具体方法上当进行微分校正时，有时可令 z_d 等于未校正系统最靠近虚轴的极点，以使两者相抵消来降低校正后系统的阶次。进行积分校正时，除满足静态性能指标的要求外，尽可能满中 $z_I/p_I=p_d/z_d(=\alpha)$，以利于设计校正装置。否则，则须选用另一些形式的积分—微分校正电路。

2.6.2.5 反馈校正　反馈校正是指校正装置接在前向通路中某些环节的反馈回路(局部反馈回路)中的校正方式。被局部反馈回路包围的那些环节，通常是对系统的性能指标起重大不良

影响的一些环节。

反馈校正中常用的校正装置有测速发电机、无源电路等。

反馈校正的方法是，通过方框图变换将包含校正装置的局部反馈回路与主反馈回路合并，使系统变为一个等效的单回路系统，然后再按串联校正的方法进行校正。

3 随动控制系统

随动控制系统通常称为随动系统，它是反馈控制系统中的一种主要类型，它的输出量通常是机械位移、速度或加速度，它的给定值，取决于系统以外的某一进程或程序指令。

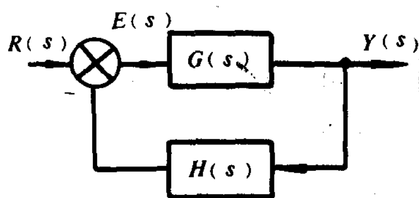


图 9.1.2—20 随动系统方框图

3.1 随动系统的静差和静、动态误差系数

随动系统的一般方框图如图 9.1.2—20 所示。

当 H(s)=1，通常称为位置随动系统。

3.1.1 系统的类型

系统的开环传递函数可写成下列形式

$$G(s)H(s) = \frac{K}{s^{\nu}}G_0(s)H_0(s) \tag{9.1.2—76}$$

式中 K 是开环放大系数，$1/s^{\nu}$ 表示开环系统具有 ν 个积分环节，$G_0(s)H_0(s)$是由一些除放大环节、积分环节外的其它基本环节组成，并且有$\lim\limits_{s\to o}G_0(s)H_0(s)=1$。

系统的类型以 ν 的值来划分：$\nu=0$ 称为 0 型系统；$\nu=1$ 称为 I 型系统；$\nu=2$ 称为 Ⅱ 型系统。当 $\nu>2$ 时，使系统稳定相当困难，因此 Ⅲ 型和 Ⅲ 型以上的系统极少。

3.1.2 静态误差系数和静差

由拉氏变换终值定理可得

$$e = \lim_{s\to o} s\Phi_e(s)R(s) = \lim_{s\to o}\frac{sR(s)}{1+G(s)H(s)} = \lim_{s\to o}\frac{s^{\nu+1}R(s)}{s^{\nu}+k} \tag{9.1.2—77}$$

由上式可见，系统的静差取决于系统的类型、开环放大系数和控制量的形式。为了说明各型系统在施加不同控制量时的静差，通常采用静态误差系数的概念。

当控制量分别为阶跃函数、斜坡函数和抛物线函数时，对应的系统静差分别称为位置静差 e_p、速度静差 e_v 和加速度静差 e_a。其相应的静态误差系数分别称为静态位置误差系数 K_p、静态速度误差系数 K_v 和静态加速度误差系数 K_a。它们的表示式分别为

$$K_p = \lim_{s\to o}G(s)H(s) = \lim_{s\to o}\frac{k}{s^{\nu}} \tag{9.1.2—78}$$

$$K_v = \lim_{s\to o}sG(s)H(s) = \lim_{s\to o}\frac{k}{s^{\nu-1}} \tag{9.1.2—79}$$

$$K_a = \lim_{s\to o}s^2G(s)H(s) = \lim_{s\to o}\frac{k}{s^{\nu-2}} \tag{9.1.2—80}$$

由式(9.1.2—77)—(9.1.2—80)可分别求得 e_p、e_v 和 e_a，如表 9.1.2—13 所示。

表 9.1.2—13 **静态误差系数和静差**

型 别	静态误差系数			$r(t)=r_0 1(t)$	$r(t)=k_1 t$	$r(t)=\frac{1}{2}r_2 t^2$
ν	K_p	K_v	K_a	$e_p=\frac{r_0}{1+K_p}$	$e_v=\frac{r_1}{K_v}$	$e_a=\frac{r_2}{K_a}$
0	K	0	0	$\frac{r_o}{1+k}$	∞	∞
Ⅰ	∞	k	0	0	$\frac{r_1}{k}$	∞
Ⅱ	∞	∞	k	0	0	$\frac{r_2}{k}$
Ⅲ	∞	∞	∞	0	0	0

由上表可见，要使系统能跟踪控制量(有静差跟踪)，则需选用 $\upsilon=i$ 型系统；如果要无静差跟踪，则需选用 $\gamma>i$ 型系统。这里 i 是控制量 r(t)的导数的最高阶数。

3.1.3 动态误差系数和静差

按式(9.1.2—40)随动系统的静差表示式为

$$e=C_0 r(t)+C_1 r^{(1)}(t)+\frac{C_2}{2}r^{(2)}(t)+\cdots+\frac{Ci}{i!}r^{(i)}(t)+\cdots$$

式中 $r^{(i)}(t)=d^i r(t)/dt^i$，C_0 称为动态位置误差系数，C_1 称为动态速度误差系数，C_2 称为动态加速度误差系数等。

动态误差系数 C_0、C_1、C_2…等可由开环系统的参数按表 9.1.2—14 得出。

设系统的开环传递函数写成下列形式：

$$G(s)H(s)=\frac{M_p(s)}{D_p(s)}=\frac{K(1+\beta_1 s+\beta_2 s^2+\cdots+\beta_m s^m)}{s^\gamma(1+\alpha_1 s+\alpha_2 s^2+\cdots+\alpha_n s^n)} \qquad (9.1.2—81)$$

式中 $m\leqslant\nu+n$。偏差传递函数为

$$\Phi_e(s)=\frac{1}{1+G(s)H(s)}=\frac{D_p(s)}{D_p(s)+M_p(s)}$$

将 $D_p(s)$和 $M_p(s)$代入上式后，即可求得动态误差系数与开环传递函数参数间的关系，如表 9.1.2—14 所示。

表 9.1.2—14 **动 态 误 差 系 数**

型 别	系 数	计 算 公 式
0	C_0	$\frac{1}{1+k}$
	C_1	$\frac{(\alpha_1-\beta_1)K}{(1+K)^2}$
	C_2	$2\frac{(\alpha_2-\beta_2)K}{(1+K)^2}+2\frac{\alpha_1(\beta_1-\alpha_1)K}{(1+K)^3}+2\frac{\beta_1(\beta_1-\alpha_1)k^2}{(1+K)^3}$
	C_3	$\frac{6K(\alpha_3-\beta_3)}{(1+K)^2}-\frac{6K[(2\alpha_1\alpha_2-2K\beta_1\beta_2+(K-1)(\alpha_2\beta_1-\alpha_1\beta_2)]}{(1+K)^3}+\frac{6K(\alpha_1-\beta_1)(\alpha_1+K\beta_1)^2}{(1+K)^4}$

续上表

型别	系数	计算公式
Ⅰ	C_0	0
	C_1	$\frac{1}{K}$
	C_2	$2\frac{\alpha_1-\beta_1}{K}-\frac{2}{K^2}$
	C_3	$\frac{6}{K^3}+12\frac{\beta_1-\alpha_1}{K^2}+6\frac{\alpha_2-\beta_2}{K}+6\frac{\beta_1(\beta_1-\alpha_1)}{K}$
Ⅱ	C_0	0
	C_1	0
	C_2	$\frac{2}{K}$
	C_3	$6\frac{\alpha_1-\beta_1}{K}$

3.2 系统的无差度和提高无差及阶数的方法

3.2.1 无差度的基本概念

设控制量是时间 t 的 i 次多项式：

$$r(t) = r_0 1(t) + r_1 t + \frac{r_2 t^2}{2!} + \frac{r_3 t^3}{3!} + \cdots + \frac{r_i t^i}{i!}$$

$$R(s) = \frac{r_0}{s} + \frac{r_1}{s^2} + \frac{r_2}{s^3} + \cdots + \frac{r_i}{s^{i+1}}$$

设偏差传递函数 $\Phi_e(s)$ 写成下列形式

$$\Phi_e(s) = \frac{d_0 + d_1 s + d_2 s^2 + \cdots}{1 + a_1 s + a_2 s^2 + a_3 s^3 + \cdots}$$

当 $\Phi_e(s)$ 包含 s^ν 个因式时，即 d_0、d_1，…$d_{\nu-1}$ 均为零时

$$\Phi_e(s)=s^\nu\Phi_{e0}(s)$$

式中 $\lim\limits_{s\to 0}\Phi_{e0}(s)=$ 常数。由此可得静差 e 为

$$e=\lim_{s\to 0}s^{\nu+1}\Phi_{e0}(s)\left(\frac{r_0}{s}+\frac{r_1}{s^2}+\cdots+\frac{r_i}{s^{i+1}}\right)$$

$\nu>i$ 时 $e=0$；当 $\nu=i$ 时 $e=r_i\Phi_{e0}(0)$；当 $\nu<i$ 时 $e=\infty$。由此可知，当控制量 r(t) 是 t 的 $\nu-1$ 次多项式时静差 e 为零。

无差度的概念是，广义地说，当系统的偏差传递函数 $\Phi_e(s)$ 包含因式 s^ν，也即 $\Phi_e(s)$ 在 $s=0$ 处有 ν 阶零点，或者说前面的 ν 个动态误差系数 c_0、c_1、…，$c_{\nu-1}$ 均为零时，则称该系统具有 ν 阶无差度。

3.2.2 提高无差度阶数的方法

1）引入积分环节法

$$\Phi_e(s) = \frac{1}{1+G(s)H(s)} = \frac{1}{1+\frac{k}{s^\nu}G_0(s)H_0(s)} = s^\nu\frac{1}{s^\nu + kG_0(s)H_0(s)} = s^\nu\Phi_{e0}(s)$$

由上式可见，在开环传递函数中引入 ν 个积分环节(即 ν 型系统)可使 $\Phi_e(s)$ 包含因式 s^ν，成为具有 ν 阶无差度的系统。

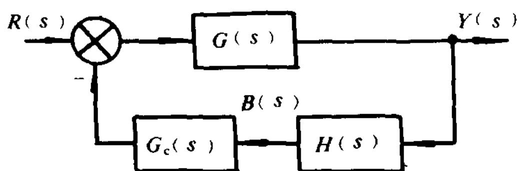


图 9.1.2—21 补偿法方框图

从稳定性考虑，积分环节的数目通常不超过两个。

2)补偿法

补偿法是在系统中引入补偿环节 $G_c(s)$ 来提高系统的无差度阶数的方法，如图 9.1.2—21 所示。它对系统的稳定性影响不大。

偏差传递函数为

$$\Phi_e(s)=\frac{E(s)}{R(s)}=\frac{1+G(s)H(s)G_c(s)-G(s)H(s)}{1+G(s)H(s)G_c(s)} \qquad (9.1.2-82)$$

设系统的开环传递函数 $G(s)H(s)$ 具有式(9.1.2—81)的形式。

当 $\nu=0$ 时是 o 型系统。设 $G_c(s)=K_c$，将使系统的无差度阶数由 0 提高到 1。把 $G(s)H(s)$ 和 $G_c(s)$ 代入式(9.1.2—82)可得

$$\Phi_e(s)=\frac{\frac{1+K(K_c-1)}{1+KK_c}+\frac{1}{1+KK_c}[\alpha_1+K(K_c-1)\beta_1]s+\frac{1}{1+KK_c}[\alpha_2+K(K_c-1)\beta_2]s^2+\cdots}{1+\frac{1}{1+KK_c}(\alpha_1+KK_c\beta_1)s+\frac{1}{1+KK_c}(\alpha_2+KK_c\beta_2)s^2+\cdots}$$

如果令 $\Phi_e(s)$ 分子的第一项为零，则 $C_0=0$。由此

$$K_c=1-\frac{1}{K}$$

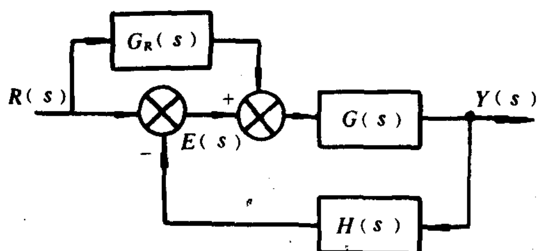


图 9.1.2—22 复合控制法方框图

同理，当 $\nu=1$ 时是 I 型系统。设 $G_c=\frac{1}{T_cs+1}$，则 $T_c=\frac{1}{K}$ 将使系统的无差度阶数由 1 提高到 2。

3)复合控制法

所谓复合控制是在反馈控制的基础上再加上按照控制量或扰动量的开环控制。后者通常称为前馈控制或顺馈控制，也称为开环补偿。用复合控制法提高系统无差度阶数的方法通常称为复合控制的静态补偿。

图 9.1.2—22 表示了按控制量补偿的复合控制系统的方框图，图中 $G(s)H(s)$ 是闭环部分的开环传递函数，GR(s)是前馈装置的传递函数。偏差传递函数为

$$\Phi_e(s)=\frac{E(s)}{R(s)}=\frac{1-G(s)H(s)G_R(s)}{1+G(s)H(s)} \qquad (9.1.2—83)$$

设 $G(s)H(s)$ 具有式(9.1.2—81)的形式。

当 $\nu=0$ 时是 o 型系统。设 $G_R(s)=K_R$，将使系统的无差度阶数由 0 提高到 1。把 $G(s)H(s)$ 和 $G_R(s)$ 代入式(9.1.2—83)可得

$$\Phi_e(s)=\frac{\frac{1-KK_R}{1+K}+\frac{1}{1+K}(\alpha_1-KK_R\beta_1)s+\frac{1}{1+K}(\alpha_2-KK_R\beta_2)s^2+\cdots}{1+\frac{1}{1+K}(\alpha_1+\beta_1)s+\frac{1}{1+K}(\alpha_2+\beta_2)s^2+\cdots}$$

如果令 $\Phi_e(s)$ 分子的第一项为零，则 $C_0=0$。由此

$$K_R=\frac{1}{K}$$

同理，当 $\nu=1$ 时是 I 型系统。设 $G_R(s)=\tau s$，则 $\tau=\frac{1}{K}$ 将使系统的无差度阶数由 1 提高到 2；设 $G_R(s)=\tau_1 s+\tau_2 s^2$，则 $\tau_1=\frac{1}{K}$ 和 $\tau_2=\frac{\alpha_1-\beta_1}{K}$ 将使系统的无差度阶数由 1 提高到 3。

从控制系统的稳定性来看，由于 $G_R(s)$ 没有极点，因此，引入前馈控制后，系统的特征方程式没有任何变化，从而它对控制系统的稳定性没有任何影响。

3.3 用频率法分析过渡过程品质

频率法的主要优点是频率特性可由实验方法求得。用频率法研究过渡过程通常有按闭环幅频特性 $A(\omega)$ 和按闭环实频特性 $p(\omega)$ 的两种主要研究方法。

3.3.1 过渡过程与闭环频率特性的关系

1）单位阶跃响应与闭环频率特性的关系式单位阶跃函数可写成下列形式

$$1(t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi}\int_0^{\infty} \frac{\sin\omega t}{\omega} d\omega$$

式中常数项 1/2 和正弦分量在 $-\infty \leqslant t \leqslant \infty$ 的整个区间均存在。

设闭环系统的频率特性 $\Phi(j\omega)$ 可写成下列形式

$$\Phi(j\omega) = p(\omega) + jQ(\omega) = A(\omega)e^{j\alpha(\omega)}$$

式中 $p(\omega)$、$Q(\omega)$、$A(\omega)$ 和 $\alpha(\omega)$ 分别为闭环实频、虚频、幅频和相频特性。

当系统的输入量为 1(t) 时，各个分量可视作在 $t=-\infty$ 时施加，相应于各输入分量的各输出分量在 $t>0$ 时便是稳态分量。根据频率特性的定义可得单位阶跃响应为

$$y(t) = \frac{A(0)}{2} + \frac{1}{\pi}\int_0^{\infty} \frac{A(\omega)}{\omega}\sin[\omega t + \alpha(\omega)]d\omega \tag{9.1.2—84}$$

或者 $$y(t) = \frac{2}{\pi}\int_0^{\infty} \frac{P(\omega)}{\omega}\sin\omega t d\omega \tag{9.1.2—85}$$

2）单位阶跃响应与 $A(\omega)$、$p(\omega)$ 间的一些简单关系

(1) $\lim\limits_{t\to\infty} y(t)=\lim\limits_{s\to 0} A(\omega)=\lim\limits_{s\to 0} p(\omega)$

(2) $\lim\limits_{t\to 0} y(t)=\lim\limits_{s\to\infty} A(\omega)=\lim\limits_{s\to\infty} p(\omega)$

(3) $A(\omega)$ 和 $p(\omega)$ 曲线在 ω_i 处趋于 $+\infty$，则相应的闭环传递函数具有虚数极点（$s=\pm j\omega$），相应的 $y(t)$ 为等幅振荡过程。如果 $A(\omega)$ 和 $p(\omega)$ 具有较大的峰值，表示系统的超调量和振荡次数较大，或衰减比和衰减度较小。因此 $A(\omega)$ 和 $p(\omega)$ 的中频部分的形状可用以评价过渡过程的品质指标。

(4) 相似定理

设 $y_1(t)$ 对应于 $A_1(\omega)$ 或 $p_1(\omega)$，$y_2(t)$ 对应于 $A_2(\omega)$ 或 $p_2(\omega)$。如果 $y_1(\frac{t}{n})=y_2(t)$，则有 $A_1(n\omega)=A_2(\omega)$ 或 $p_1(n\omega)=p_2(\omega)$。此结论表明，$A(\omega)$ 或 $p(\omega)$ 的频带愈宽，其相应的过渡过程时间愈短。

3.3.2 由开环频率特性求取闭环频率特性

闭环系统的频率特性 $A(\omega)$ 和 $p(\omega)$ 等可由专用图表按开环频率特性求得。

设单位反馈系统的开环和闭环频率特性分别表示为

$$G(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega) = H(\omega)e^{j\varphi(\omega)} \tag{9.1.2—86}$$

$$\Phi(j\omega)=\frac{G(j\omega)}{1+G(j\omega)}=p(\omega)+jQ(\omega)=A(\omega)e^{j\alpha(\omega)} \qquad (9.1.2—87)$$

由此可得

$$A(\omega)=\sqrt{\frac{U^2(\omega)+V^2(\omega)}{[1+U(\omega)]^2+V^2(\omega)}} \qquad (9.1.2—88)$$

$$p(\omega)=\frac{U(\omega)[1+U(\omega)]+V^2(\omega)}{[1+U(\omega)]^2+V^2(\omega)} \qquad (9.1.2—89)$$

为了在 G(jω)平面上利用专用图表求出对应的 A(ω)和 p(ω)，可令 A(ω)＝A＝常数和 p(ω)＝p＝常数分别代入式(9.1.2—88)和(9.1.2—89)，整理后可得

$$[U(\omega)+\frac{A^2}{A^2-1}]^2+V^2(\omega)=(\frac{A}{1-A^2})^2 \qquad (9.1.2—90)$$

$$[U(\omega)+\frac{1-2p}{2(1-p)}]^2+V^2(\omega)=[\frac{1}{2(1-p)}]^2 \qquad (9.1.2—91)$$

上列两式是 U(ω)和 V(ω)坐标系中以$[-A^2/(A^2-1),jo]$和$[-(1-2p)/2(1-p),jo]$为圆心，以$|A/(1-A^2)|$和$|1/2(1-p)|$为半径的圆簇方程式。给不同的 A 和 P 值，就可画出上述两种簇。对应于式(9.1.2—90)画出的簇，称为幅频图，如图 9.1.2—23 所示。对应于式(9.1.2—91)画出的簇，称为实频图，如图 9.1.2—24 所示。

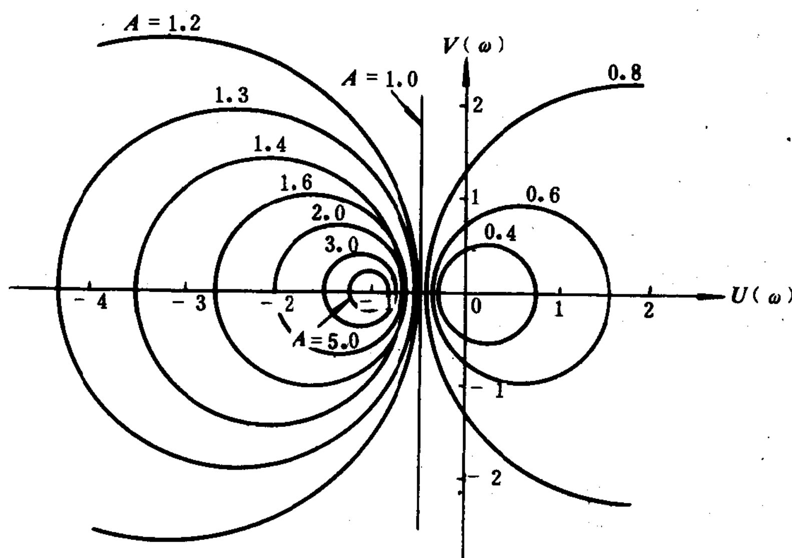


图 9.1.2—23 幅频图

图 9.1.2-24　实频圆图

根据已知的开环幅相频率特性 G(jω)，按幅频圆图或实频圆图求取幅频特性 A(ω) 或实频特性 p(ω) 的方法如下：

把 G(jω) 曲线用与圆图同样的比例尺画在透明纸上，然后叠在圆图上，G(jω) 曲线与圆图上各标值不同的圆的相交点即为 A_i、ω_i 或 p_i、ω_i。由此便可作出 A(ω)～ω 或 p(ω)～ω 的曲线。

当给出的是开环对数频率特性时，则 A(ω) 和 p(ω) 可分别按尼柯尔斯(Nichols)图和对数实频圆图求得。

由式(9.1.2—86)和(9.1.2—87)可得

$$\Phi(j\omega)=\frac{H(\omega)e^{j\varphi(\omega)}}{1+H(\omega)e^{j\varphi(\omega)}}=\frac{H(\omega)\cos\psi(\omega)+jH(\omega)\sin\varphi(\omega)}{1+H(\omega)\cos\varphi(\omega)+jH(\omega)\sin\varphi(\omega)}$$

$$=\frac{H^2(\omega)+H(\omega)\cos\varphi(\omega)}{H^2(\omega)+2H(\omega)\cos\varphi(\omega)+1}+j\frac{H(\omega)\sin\varphi(\omega)}{H^2(\omega)+2H(\omega)\cos\varphi(\omega)+1}$$

由此可得

$$A(\omega)=\frac{H(\omega)}{\sqrt{H^2(\omega)+2H(\omega)\cos\varphi(\omega)+1}} \qquad (9.1.2-92)$$

$$\alpha(\omega) = \mathrm{tg}^{-1}\frac{\sin\varphi(\omega)}{\cos\varphi(\omega) + H(\omega)} \qquad (9.1.2—93)$$

$$p(\omega) = \frac{H^2(\omega) + H(\omega)\cos\varphi(\omega)}{H^2(\omega) + 2H(\omega)\cos\phi(\omega) + 1} \qquad (9.1.2—94)$$

由式(9.1.2—92)和(9.1.2—93)可以在G(jω)的对数幅相平面上〔纵坐标L(ω)=20lgH(ω),横坐标φ(ω)〕画出以dB表示的等A曲线簇和以相角α表示的等α曲线簇,这两组曲线簇便组成了尼柯尔斯图,如图9.1.2—25所示。

由式(9.1.2—94)可以在G(jω)的对数幅相平面上画出等p曲线簇,称为对数实频圆图,如图9.1.2—26所示。

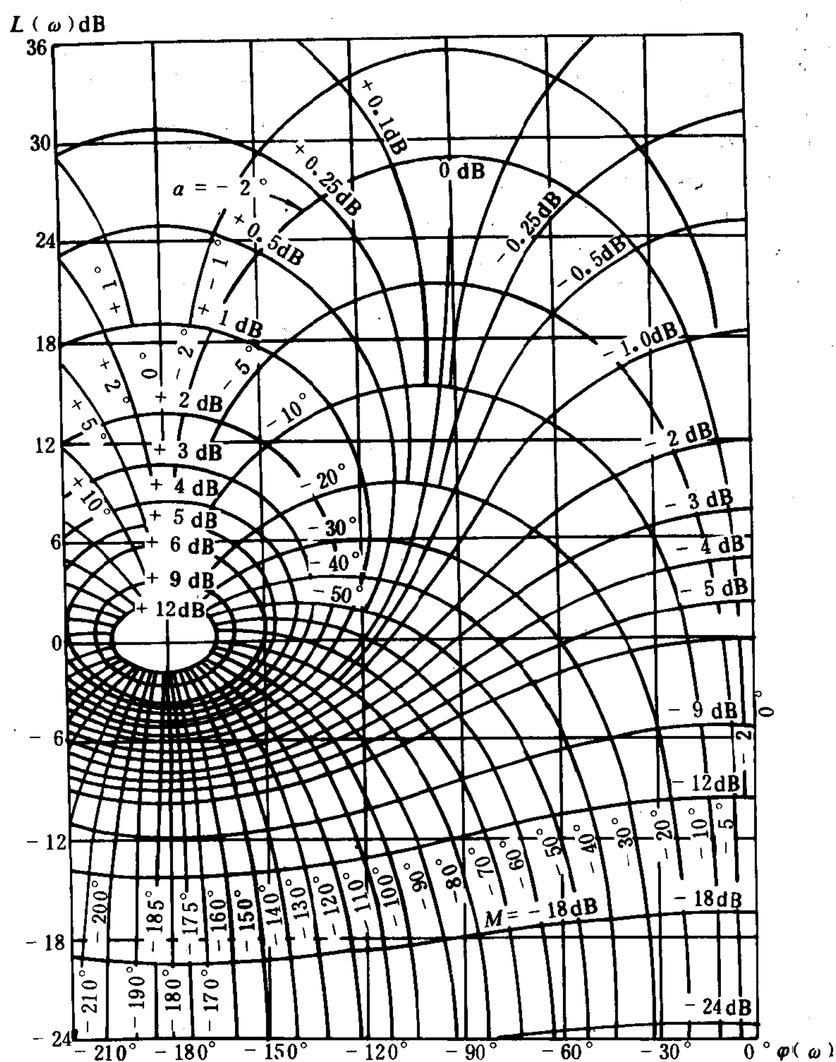


图9.1.2—25 尼柯尔斯图

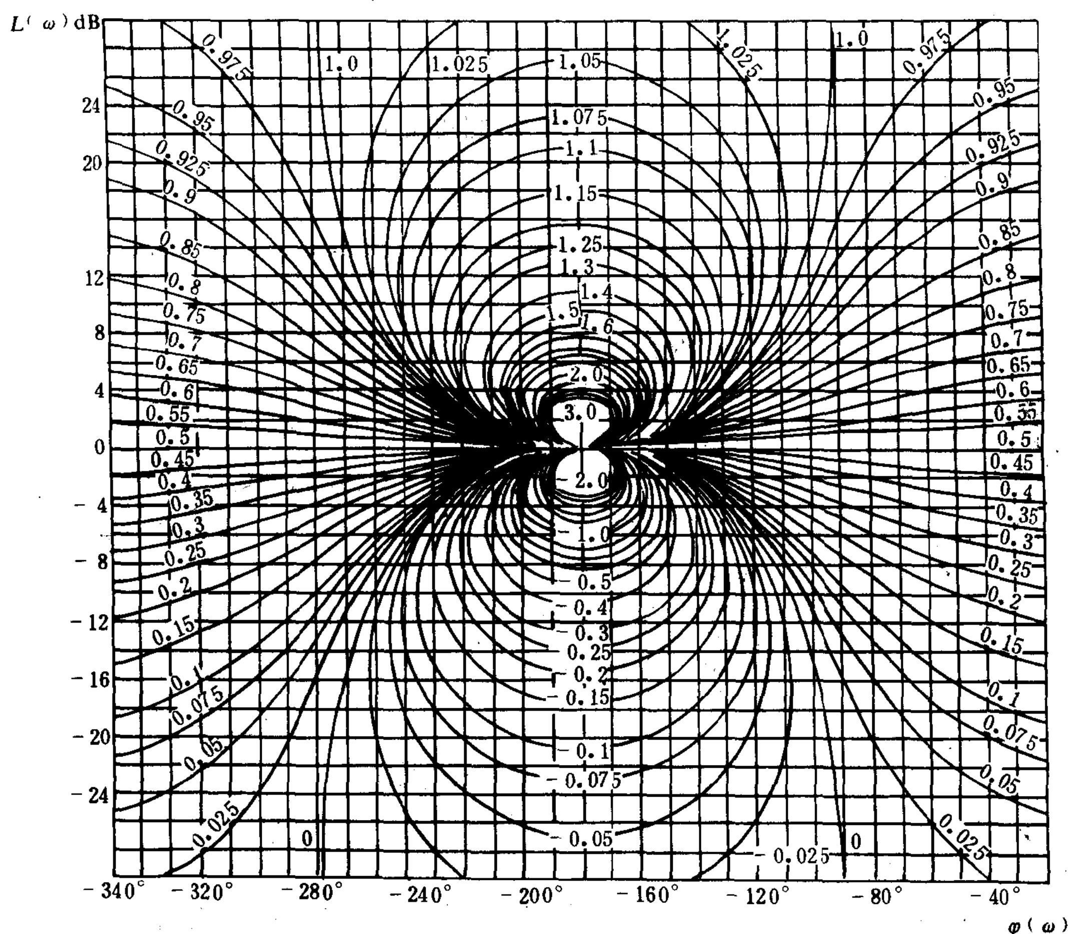


图 9.1.2—26 对数实频圆图

用尼柯尔斯图求 20lgA(ω)和 α(ω)时，或用对数实频圆图求 p(ω)时，须把开环伯德图改画成一条开环对数幅相特性曲线〔L(ω)～φ(ω)〕，然后叠在尼柯尔斯图或对数实频圆图上，它与等 A、等 α 或等 p 曲线相交，按各相交点的 20lgAi、αi 或 pi 及其对应的 ω_i 便可作出 20lgAi～ω、α(ω)～ω 或 p(ω)～ω 曲线。

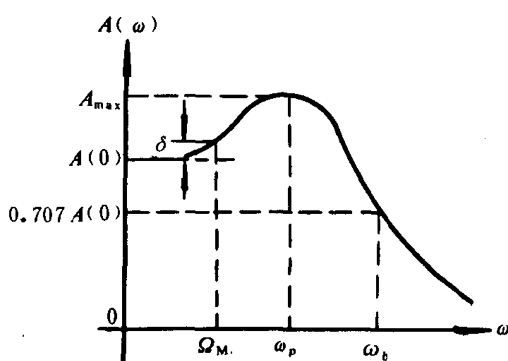


图 9.1.2—27 典型闭环幅频特性

对于非单位反馈系统，其闭环频率特性为

$$\frac{Y(j\omega)}{R(j\omega)}=\frac{G(j\omega)}{1+G(j\omega)H(j\omega)}$$

$$=\frac{G(j\omega)H(j\omega)}{1+G(j\omega)H(j\omega)}\cdot\frac{1}{H(j\omega)}$$

式中 G(jω)H(jω)为开环频率特性。如果把 G(jω)H(jω)、H(jω)均画成伯德图，则可利用尼柯尔斯图求得 G(jω)H(jω)/1+G(jω)H(jω)的伯德图，然后减去 H(jω)的伯德图，便可得到 Y(jω)/R(jω)的伯德图。如果需要确定 Y(jω)/R

(jω)的 p(ω)，则可由 Y(jω)/R(jω)的伯德图按下列公式逐点计算而得：

$$p(\omega) = A(\omega)\cos\alpha(\omega)$$

3.3.3 按闭环幅频特性评价过渡过程品质指标

1)闭环幅频特性的特征值

闭环幅频特性的典型状如图 9.1.2—27 所示，它可由下列几个特征值来标志。

(1)起始值 $A(0)=\lim\limits_{\omega\to 0}A(\omega)$；

(2)共振峰值 Amax 或振荡指标(相对共振峰值)$M=\dfrac{A_{max}}{A(0)}$；

(3)共振频率 ω_p；

(4)通频带 ω_b，它是 A(ω)的值降到 0.707A(0)时的频率；

(5)复现频率 Ω_M，对于位置随动系统，其定义为当 $\omega\leqslant\Omega_M$ 时，$|A(\omega)-A(0)|\leqslant\delta$，δ 是一个给定的很小的数。

2)二阶系统的闭环幅频特性的特征值和过渡过程品质指标间的表示式

二阶系统的闭环频率特性和闭环幅频特性为

$$\Phi(j\omega) = \frac{k_\Phi\omega_n^2}{(j\omega)^2 + 2\zeta\omega_n(j\omega) + \omega_n^2} = \frac{k_\Phi\omega_n^2}{\omega_n^2 - \omega^2 + j^2\zeta\omega_n\omega}$$

$$A(\omega) = |\Phi(j\omega)| = \frac{k\Phi\omega_n^2}{\sqrt{(\omega_n^2 - \omega^2)^2 + (2\zeta\omega_n\omega)^2}}$$

由 $dA(\omega)/d\omega|\omega=\omega_p\approx 0$ 可求得 ω_p，由 $A(\omega)|\omega=\omega_b=0.707$ 可求得 ω_b，由此可得

$$\omega_p = \omega_n\sqrt{1-2\zeta^2} \qquad (0\leqslant\zeta\leqslant 0.707) \qquad (9.1.2\text{—}95)$$

$$\omega_b = \omega_n\sqrt{1-2\zeta^2+\sqrt{2-4\zeta^2+4\zeta^4}} \qquad (9.1.2\text{—}96)$$

$$A_{max} = \frac{k_\Phi}{2\zeta\sqrt{1-\zeta^2}} \qquad (0\leqslant\zeta\leqslant 0.707)$$

$$M = \frac{1}{2\zeta\sqrt{1-\zeta^2}} \qquad (0\leqslant\zeta\leqslant 0.707) \qquad (9.1.2\text{—}97)$$

由式(9.1.2—95)、(9.1.2—96)和(9.1.2—97)按表 9.1.2—12 可得二阶系统闭环幅频特性特征值和过渡过程品质指标间的表示式，如表 9.1.2—15 所示。

表 9.1.2—15　　二阶系统 A(ω)特征值和过渡过程品质指标间的表示式

名　称	符号	数　学　表　示　式	说　明
过渡过程时间	τ_0	$\tau_0=\frac{3}{\omega_p}\sqrt{\frac{2\sqrt{M^2-1}}{\sqrt{M-\sqrt{M^2-1}}}}$　(5%) $\tau_0=\frac{3}{\omega_b}\sqrt{2\frac{\sqrt{M^2-1}+\sqrt{2M^2-1}}{M-\sqrt{M^2-1}}}$　(5%)	τ_0与ω_p或ω_b成反比，当M增大时τ_0相应地增大
上升时间	τ_r	$\tau_r=\frac{1}{\omega_p}\sqrt{\frac{2\sqrt{M^2-1}}{M+\sqrt{M^2-1}}}(\pi-\cos^{-1}\sqrt{\frac{M-\sqrt{M^2-1}}{2M}})$ $\tau_r=\frac{1}{\omega_0}\sqrt{2\frac{\sqrt{M^2-1}+\sqrt{2M^2-1}}{M+\sqrt{M^2-1}}}(\pi-\cos^{-1}\sqrt{\frac{M-\sqrt{M^2-1}}{2M}})$	τ_r与ω_p或ω_b成反比
超调量	$\sigma\%$	$\sigma\%=e^{-\pi}(M-\sqrt{M^2-1})100\%$	$\sigma\%$随M增大而增大
最大偏差	A A%	$A=k_\Phi[1+e^{-\pi(M-\sqrt{M^2-1})}]$ $A\%=\frac{k_\Phi}{y_0}[1+e^{-\pi(M-\sqrt{M^2-1})}]100\%$	$A=k_\Phi(H\sigma\%)$ y_0是被控量的额定值
衰减比	N	$N=e^{2\pi(M-\sqrt{M^2-1})}$	N随M增大而减小
衰减度	ψ	$\psi=1-e^{-2\pi(M-\sqrt{M^2-1})}$	ψ随M增大而减小
振荡次数	μ	$\mu=\frac{1.5}{\pi}(M+\sqrt{M^2-1})$　(5%)	μ随M增大而增大

3)按闭环幅频特性评价系统过渡过程品质指标

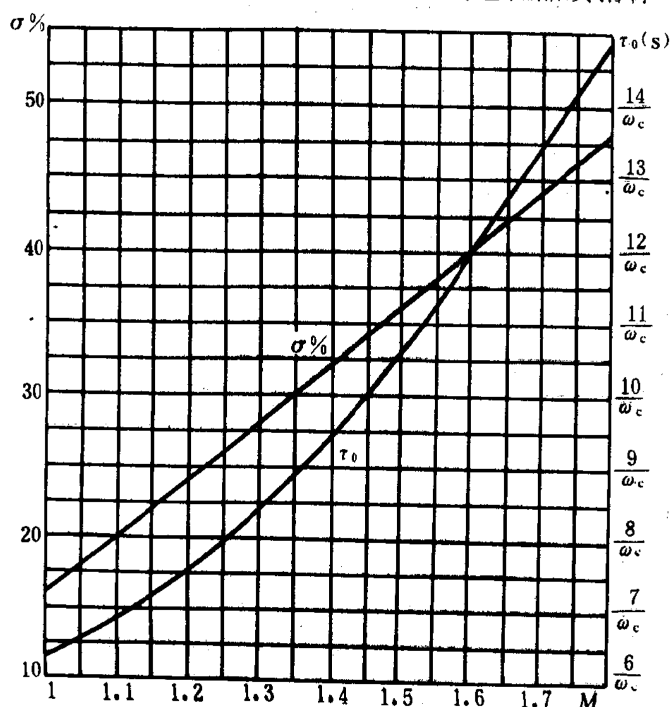


图 9.1.2—28　$\sigma\%$、τ_0与M的关系曲线

对于高阶系统，闭环幅频特性的特征值与过渡过程品质指标之间并不存在一般的定量关系式。但是，如果高阶系统的频率特性主要由一对闭环主导共轭极点所支配，则由二阶系统得出的一些关系式，可以扩展到高阶系统中去。

在工程实践中，对于高阶系统常用下列经验公式：

(1)超调量和过渡过程时间的估算公式

$$\sigma\%=[0.16+0.4(M-1)]100\%\ (1<M\leqslant1.8) \tag{9.1.2—98}$$

$$\tau_0=[2+1.5(M-1)+2.5(M-1)^2]\frac{\pi}{\omega_c}\ (1<M\leqslant1.8) \tag{9.1.2—99}$$

式中 M 是振荡指标，ω_c 是剪切频

率。式(9.1.2—98)和(9.1.2—99)的关系曲线表示在图 9.1.2—28 上。

(2)按闭环幅频特性的某些特点估算品质指标的经验公式

设闭环幅频特性曲线如图 9.1.2—29 所示，估算超调量、过渡过程时间和上升时间的经验公式为

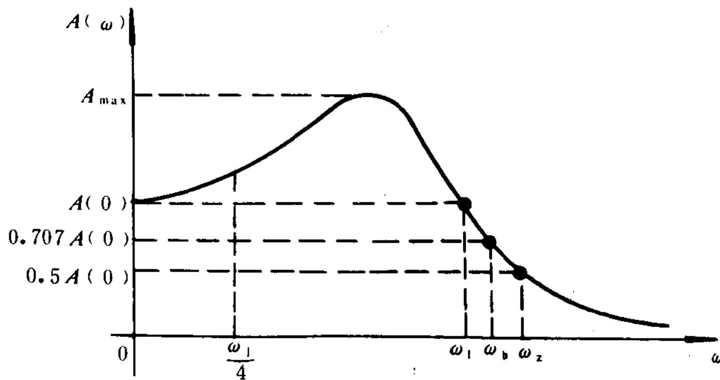


图 9.1.2—29 闭环幅频特性

$$\sigma\% = [(41 l_n \frac{A_{max}.A(\frac{\omega_1}{4})}{A^2_{(0)}}).\frac{\omega_0}{\omega_2} + 17]\% \quad (9.1.2—100)$$

$$\tau_0 = \frac{13.6\frac{A_{max}}{A_{(0)}}.\frac{\omega_0}{\omega_2} - 2.52}{\omega_2} \quad (9.1.2—101)$$

$$\tau_r = \frac{2.26}{\omega_2} \quad (9.1.2—102)$$

式中 τ_r 的定义是从静态值的 10%上升到 90%所需的时间。

3.3.4 按闭环实频特性绘制阶跃响应曲线

把 p(ω)曲线近似地用折线来代替，可以分成 n 个梯形特性 pi(ω)之代数和。每个梯形对应的阶跃响应为 $y_i(t)$，则总的阶跃响应按式(9.1.2—85)为

$$y(t) = \frac{2}{\pi}\int_0^\infty \frac{p(\omega)}{\omega}\sin\omega t d\omega = \frac{2}{\pi}\int_0^\infty \sum_{i=1}^n pi(\omega)\frac{\sin\omega t}{\omega}d\omega$$

$$= \sum_{i=1}^n \int_0^\infty \frac{pi(\omega)}{\omega}\sin\omega t d\omega = \sum_{i=1}^n y_i(t) \quad (9.1.2—103)$$

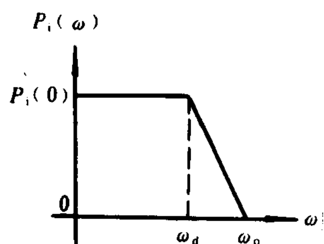


图 9.1.2—30 梯形特性 $p_i(\omega)$

设梯形特性 $p_i(\omega)$如图 9.1.2—30 所示。按式(9.1.2—85)其相应的阶跃响应 $y_i(t)$为

$$Y_i(t) = \frac{2}{\pi}\int_0^\infty \frac{p_i(\omega)}{\omega}\sin\omega t d\omega$$

$$= \frac{2}{\pi}p_i^{(0)}\{\sin k\omega_0 t) + \frac{1}{1-x}[\sin(\omega_0 t) + si(k\omega_0 t) + \frac{\cos\omega_0 t - \cos\chi\omega_0 t}{\omega_0 t}]\} \quad (9.1.2—104)$$

式中 $\chi = \frac{\omega d}{\omega_0}$，$si(\omega t) = \int_0^\omega \frac{\sin\omega t}{\omega}d\omega$

当 $p_i^{(0)}=1$，$\omega_0=1$ 时称为单位梯形特性，其相应的阶跃响应为

$$h_i(t) = \frac{2}{\pi}\{si(\chi t) + \frac{1}{1-\chi}[si(t) - si(\chi t) + \frac{\cos t - \cos\chi t}{t}]\} \quad (9.1.2—105)$$

针对不同的 χ 值，按专用的“h 函数表”便可得到 $h_i(t)$。

在一般情形下，梯形特性 $p_i^{(0)} \neq 1$，$\omega_0 \neq 1$，那末，它所对应的 $y_i(t)$可由 χ 值相同的单位梯形特性所对应的 h(t)经过简单的换算求得。比较式(9.1.2—104)和(9.1.2—105)并考虑到相似定理其换算的方法是：用 pi(0)乘 hi(t)就是 yi(t)的值，将“h 函数表”中所列的 t 值除以 ω_0 就是 $y_i(t)$中所对应的 t 值。

3.3.5 振荡指标 M 与稳定性贮量的关系

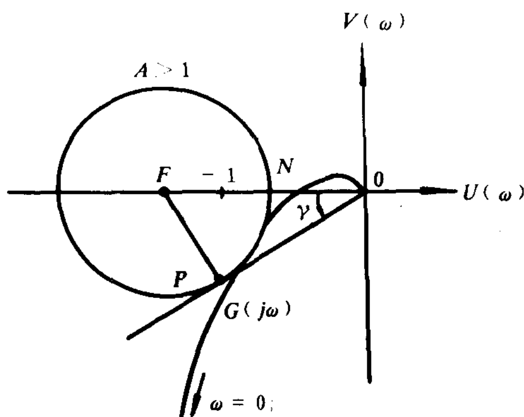


图 9.1.2-31 M与稳定性贮量的关系图

闭环系统要满足给定的M,必须使开环幅相频率特性G(jω)不进入相应的等A圆内,如图9.1.2—31所示。这里等A圆的标值A=MA(0)。当开环传递函数具有一个或一个以上的积分环节时A(0)=G(0)/〔1+G(0)〕=1,当不存在积分环节时A(0)=K/1+K,K是开环放大系数。

以稳定性贮量表示等A圆区域:从坐标原点到等A圆作一条切线OP,按式(9.1.2—90)可得相角和幅值贮量为

$$\gamma = \sin^{-1}\frac{FP}{OF} = \sin^{-1}\frac{\dfrac{A}{A^2-1}}{\dfrac{A^2}{A^2-1}} = \sin^{-1}\frac{1}{A} \tag{9.1.2—106}$$

$$\beta = \frac{1}{0N} = \frac{1}{0F - FN} = \frac{1}{\dfrac{A^2}{A^2-1} - \dfrac{A}{A^2-1}} = 1 + \frac{1}{A} \tag{9.1.2—107}$$

$$R = 20\lg\beta = 20\lg(1 + \frac{1}{A}) \quad dB \tag{9.1.2—108}$$

3.4 频率法校正

频率法校正是,在系统中引入频率特性形状合适的校正装置,改变原来的开环频率特性的形状,以满足对系统提出的各项性能指标的要求。

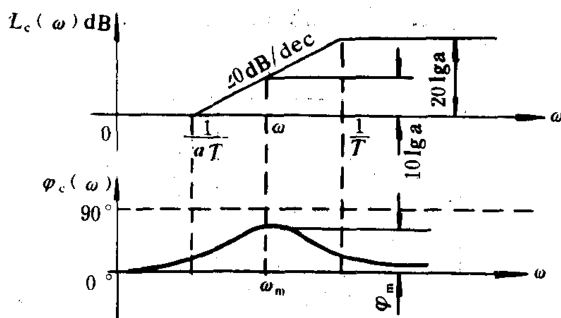


图 9.1.2—32 微分校正电路的伯德图

用频率法校正时,动态指标通常给定为频域动态指标,然后用伯德图进行校正。如果给定为时域指标,则可由图9.1.2—28和式(9.1.2—106)、(9.1.2—108)将时域指标转化为频域指标。当校正完毕校验系统的动态性能时,也往往校验是否满足给定的频域指标。

频率法校正通常有串联校正和反馈校正两种方式。前者校正装置接入前向通路中与开环传递函数相串联,后者校正装置接入局部反馈回路中。

3.4.1 串联微分校正

1)无源微分校正电路

串联微分校正装置通常采用有源和无源微分校正电路。其传递函数写成下列形式

$$\alpha G_c(s) = \frac{\alpha Ts + 1}{Ts + 1} \tag{9.1.2—109}$$

式中 $\alpha = 1 + R_1/R_2 > 1$, $T = R_1R_2C/(R_1+R_2)$, $G_c(s) = U_2(s)/U_1(s)$。

式(9.1.2—109)的伯德图表示在图9.1.2—32上。由图上可以看出,在转角频率$\frac{1}{\alpha T}$和$\frac{1}{T}$之间,此电路有微分作用,相角超前。其最大超前角 φ_m 和相应的频率 ω_m 分别为

$$\varphi_m = \lg^{-1}\frac{\alpha - 1}{2\sqrt{\alpha}} = \sin^{-1}\frac{\alpha - 1}{\alpha + 1} \tag{9.1.2—110}$$

$$\omega_m = \frac{1}{T\sqrt{\alpha}} \tag{9.1.2—111}$$

ω_m 处的对数幅值则为

$$L_c(\omega_m) = 10\lg\alpha \tag{9.1.2—112}$$

串联微分校正的特点是充分利用微分校正电路的最大超前角，以使系统满足给定的相角贮量。

2）串联微分校正的方法和步骤

设具有下列开环传递函数的位置随动系统要求满足静态速度误差系数 $K_v \geqslant 10s^{-1}$，超调量 $\sigma\% \leqslant 32\%$，过渡过程时间 $\tau_0 \leqslant 2.2s$。

$$G(s) = \frac{K}{s(s+1)}$$

(1)确定开环放大系数和开环频域指标

因 $K_v = K$；取 $K = 10s^{-1}$。由 $\sigma\%$、τ_0 按图 9.1.2—35 并留有余量后得到 $\omega_{ce} = 4.4 rad.s^{-1}$，$M \leqslant 14$。按式(9.1.2—106)、(9.1.2—108)可得 $\gamma_e \geqslant 45°$，$R_e \geqslant 4.68dB$。

(2)当 $K = 10s^{-1}$时绘制未校正系统的开环伯德图

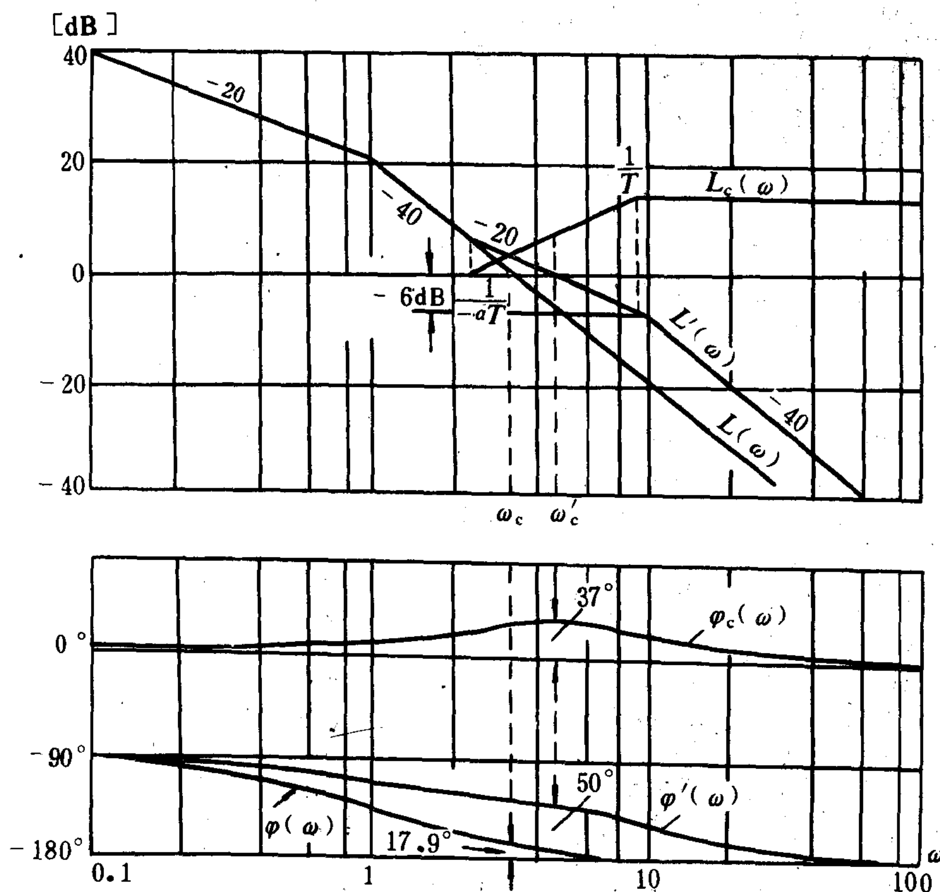


图 9.1.2—33 串联微分校正

如图 9.1.2—33 上 $L(\omega)$和 $\varphi(\omega)$所示。可得 $\omega_c = 3.1 rad.s^{-1} < \omega_{ce}$，$\nu = \nu(\omega_c) = 17.9 < \nu_e$，不满足动态指标要求。

(3)确定微分校正电路的参数 α 和 T

选择校正后系统的 ω_c'：按 $\omega_c' \geqslant \omega_{ce}$ 选取 $\omega_c' = 4.4\ \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$。令 $\omega_c' = \omega_m$，由此按式(9.1.2—127)、(9.1.2—128)可得

$$L'(\omega_c') = L(\omega_c') + L_c(\omega_c') = L(\omega_c') + 10\lg\alpha = 0 \quad (9.1.2\text{—}113)$$

$$T = \frac{1}{\omega_m\sqrt{\alpha}} = \frac{1}{\omega_c'\sqrt{\alpha}} \quad (9.1.2\text{—}114)$$

按图 9.1.2—33 $L(\omega_c') = L(\omega)|\omega = 4.4 = -6\text{dB}$，由上列两式可得 $\alpha = 4$，$T = 0.114\text{s}$。

(4)校验性能指标

校正后系统的开环伯德图如图 9.1.2—33 上 $L'(\omega)$ 和 $\varphi'(\omega)$ 所示。$K = 10\text{s}^{-1} = K_v$，$\omega_c' = 4.4\text{rad.s}^{-1} = \omega_{ce}$，$R' = \infty\text{dB} > R_e$，按式(9.1.2—110) $\nu' = \nu(\omega_c') + \varphi_m = 12.8° + \sin^{-1}\frac{\alpha-1}{\alpha+1} = 12.8° + 37° = 49.8 > \nu_e$。

如不满足 ν'，则可另选 ω_c'，使 $\omega_c' > \omega_{ce}$，然后重复上述方法进行计算。

(5)设计校正装置

由 $\alpha = 4$，$T = 0.114\text{s}$ 可得 $c = 4.7\mu\text{F}$，$R_1 = 100\text{k}\Omega$、$R_2 = 33\text{k}\Omega$。

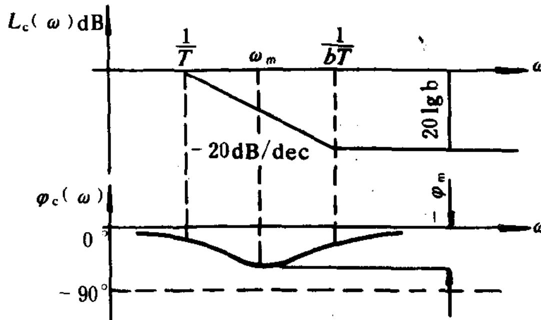


图 9.1.2—34　积分校正电路的伯德图

3.4.2　串联积分校正

1)无源积分校正电路

串联积分校正装置通常采用有源和无源积分校正电路。其传递函数为

$$G_c(s) = \frac{bTs + 1}{Ts + 1}$$

式中 $b = R_2/R_1 + R_2 < 1$，$T = (R_1 + R_2)c$。其相应的伯德图表示在图 9.1.2—34 上。从图上可见，$L_c(\omega)$的高频部分是衰减的。即 $\omega \geqslant 1/bT$ 时

$$L(\omega)|\omega \geqslant 1/bT = 20\lg b \quad (9.1.2\text{—}115)$$

串联积分校正的特点是，利用积分校正电路高频幅值的衰减特性，使校正后系统的开环对数幅频特性的正值区间减小，即减小剪切频率(仍≥给定值)来提高稳定性贮量。因此，应力求避免积分校正电路的最大滞后角发生在校正后系统的剪切频率 ω_c' 附近，以免恶化动态性能指标。因此，选择积分校正电路参数时，总使其第二转角频率 $1/bT$ 远小于 ω_c'，一般取

$$\frac{1}{bT} = 0.1\omega_c' \quad (9.1.2\text{—}116)$$

由此

$$\varphi_c(\omega_c') = \text{tg}^{-1}0.1(b-1) \quad (9.1.2\text{—}117)$$

当 $b = 1 \sim 0.01$ 时，$\varphi_c(\omega_c') = 0 \sim -5.7°$。

2)串联积分校正的方法和步骤

设具有下列开环传递函数的位置随动系统要求满足静态速度误差系数 $K_v \geqslant 30\text{s}^{-1}$，相角贮量 $\nu_e \geqslant 40°$，幅值贮量 $R_e \geqslant 5\text{dB}$，剪切频率 $\omega_{ce} \geqslant 2.3\text{rad.s}^{-1}$

$$G(s) = \frac{K}{s(0.1s + 1)(0.2s + 1)}$$

(1)确定开环放大系数 K

因 $K_v = K$，取 $K = 30\text{s}^{-1}$。

(2)当 $K=30s^{-1}$时绘制未校正系统的开环伯德图

如图 9.1.2—35 上 $L(\omega)$和 $\varphi(\omega)$所示。可得 $\omega_c=12rad.s^{-1}>>\omega_{ce}$,$\nu(\omega_c)=-27.6°$,未校正系统不稳定,但剪切频率远大于给定值故可采用串联积分校正。

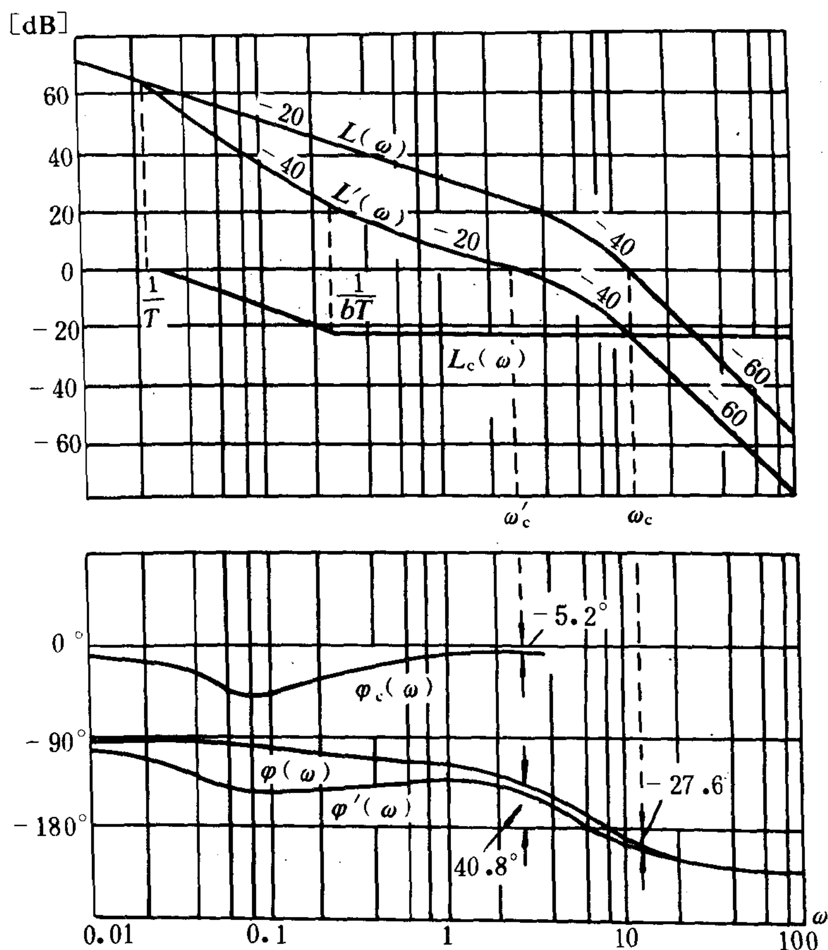


图 9.1.2—35 串联积分校正

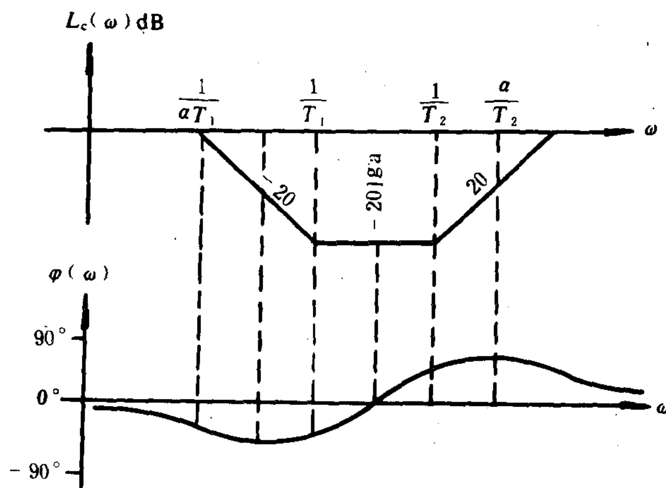


图 9.1.2—36 积分—微分校正电路伯德图

(3)确定积分校正电路的参数 b 和 T。

选择校正后系统的 ω_c':它应满足下列条件:

①$\omega_c'\geqslant\omega_{ce}\geqslant2.3rad.s^{-1}$。

②$\nu'=\nu'(\omega_c')+\varphi_c(\omega_c')=180°+\varphi(\omega_c')+\varphi_0(\omega_c')\geqslant\nu_e$ (9.1.2—118)

已知 $\nu_e\geqslant40°$,$\varphi_c(\omega_c')=0\sim-5.7°$,留有余量取 $\varphi_c(\omega_c')=-6°$。按 $\varphi(\omega)$曲线由式(9.1.2—118)可得 $\omega_c'\leqslant2.7rad.s^{-1}$。取 $\omega_c'=2.7rad.s^{-1}$。

按式(9.1.2—115)、(9.1.2—116)可得

$$L'(\omega_c')=L(\omega_c')+20lgb=0 \quad (9.1.2—119)$$

$$1/bT = 0.1\omega_c'$$

按图 9.1.2—35 $L(\omega_c') = 21dB$。由上列两式可得 $b = 0.09, T = 41s$。

(4)校验性能指标

校正后系统的开环伯德图如图 9.1.2—35 上 $L'(\omega)$ 和 $\varphi'(\omega)$ 所示。可得 $K = 30s^{-1} = K_v, \omega_c' = 2.7rad.s^{-1} > \omega_{ce}, \nu' = \nu(\omega_c') + tg^{-1}0.1(b-1) = 40.8° > \nu_e, R' = 10.5dB > R_e$。满足性能指标的要求。

(5)设计校正装置(方法与前同)。

3.4.3 串联积分—微分校正

串联积分—微分校正装置采用有源和无源积分—微分校正电路。其传递函数为

$$G_c(s) = \frac{T_1 s + 1}{\alpha T_1 s + 1} \cdot \frac{T_2 s + 1}{\frac{T_2}{\alpha} s + 1} = G_I(s).G_d(s)$$

式中 $T_1 = R_1C_1, T_2 = R_2C_2, \alpha T_1 + T_2/\alpha = T_1 + T_2 + R_1C_2, T_1 > T_2, \alpha > 1, G_I(s)$ 为积分校正部分，$G_d(s)$ 为微分校正部分。其相应的伯德图如图 9.1.2—36 所示。

串联积分—微分校正的特点是兼有微分校正和积分校正的优点，对于一些校正前静态和动态性能差、甚至不稳定，而校正后要求静态和动态性能较高的系统，常采用这种校正。

这种校正的方法和步骤是，先按微分校正的方法求出 $G_d(s)$ 的 α 和 T：由 $L'(\omega_c') = L(\omega_c') + L_c(\omega_c') = L(\omega_c') + (-10lg\alpha) = 0$ 求出 α，再由 $T_2 = 1/\omega_c'\sqrt{\alpha}$ 求出 T_2；然后按积分校正的方法求出 $G_I(s)$ 的 T_1：由 $1/T_1 = 0.1\omega_c'$ 求出 T1；最后进行相角贮量和幅值贮量的校验：

$$\nu' = \nu(\omega_c') + \varphi_d(\omega_c') + \varphi_I(\omega_c') = \nu(\omega_c') + \sin^{-1}\frac{\alpha-1}{\alpha+1} + tg^{-1}0.1(\frac{1}{\alpha} - 1) \geqslant \nu_e$$

如满足上式则符合要求。幅值贮量的验算可按校正后系统的开环伯德图进行。

在实际校正时，有时为了降低校正后系统的阶次，选择未校正系统 $L(\omega)$ 的最小转角频率作为 $G_d(s)$ 的转角频率 $1/T_2$，由此求出 T_2；然后按 $L'(\omega_c') = L(\omega_c') + L_c(\omega_c') = 0$ 求出 α，当 $\omega_c' < 1/T_2$ 时，$L_c(\omega_c') = -20lg\alpha$，当 $\omega_c' > 1/T_2$ 时，$L_c(\omega_c') = -20lg\alpha/T_2\omega_c'$。另外，当进行积分部分校正时，有时不采用 $1/T_1 = 0.1\omega_c'$，而由满足给定的相角贮量来求出 T_1：由 $\nu' = \nu(\omega_c') + \varphi_d(\omega_c') + \varphi_I(\omega_c') \geqslant \nu_e$ 求出 T_1。这时，只需进行幅值校验就够了。

3.4.4 反馈校正

设系统的开环传递函数为 $G_1(s)G_2(s)G_3(s)$，如果用反馈校正装置 $H_c(s)$ 包围 $G_2(s)$ 形成一个局部负反馈回路，则便构成反馈校正。校正后系统的开环传递函数为

$$G(s) = G_1(s)G_3(s)\frac{G_2(s)}{1 + G_2(s)H_c(s)}$$

在系统的初步计算中，可作一定的简化如下：

1)当 $|G_2(j\omega)H_c(j\omega)| \geqslant 1$ 时，相应于低额段和中频段，可得

$$G(s) \approx G_1(s)G_3(s)\frac{1}{H_c(s)}$$

2)当 $G_2(j\omega)H_c(j\omega) \leqslant 1$ 时，相应于高频段，可得

$$G(s) = G_1(s)G_2(s)G_3(s)$$

由此可见，适当选择反馈校正装置 $H_c(s)$ 的形式和参数，可以使开环频率特性的低频段和中频段发生所希望的变化，从而使校正后系统的静态和动态性能满足给定的指标。

与串联校正相比，反馈校正具有削弱系统中非线性的影响，减小时间常数、降低对参数变

化的敏感性以及抑制噪声等优点，但其设计调整较麻烦，所使用的元件较昂贵，通常用于要求较高的场合。

3.5 复合控制校正

复合控制是反馈控制和前馈控制的组合控制。如果前馈控制是按控制量大小进行的，则称为按控制量补偿的复合控制；如果前馈控制是按扰动量大小进行的，则称为按扰动量补偿的复合控制。

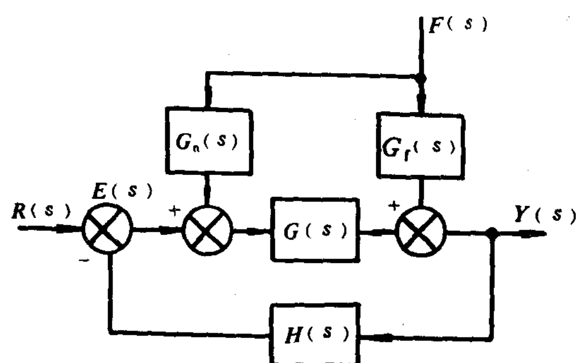


图 9.1.2—37 按扰动量补偿的复合控制系统

3.5.1 按控制量补偿的复合控制校正

按控制量补偿的复合控制系统的方框图见图 9.1.2—22。如果使前馈装置的传递函数满足下列条件，则按式(9.1.2—83)偏差 E(s)＝0，系统具有理想的静态和动态性能。

$$G_R(s) = \frac{1}{G(s)H(s)} \tag{9.1.2—120}$$

上式是偏差完全补偿的条件。当实现有困难时可实现部分补偿、静态补偿和动态补偿。

静态补偿可提高系统无差度的阶数，详见本章3.2.2。

动态补偿可显著改善系统的动态性能，它是在对系统动态性能起主要作用的频段(中频段)内实现式(9.1.2—120)，即

$$G_R(j\omega) \approx \frac{1}{G(j\omega)H(j\omega)} \tag{9.1.2—121}$$

3.5.2 按扰动量补偿的复合控制校正

按扰动量补偿的复合控制系统的方框图如图 9.1.2—37 所示。其中 G(s)H(s)是闭环部分的开环传递函数，$G_f(s)$是对扰动量的前向传递函数，$G_n(s)$是前馈装置的传递函数，系统的输出量 Y(s)为

$$T(s) = \frac{G(s)}{1+G(s)H(s)}R(s) + \frac{1}{1+G(s)H(s)}[G(s)G_n(s) + G_f(s)]F(s)$$

如果使前馈装置的传递函数满足下列条件，便可完全消除扰动量 F(s)对系统的影响。

$$G_n(s) = -\frac{G_f(s)}{G(s)} \tag{9.1.2—122}$$

上式是按扰动量的偏差完全补偿的条件。同样当实现完全补偿有困难时，可采用部分补偿。

如果复合控制系统中有两个前馈装置 $G_R(s)$和 $G_n(s)$、当 $G_R(s)$和 $G_n(s)$能实现式(9.1.2—120)、(9.1.2—122)时，则该系统将对总的偏差实现完全补偿。

参 考 文 献

[1] 绪方胜彦著，卢伯英等译，现代控制工程，科学出版社，1981 年

[2] H.T.库佐夫柯夫著，张明华译，频率法自动调节理论，国防工业出版社，1966 年

[3] 胡寿松主编，自动调节原理(修订版)，国防工业出版社，1984 年

[4] B.B.索洛多夫尼柯夫主编,王众托译,自动调整理论,第二分册,水利电力出版社,1957年

4 PID控制系统

PID是指比例、积分和微分,PID控制系统是由一些自动化仪表构成的反馈控制系统,其中控制单元由控制器(或称调节器)构成,能实现PID控制规律(或称调节规律)。

4.1 被控对象的数学模型

被控对象分为有自平衡能力和无自平衡能力两大类。

有自平衡能力对象是指对象受到干扰作用平衡状态被破坏后,不需任何外力作用(不进行控制)下,依靠对象自身的能力,被控参数自发地恢复平衡状态。

无自平衡能力对象是指对象受到干扰作用平衡状态被破坏后,依靠对象自身的能力,被控参数不能恢复到平衡状态。

4.1.1 有自平衡能力对象的数学模型

1)对象不具有恒迟延

$$G(s) = \frac{K}{\prod_{i=1}^{n}(T_i s + 1)} \tag{9.1.2—123}$$

或者

$$G(s) = \frac{K}{(T_1 s + 1)^n} \tag{9.1.2—124}$$

2)对象具有恒迟延

$$G(s) = \frac{K}{\prod_{i=1}^{n}(T_i s + 1)} e^{-\tau s} \tag{9.1.2—125}$$

或者

$$G(s) = \frac{K}{(T_1 s + 1)^n} e^{-\tau s} \tag{9.1.2—126}$$

4.1.2 无自平衡能力对象的数学模型

1)对象不具有恒迟延

$$G(s) = \frac{K}{s\prod_{i=1}^{n}(T_i s + 1)} \tag{9.1.2—127}$$

或者

$$G(s) = \frac{K}{s(T_1 s + 1)^n} \tag{9.1.2—128}$$

2)对象具有恒迟延

$$G(s) = \frac{K}{s\prod_{i=1}^{n}(T_i s + 1)} e^{-\tau s} \tag{9.1.2—129}$$

或者

$$G(s) = \frac{K}{s(T_i s + 1)^n} e^{-\tau s} \tag{9.1.2—130}$$

上述各式中(9.1.2—123 到 9.1.2—130),n=0 对应于单容对象;n=1 对应于双容对象;n≥2 对应于多容对象。τ 是恒迟延时间。

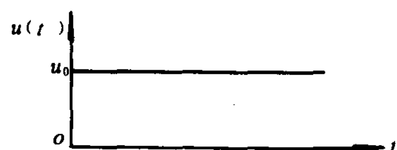
4.1.3 被控对象数学模型的简化

对于具有自平衡能力和无自平衡能力的双容和多容对象,其数学模型可用相应的具有恒迟延的单容对象的数学模型来近似,这便是数学便模型的简化。

1)有自平衡能力的双容和多容对象的简化数学模型

$$G(s) = \frac{K}{Ts+1}e^{-\tau s} \qquad (9.1.2\text{—}131)$$

式中,T、τ、K 可按对象的阶跃响应曲线按图 9.1.2—38a)求得。其中 LM 是通过阶跃响应曲线拐点的切线,$K=y(\infty)/u_0$。这里 τ 是恒迟延时间,它包括原恒迟延时间(如果有的话)和容量迟延时间。



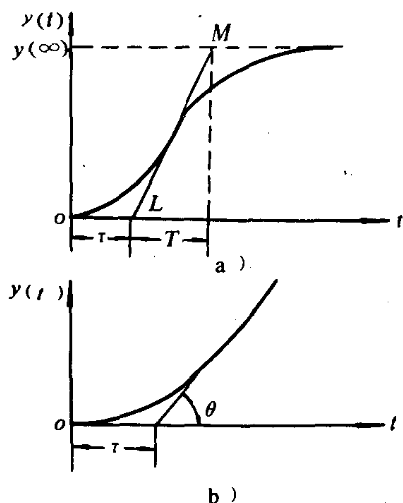


图 9.1.2—38 被控对象的阶跃响应曲线

a)具有自平衡能力对象的阶跃响应曲线; b)无自平衡能力对象的阶跃响应曲线

2)无自平衡能力的双容和多容对象的简化数学模型

$$G(s) = \frac{K}{s}e^{-\tau s} \qquad (9.1.2\text{—}132)$$

式中,τ 和 k 可按对象的阶跃响应曲线按图 9.1.2—38b)求得。其中 $y'(\infty)=tg\theta$,$k=y'(\infty)/u_0=tg\theta_0$。这里 τ 是恒迟延时间,它包括原恒迟延时间(如果有的话)和容量迟延时间。

4.2 控制器的控制规律及其对控制系统动态和静态性能的影响

控制器的输出量 ΔP 随输入量 Δe 变化的规律称为控制规律(或调节规律)。按数学模型常用的控制规律有:比例(p)控制规律,比例积分(PI)控制规律,比例微分(PD)控制规律,比例积分微分(PID)控制规律。

4.2.1 比例控制规律

1)比例控制规律的数学模型

$$\Delta p = K_\delta \Delta e$$

$$G_p(s) = K_\delta \qquad (9.1.2\text{—}133)$$

式中 K_δ 是放大系数,也称比例系数,可以具有量纲,也可以有正负。

在自动化代表中,常用比例度 δ 来表示 K_δ,两者的关系是:

$$\delta = \left(\frac{\Delta e}{\Delta e_m} / \frac{\Delta p}{\Delta p_m}\right)100\% = \frac{K_0}{K_\delta}100\% \qquad (9.1.2\text{—}134)$$

式中 $\Delta e_m = e_{max} - e_{min}$,$\Delta p_m = p_{max} - p_{min}$,$K_0 = \Delta p_m / \Delta e_m$。$e_{max}$ 和 e_{min} 是控制器输入量的最大值和最小值,p_{max} 和 p_{min} 是控制器输出量的最大值和最小值。

2)对控制系统动态和静态性能的影响

从本章第 2 节可知,K_δ 大,静差变小,但稳定性变差,动态性能变坏;K_δ 小,静差增大,稳定性变好,但相应的过渡过程时间也要增大。因此,只有选取合适的 K_δ,才能兼顾系统的动态和静态性能。

4.2.2 比例积分控制规律

1）比例积分控制规律的数学模型

$$\Delta p = K_\delta(\Delta e + \frac{1}{T_I}\int \Delta e dt)$$

$$G_p(s) = K_\delta(1 + \frac{1}{T_I s}) \quad (9.1.2—135)$$

式中 T_I 称为积分时间常数，俗称积分时间。T_I 小，输出量的积分作用部分起的作用大，表示积分作用强，反之 T_I 大表示积分作用弱；当 $T_I=\infty$时积分作用便不再存在。

2） 对控制系统动态和静态性能的影响

使系统的开环传递函数增加一个积分环节，从而提高系统无差度的阶数，显著改善系统的静态性能；但这将使系统的稳定性变差，动态性能变坏。积分时间愈小，消除静差愈快，但稳定性贮量将显著变小，为了兼顾系统的静态和动态性能，积分时间应选择适当。

4.2.3 比例微分控制规律

1）比例微分控制规律的数学模型

$$\Delta p = K_\delta(\Delta e + T_D\frac{d\Delta e}{dt})$$

$$G_P(s) = K_\delta(1 + T_D s) \quad (9.1.2—136)$$

式中，T_D 称为微分时间常数，俗称微分时间。T_D 愈大，表示微分作用愈强。

2）对控制系统动态和静态性能的影响

可使系统的开环传递函数增加一个一阶微分环节，适当选择 T_D 可显著改善系统的动态性能；或者在满足一定的动态性能下，可适当减小比例度，与纯比例控制规律相比，一般可减小20%左右，从而可减小静差。

4.2.4 比例积分微分控制规律

1） 比例积分微分控制规律的数学模型

$$\Delta p = K_\delta\left(\Delta e + \frac{1}{T_I}\int \Delta e dt + T_D\frac{d\Delta e}{dt}\right)$$

$$G_p(s) = K_\delta(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s) \quad (9.1.2—137)$$

2）对控制系统动态和静态性能的影响

比例积分微分控制规律同时起比例积分和比例微分规律的作用，它既能消除位置静差，提高系统的无差度，又能改善系统的动态性能。但是，参数 $\delta[=(K_0/K_\delta)100\%]$，$T_I$ 和 T_D 必须选择适当，才能发挥 PID 控制规律的优点。

4.3 控制器参数的整定

控制器参数的整定是指选择控制器参数 δ、T_I 和 T_D 的数值，尽量使控制系统的被控量处于最佳过渡过程。整定的方法分两大类，一类是计算整定，另一类是工程整定。

4.3.1 控制器参数整定的基本要求

对于具有一定功能的 PID 控制系统，被控对象是设计制造的，其静、动态特性已经确定。测量单元和执行单元是按控制系统的功能要求选择和调整好的。因此，控制系统的静态和动态性能，主要取决于控制器的参数 δ、T_I 和 T_D 的数值。选择控制器的参数值，尽量使控制系统的被控量处于最佳过渡过程。具体要求如下：

1）过渡过程具有较大的衰减比；

2)被控量的超调量或最大偏差要小；

3)过渡过程时间要短；

4)静差要小或要求消除位置静差。

在一般情况下要同时满足上述四点要求可能存在一些困难。因此在实践中，通常选择第一点即衰减比 N＝4～10 左右作为最佳过渡过程。这样的过渡过程既直观，又能兼顾其它三点要求。这便是所谓 4：1 或 10：1 的衰减振荡过程，它作为控制参数整定的基础。

4.3.2　控制器参数的计算整定

控制器参数的计算整定是指控制器的参数值是根据系统中各单元的数学模型予以理论计算确定的。计算整定的方法主要有两种：一种是应用开环对数频率特性对控制器参数计算整定，另一种是应用广义频率特性对控制器参数计算整定。

4.3.2.1　应用开环对数频率特性的控制器参数计算整定

首先把系统中除控制器外的其它部分(由执行单元、被控对象和测量单元构成)视为广义对象，它的传递函数 $G_r(s)$ 具有式(9.1.2—130)或(9.1.2—131)形式。这时，系统的开环传递函数便由控制器和广义对象的传递函数串联组成，即 $G_P(s)G_r(s)$。

其次，作出 $G_P(s)G_r(s)$ 的伯德图，改变开环放大系数，使伯德图上的相角贮量满足给定的值，由此便可确定开环放大系数的数值。

第三，按确定的开环放大系数值便可确定控制器的比例度。

关于相角贮量 ν，是根据二阶系统的一些公式按给定的衰减比来确定的：

当 N＝4～10 时，按表 9.1.2—12 可得 $\xi=0.216\sim0.344$。对于二阶系统，其开环传递函数和相应的相角贮量 ν 分别为

$$G(s)=\frac{\omega_n^{\ 2}}{s(s+2\xi\omega_n)}$$

$$\nu=tg^{-1}\frac{2\xi}{\sqrt{\sqrt{1+4\xi_4}-2\xi^2}}$$

由 $\xi=0.216\sim0.344$ 按上式可得 $\nu=25.4°\sim40°$。

1)比例控制器：其比例度 δ 可按上述方法直接确定。

2)比例积分控制器：先选定 T_I 值，然后按上述方法确定相应的 δ 值。选择一系列不同的 T_I 值，便可得出一系列不同的 δ 值。应选择 $(\delta.T_I)_{min}$ 的一组值作为 δ 和 T_I 的整定值。

3)比例微分控制器：先选定 T_D 值，然后按上述方法确定相应的 δ 值。选择一系列不同的 T_D 值，便可得出一系列不同的 δ 值。应选择 $(\delta)_{min}$ 的一组值作为 δ 和 T_D 的整定值。

4)比例积分微分控制器：先选定 T_D 值，然后按比例积分控制器参数计算整定的步骤确定 $(\delta.T_I)_{min}$ 的一组值。再改变 T_D 值，重复上述步骤。这样，在一系列不同 T_D 值下都可确定出 $(\delta.T_I)_{min}$ 的一组值。再从 $(\delta.T_I)_{min}$ 中选择其中最小的一组值作为 δ、T_I 和 T_D 的整定值。

4.3.2.2　应用广义频率特性对控制器参数计算整定

对于式(9.1.2—51)的二阶系统，其闭环特征方程式的根如式(9.1.2—52)所示。在根平面上，折线 $\lambda_1 0\lambda_2$(图 9.1.2—15，λ_2 未画出)是等 ξ 线，它与虚轴的夹角为 θ。令 $b=tg\theta$，则可得

$$b=\frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}$$

对于闭环特征方程式的根位于折线 $\lambda_1 0\lambda_2$ 上的一些系统，它们具有相同的 ξ，因而具有相同的

衰减比 N 或相角贮量 ν。如果特征根位于折线 $\lambda_1 0 \lambda_2$ 的左边，则系统的 N 和 ν 均大于折线 $\lambda_1 0 \lambda_2$ 上的值。反之，特征根位于折线 $\lambda_1 0 \lambda_2$ 右边、虚轴左边，则 N 和 ν 均小于折线 $\lambda_1 0 \lambda_2$ 上的值。

当 N=4～10 时，ξ=0.216～0.344，按式(9.1.2—137)可得 b=0.221～0.366。此 b 称为衰减指数，它与 N 或 ξ 是一一对应的。

令 $s=-\alpha+j\omega$，而 $tg\theta=\alpha/\omega$，由此 $s=-b\omega+j\omega$。设系统的开环传递函数为 G(s)。如果令 $s=-b\omega+j\omega$，则 $G(-b\omega+j\omega)$ 便是广义频率特性（也称为衰减频率特性），它是 S 平面折线 $\lambda_1 0 \lambda_2$ 上的点在 G 平面上的映射。$G(-b\omega+j\omega)$ 简写为 $G(b,j\omega)$。

系统的闭环特征方程式为 $1+G(s)=0$。令 $s=-b\omega+j\omega$，亦即闭环特征方程式的根位于折线 $\lambda_1 0 \lambda_2$ 上时，将有

$$G(b,j\omega)=G_p(b,j\omega)G_r(b,j\omega)=-1 \tag{9.1.2—138}$$

或改写成下列形式：

$$\begin{cases}|G_r(b,j\omega)|=1/|Gp(b,j\omega)| \\ \angle G_r(b,j\omega)=\pm(2k+1)\pi-\angle G_P(b,j\omega)=\pm\pi-\angle G_p(b,j\omega)\end{cases} \tag{9.1.2—139}$$

当给定广义对象的传递函数 $G_r(s)$ 和所要求的衰减比 N 或衰减指数 b 时，按式(9.1.2—138)或(9.1.2—139)便可整定控制器的参数。

4.3.3 控制器参数的工程整定

控制器参数的工程整定是指根据实际系统在现场调试的基础上，结合经验公式确定控制器参数值的方法。常用的有衰减曲线法、监界振荡法、经验法和广义对象阶跃响应法。

根据经验，对于不同功能的控制系统，控制器参数整定值的范围如表 9.1.2—16 所示。

表 9.1.2—16　**控制器参数整定值范围**

系统	特　　点	规律	δ(%)	T_I(min)	T_D(min)
温度	多容对象，迟延时间大，常用微分被控量变化速度慢	PID	20～60	3～10	0.5～3
压力	对象惯性不大，不用微分。被控量变化速度不大	PI	30～70	0.4～3	—
流量	对象惯性小，并有噪声，不用微分，δ 应大些，T_I 可小些。被控量变化速度快	PI	40～100	0.1～1	—
液位	单容对象，不用微分，在容许有静差时不用积分。被控量变化速度慢	P	20～30	—	—

4.3.3.1 衰减曲线法

衰减曲线法以衰减比 N=4 或 N=10 的衰减振荡过程作为整定的基础。整定的方法是：首先按比例控制规律进行整定，然后按经验公式推广到 PI 和 PID 控制规律。具体步骤是：

不用微分和积分，即令 $T_D=0$ 和 $T_I=\infty$，将比例度 δ 置于较大的值，使系统形成闭环后稳定工作。然后逐步减小 δ，观察施加阶跃输入量下被控量的边渡过程曲线，直到出现 $N=B_1/B_2=4$ 的过渡过程为止，如图 9.1.2—39 所示。这时的比例度以 δ_s 表示，振荡周期以 T_s 表示。当控制器采用不同的控制规律时，其参数的工程整定值可按表 9.1.2—17 的经验公式选取。

表 9.1.2—17　**衰减曲线法整定计算表**

控制规律	δ(%)	T_I(min)	T_D(min)
P	δ_s	—	—
PI	$1.2\delta_s$	$0.5T_s$	—
PID	$0.8\delta_s$	$0.3T_s$	$0.1T_s$

当取 N=10 时，由于过渡过程曲线衰减快，振荡周期 T_s 量测不易准确，则可量测 T_r，如图 9.1.2—39 所示，在表 9.1.2—17 中，$T_s=4T_r$。

衰减曲线法适用面广，但在外界干扰频繁、过渡过程的记录曲线出现不规则时，使用时较困难。

4.3.3.2 临界振荡法

临界振荡法也称为临界比例度法。它首先按比例控制规律得出被控量的临界振荡过程，然后按经验公式确定比例度 δ，再推广到 PI、PD 和 PID 控制规律。

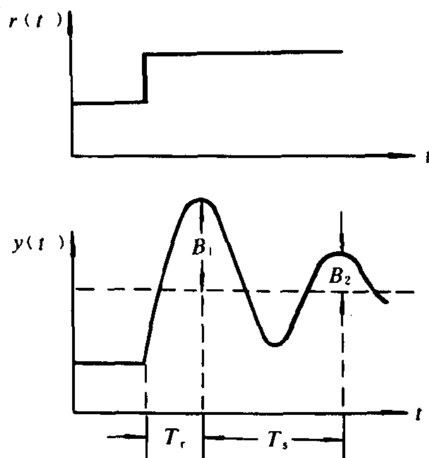


图 9.1.2—39 衰减曲线法实验曲线

所谓临界振荡过程，是指过渡过程处于等幅振荡过程和衰减振荡过程的交界处，此方法的关键也在于必须准确获得这个交界处，整定的具体步骤是：

不用微分和积分，即令 $T_D=0$ 和 $T_I=\infty$，将比例度 δ 置于较大的值，使系统形成闭环后能稳定工作。然后逐步减小 δ，观察施加阶跃输入量下被控量的过渡过程曲线，直到出现临界振荡过程为止。这时的比例度称为临界比例度，以 δ_k 表示，振荡周期称为临界振荡周期，以 T_k 表示。对于各种控制规律，按 δ_k 和 T_k 确定使 N=4 的 δ、T_I 和 T_D 值的经验公式如表 9.1.2—18 所示。

表 9.1.2—18 **临界振荡法整定计算表**

控制规律	δ(%)	T_I(min)	T_D(min)
P	$2\delta_k$	—	—
PI	$2.2\delta_k$	$0.85T_k$	—
PD	$1.5\delta_k$	—	$(0.1\sim0.2)T_k$
PID	$1.7\delta_k$	$0.5T_k$	$0.13T_k$

本法观察时不涉及波峰幅值的大小，故曲线记录不规则时亦能应用，但对于某些不容许发生持续振荡的控制系统则不宜采用。

应用上述两种方法还必须注意到，对于 PID 控制规律，由于控制器的干扰系数 F 的影响，控制器的刻度值 δ^*、T_I^* 和 T_D^* 与表 9.1.2—17 和 9.1.2—18 所确定的实际值 δ、T_I 和 T_D 是不相等的，两者之间存在下列关系：

$$\begin{cases}\delta^* = F\delta \\ T_I^* = T_I/F \\ T_D^* = FT_D\end{cases} \qquad (9.1.2—140)$$

式中，干扰系数 F 随不同型号的控制器以及比值 T_D^*/T_I^* 不同而有所不同。在整定时需将实际值换算成刻度值再后进行整定。具体整定的次序为，把 δ^* 调在应整定值的二倍，然后依次整定 T_I^* 和 T_D^*，再把 δ^* 逐渐退回到应整定的值。

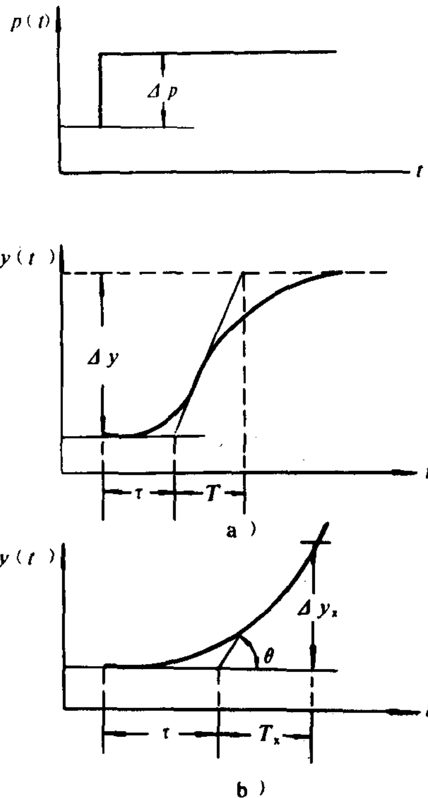


图 9.1.2—40　广义对象的阶跃响应曲线
a)具有自平衡能力广义对象的阶跃响应曲线
b)无自衡能力广义对象的阶跃响应曲线

4.3.3.3　经验法

经验法实际上是一种看曲线调参数的试凑法。为了使调试做到心中有数，根据不同功能的系统，可按表 9.1.2—16 确定控制器参数的大致整定范围。

为了使试凑方便，经验法可在衰减曲线法的基础上进行试凑，直到得出接近 N＝4 或 N＝10 的衰减振荡曲线为止。

对于 PID 控制规律，由于干扰系数的影响，在试凑过程中，如要观察 T_I^* 和 T_D^* 对过渡过程曲线的影响，在保持比例度的刻度值 δ^* 为某一值不变的同时，还必须保持比值 T_D^*/T_I^* 为某一值不变(称为保比)。这是因为干扰系数与比值 T_D^*/T_I^* 有关，进行保比后，才能使干扰系数不变，从而不会使实际比例度 δ 发生变化。此方法的主要优点是对外界干扰频繁、过渡过程记录曲线不规则的系统也能适用。

4.3.3.4　广义对象阶跃响应法

广义对象阶跃响应法是根据广义对象的阶跃响应曲线按经验公式整定控制器参数值的方法。此方法的要点是：

使控制系统处于开环状态，将控制器切换到手动位置，进行手动操作使控制器输出一个阶跃信号 Δp 给广义对象，广义对象的输出量 y 便是阶跃响应曲线，如图 9.1.2－40 所示。

从阶跃响应曲线上可求得广义对象特性参数 τ 和 ε，其中 ε 称为飞升速度。对于具有自平衡能力的广义对象(图 9.1.2—40a))，ε 的表示式为

$$\varepsilon = \frac{\dfrac{\Delta y}{y_{max} - y_{min}} \Big/ \dfrac{\Delta p}{p_{max} - p_{min}}}{T} \qquad (9.1.2—141)$$

式中，P_{max}和 P_{min}是控制器输出信号的最大值和最小值，y_{max}和 y_{min}是广义对象输出量的最大值和最小值。

对于无自平衡能力的广义对象，在图 9.1.2—40b)上任取 T_x 值，测得 $\Delta y_x = T_x \mathrm{tg}\theta$。飞升速度 ε 的表示式为

$$\varepsilon = \frac{\dfrac{\Delta y_x}{y_{max} - y_{min}} \Big/ \dfrac{\Delta p}{p_{max} - p_{min}}}{T_x} \qquad (9.1.2—142)$$

对于各种控制规律，按 τ 和 ε 确定使 N＝4 的 δ、T_I 和 T_D 值的经验公式如表 9.1.2—19 所示。

表 9.1.2—19　　**广义对象阶跃响应法整定计算表**

控制规律	δ(%)	T_I(min)	T_D(min)
P	$\varepsilon\tau\times100$	—	—
PI	$1.1\varepsilon\tau\times100$	3.3τ	—
PID	$0.85\varepsilon\tau\times100$	2τ	0.5τ

对于具有自平衡能力的广义对象，按对象特征 τ/T 分档的更为精确的经验公式列于表 9.1.2—20。

表 9.1.2—20　　**广义对象阶跃响应法精确整定计算表**

整定参数	对象特征	整定计算公式		
		P	PI	PID
δ	$\tau/T\leqslant0.2$	$\varepsilon\tau$	$1.1\varepsilon\tau$	$0.8\varepsilon\tau$
	$0.2<\tau/T<1.5$	$2.6\varepsilon\tau\frac{(\tau/T)-0.08}{(\tau/T)+0.7}$	$2.6\varepsilon\tau\frac{(\tau/T)-0.08}{(\tau/T)+0.6}$	$3.7\varepsilon\tau\frac{(\tau/T)-0.13}{(\tau/T)+1.5}$
	$\tau/T\geqslant1.5$	$2\varepsilon\tau$	$2\varepsilon\tau$	$1.7\varepsilon\tau$
T_I (min)	$\tau/T\leqslant0.2$	—	3.3τ	2.5τ
	$0.2<\tau/T<1.5$	—	$0.8\tau/(\tau/T)$	$\tau/(\tau/T)$
	$\tau/T\geqslant1.5$	—	0.6τ	0.7τ
T_D (min)	—	—	—	$0.15T_I$

参考文献

[1]　邵裕森编，过程控制及仪表，上海交通大学出版社，1986 年

[2]　涂植英主编，过程控制系统，机械工业出版社，1983 年

[3]　孙季宽，调节器的干扰系数和工程整定问题，上海海运学院学报，1985 年第二期

[4]　浙江大学化工自动化教研组编，调节器的工程整定和校验，石油化学工业出版社，1976 年

[5]　陆道政、季新宝著，自动控制原理及设计，上海科学技术出版社，1978 年

[6]　绪方胜彦著，卢伯英等译，现代控制工程，科学出版社，1981 年

5　非线性控制系统

5.1　非线性控制系统的基本概念

当控制系统中存在一个或一个以上只能用非线性微分方程式来描述的环节或元件时，该系统称为非线性控制系统，简称非线性系统。

5.1.1　非线性控制系统的特点

与线性控制系统相比，非线性控制系统存在一些特点，例如

1)系统的稳定性与初始条件有关

2)可能产生自振荡(极限环)

5.1.2 几种典型非线性环节的静特性

在实际控制系统中存在多种不同类型的非线性环节,图9.1.2—41表示了几种典型非线性特性。

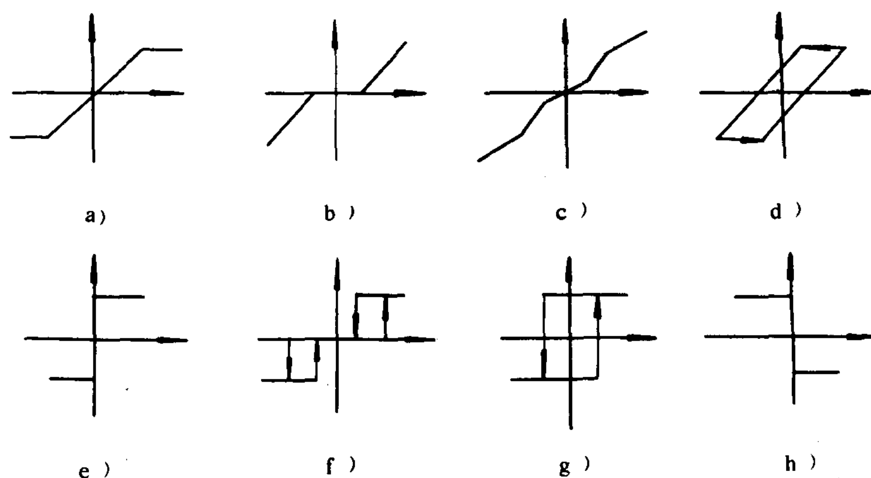


图9.1.2—41 典型非线性特性

a)饱和;b)死区(不灵敏区);c)非线性增益;d)间隙;e)理想继电特性;f)具有死区和磁带的继电特性;g)继电型执行器特性;h)库仑摩擦特性

5.1.3 非线性控制系统的研究方法

研究非线性控制系统常用的方法有下列几种:

1)分段线性分析法

这种方法适用于当系统可用对某一范围成立的线性方程式来描述的情况。通过微分方程式引入恰当的初始条件,将各段的解合在一起便可获得全解。

2)描述函数分析法(谐波平衡法)

此法能近似地研究稳定性特别是分析自振荡。它和线性系统中的频率法相似,因此可看成是非线性系统的频率法。

3)相平面分析法

这是一种解非线性方程式的图解法,可用以确定极限环和对阶跃函数的响应。相平面法不仅提供有关稳定性的信息,而且也提供了时间响应特性的信息。

4)李雅普诺夫法

此法适用于任何阶非线性系统的稳定性分析。但对于复杂非线性系统,要寻找李雅普诺夫函数是相当困难的,所以它的应用受到一定的限制。

此外,还可以利用计算机分析研究。为了处理非线性,计算机提供了新方法。运用模拟计算机或数字计算机仿真技术,对分析和处理非线性系统是很有效的。

5.2 描述函数法

5.2.1 描述函数

1)描述函数的概念

非线性环节在正弦波输入下,输出中除有与输入同频率的基波分量,还有无限多的高次谐波分量。描述函数法就是仅取输出中的基波分量而略去高次谐波分量来近似表示非线性环节的特性的一种方法。非线性环节的描述函数,是非线性环节在正弦输入下,输出中的基波分量与输入正弦量的复数比,它也称复放大系数。

设非线性环节的正弦输入为 $u(t)=A\sin\omega t$,输出 $y(t)$ 可以展成富里叶级数。当非线性特性对称时平均分量为零。输出 $y(t)$ 的基波分量 $y_1(t)$ 为

$$Y_1(t) = aA\sin\omega t + bA\cos\omega t = B\sin(\omega t + \psi)$$

式中，$a=\frac{1}{\pi A}\int_0^{2\pi} y(t)\sin\omega t d(\omega t)$，$b=\frac{1}{\pi A}\int_0^{2\pi} y(t)\cos\omega t d(\omega t)$，$B=A\sqrt{a^2+b^2}$，$\psi=tg^{-1}b/a$。

描述函数 G_N 为

$$G_N = \frac{B}{A}e^{j\psi} = \sqrt{a^2+b^2}e^{j\psi} = a + jb \qquad (9.1.2—143)$$

式中，A 是正弦输入的幅值，B 是输出基波分量的幅值，ψ 是输出基波分量相对正弦输入的相角。

当非线性环节是静特性时，G_N 仅是输入的幅值 A 的函数；当非线性环节还包含贮能元件时，G_N 是输入的幅值 A 和频率 ω 的函数。在方框图中 G_N 相当于传递函数或频率特性。

利用描述函数研究非线性系统时，为提高准确性，系统必须满足下列两个要求：

(1)系统中的线性部分是一个低通滤波器，即线性部分的传递函数分母阶次大于分子阶次；

(2)系统中只有一个非线性环节。

2)典型非线性特性的描述函数

一些常用的典型非线性特性的描述函数列于表 9.1.2—21。

表 9.1.2—21 **典型非线性特性的描述函数**

序号	非线性特性	描述函数 $G_N=a+jb$	描述函数图
1	mh, M, h	$\frac{a}{N}=\frac{2}{\pi}\frac{1}{(A/h)}[1-(\frac{h}{A})^2+\sqrt{1-m^2(\frac{h}{A})^2}]$ $\frac{b}{N}=-\frac{2}{\pi}\frac{1}{(A/h)^2}(1-m)$；$N=\frac{M}{h}$	a/N, m=0.3, b/N, A/h, 1, 0, -1, 1, 3, 5
2	M, h	$\frac{a}{N}=\frac{4}{\pi}\frac{1}{(A/h)}\sqrt{1-(\frac{h}{A})^2}$ $\frac{b}{N}=-\frac{4}{\pi}\frac{1}{(A/h)^2}$；$N=\frac{M}{h}$	a/N, b/N, A/h, 1, 0, -1, 1, 3, 5
3	h, M	$\frac{a}{N}=\frac{4}{\pi}\frac{1}{(A/h)}\sqrt{1-(\frac{h}{A})^2}$ $\frac{b}{N}=0$；$N=\frac{M}{h}$	a/N, A/h, 1, 0, -1, 1, 3, 5

序号	非线性特性	描述函数 $G_N=a+jb$	描述函数图
4		$\frac{a}{N}=\frac{4}{\pi A}$;$N=M$ $\frac{b}{N}=0$	
5		$\frac{a}{N}=\frac{2}{\pi}\left(\sin^{-1}\frac{h_2}{A}-\sin^{-1}\frac{h_1}{A}+\frac{h_2}{A}\sqrt{1-(\frac{h_2}{A})^2}-\frac{h_1}{A}\sqrt{1-(\frac{h_1}{A})^2}\right)$ $\frac{b}{N}=0$;$N=\mathrm{tg}\beta=\frac{M}{h_2-h_1}$,当 $A\leqslant h_2$ 时 $\frac{h_2}{A}=1$	
6		$\frac{a}{N}=\frac{2}{\pi}\left(\sin^{-1}\frac{h}{A}+\frac{h}{A}\sqrt{1-(\frac{h}{A})^2}\right)$ $\frac{b}{N}=0$;$N=\mathrm{tg}\beta=\frac{M}{h}$	
7		$\frac{a}{N}=1-\frac{2}{\pi}\left(\sin^{-1}\frac{h}{A}+\frac{h}{A}\sqrt{1-(\frac{h}{A})^2}\right)$ $\frac{b}{N}=0$;$N=\mathrm{tg}\beta$	
8		$\frac{a}{N}=\frac{3}{4}\pi-\frac{1}{2}\sin^{-1}(1-\frac{2h}{A})+(1-\frac{2h}{A})\sqrt{\frac{h}{A}(1-\frac{h}{A})}$ $\frac{b}{N}=-\frac{4}{\pi}\frac{h}{A}(1-\frac{h}{A})$;$N=\mathrm{tg}\beta$	

5.2.2 用描述函数法分析非线性控制系统

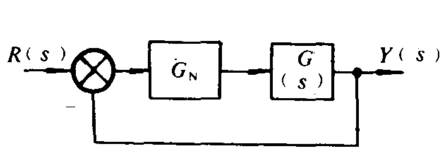


图 9.1.2—42 非线性控制系统方框图

具有非线性环节的控制系统可用图 9.1.2—42 所示的方框图来表示。其中 G(s)是线性部分的传递函数，G_N 是非线性环节的描述函数。如果非线性环节输出的高次谐波通过线性部分已被充分衰减，那末，非线性环节输出中有意义的只是基波分量。于是，系统的稳定性便可用描述函数法来评定。

5.2.2.1 稳定性分析

描述函数法本质上是频率法，；因此可沿用线性反馈控制中介绍的奈魁斯特判据来分析稳定性。按图 9.1.2—42 闭环频率特性为 $G_NG(j\omega)/[1+G_NG(j\omega)]$，闭环特征方程式为

$$1+G_NG(j\omega)=0$$

或者写成
$$G(j\omega)=\frac{-1}{G_N} \qquad (9.1.2-144)$$

在描述函数法中，$-1/G_N$ 的轨迹即为临界点的轨迹(线性控制系统中临界点是(－1，j0)点)。因此，可利用 $-1/G_N$ 轨迹和 $G(j\omega)$ 轨迹之间的相对位置来判别稳定性。

现将 $G(j\omega)$ 和 $-1/G_N$ 画在幅相平面上，如图 9.1.2—43 所示。

图 9.1.2—43 $G(j\omega)$ 和 $-1/G_N$ 的轨迹

设 G(s)没有在极点，则按奈魁斯特判据可得：

1)如果 $-1/G_N$ 轨迹未被 $G(j\omega)$ 轨迹包围，则系统是稳定的；

2)如果 $-1/G_N$ 轨迹被 $G(j\omega)$ 轨迹包围，则系统是不稳定的；

3)如果 $-1/G_N$ 轨迹和 $G(j\omega)$ 轨迹相交，则系统的输出就可能出现自振荡，即极限环。这种自振荡不是正弦的，但可用一个正弦振荡来近似。振荡的频率和幅值可用交点处 $G(j\omega)$ 轨迹上的 ω 值和 $-1/G_N$ 轨迹上的 A 值来表征。

5.2.2.2 自振荡(极限环)分析

在图 9.1.2—43 上 $G(j\omega)$ 与 $-1/G_N$ 有两个交点：M 点和 N 点。在 $-1/G_N$ 轨迹上 A 值朝着 M 点到 NN 的方向增大，这里 A 值是非线性环节正弦输入的幅值。按奈魁斯特判据可得：

1)M 点相当于一个不稳定极限环，在该点自振荡不能稳定存在。

2)N 点相当于一个稳定的极限环，在该点自振荡是稳定存在的。

5.3 相平面法

相平面法适用于分析二阶非线性控制系统，应用相平面图可分析非线性控制系统的稳定性和时间响应特性。

5.3.1 相轨迹和相平面图

对于二阶非线性控制系统，以状态变量 x 为横坐标，状态变量 $y(=\frac{dx}{dt})$ 作为纵坐标，则 x 和 y 便构成相平面。y 和 x 在微分方程式中的依赖关系可在相平面上作出曲线，这便是相轨迹。一簇不同初始条件下的相轨迹便构成相平面图。例如设二阶线性系统的微分方程式为

$$\frac{d^2x}{dt^2}+2\zeta\omega_n\frac{dx}{dt}+\omega_n^2x=0$$

令 $y=\frac{dx}{dt}$， 则状态方程式为

$$\begin{cases}\frac{dy}{dt}=-(2\xi\omega_n y+\omega_n^2x)\\ \frac{dx}{dt}=y\end{cases}$$

由上式可得

$$\frac{dy}{dx}=-\frac{2\xi\omega_n y+\omega_n^2x}{y} \qquad (9.1.2-145)$$

当 $\xi=0$ 时，按式(9.1.2—145)可得相轨迹方程式为

$$x^2+\frac{y^2}{\omega_n^2}=x_0^2+\frac{y_0^2}{\omega_n^2}=A^2$$

其相轨迹如表 9.1.2—22 中序号 5 所示，它是一簇同心椭园。

按式(9.1.2—145)同样可作出 ξ 不为零时的相轨迹，分别表示在表 9.1.2—22 序号 1 至 4 上。

当二阶线性微分方程式的第三项为负值时，即

$$\frac{d^2x}{dt^2}+2\xi\omega_n\frac{dx}{dt}-\omega_n^2x=0$$

不论 ξ 为任何值，系统都是不稳定的。当 $\xi=0$ 时(无阻尼斥力系统)，其相轨迹如该表序号 6 所示

表 9.1.2—22　　**二阶线性系统的相轨迹**

序号	微分方程式	根分布	奇点	相轨迹	时间曲线
1	$0<\xi<1$	$j\omega$, σ	稳定的焦点	y, x	x, t
2	$-1<\xi<0$	σ	不稳定焦点	y, x	x

续上表

序号	微分方程式	根分布	奇点	相轨迹	时间曲线
3	$\xi>1$		稳定的节点		
4	$\xi<-1$		不稳定节点		
5	$\xi=0$		中心点		
6	$\frac{dx^2}{dt^2}-\omega_n x=0$		鞍点		

5.3.2 相轨迹的奇点和极限环

1）奇点

相轨迹的斜率不能由该点的坐标单值地确定，这种点称为奇点

根据相轨迹形状的不同，奇点可分为焦点、节点、中心点和鞍点

焦点附近的相轨迹为对数螺旋线。稳定的焦点相轨迹的方向收敛于它，对应于衰减振荡过程；不稳定焦点相轨迹的方向背向于它，对应于发散振荡过程。

稳定的节点相轨迹的方向收敛于它，对应于稳定的非振荡过程；不稳定节点相轨迹的方向背

向于它，对应于不稳定的非振荡过程。具有节点的相轨迹有两条直线相轨迹通过节点，称为节点轴，其余相轨迹以它们为渐近线。

中心点是一个孤立的奇点，相轨迹不通过它，在它附近的相轨迹是一簇封闭曲线，对应于等幅振荡过程。

具有鞍点的相轨迹有两条直线相轨迹通过鞍点，称为分离线，其余相轨迹均不穿过它们，而以它们为渐近线发散出去，对应于不稳定过程。

2）极限环

一些非线性系统，例如具有饱和特性，继电器特性等，在满足一定条件时，相平面上可能出现闭合的相轨迹，这种闭合的相轨迹称为极限环。极限环可分为稳定极限环、不稳定极限环和半稳定极限环。

（1）稳定极限环

环内的相轨迹均从奇点出发，由里卷向极限环。环外的相轨迹都从外边卷向极限环。因此，不论系统的初始状态如何，系统的运动状态最终均以环上的轨迹来表示，它对应于系统具有稳定的自振荡。

（2）不稳定极限环

环内的相轨迹均离开极限环趋向奇点，而环外的相轨迹均离开极限环趋于无限远处。当初始状态决定的相轨迹位于极限环内时，系统是稳定的；初始状态位于极限环外时，系统是不稳定的。只有初始状态正好位于极限环上时，系统才能产生自振荡。但实际上总存在干扰，干扰会使相轨迹离开极限环，因此，这种极限环称为不稳定极限环。

（3）半稳定极限环

环内的相轨迹均离开极限环而趋向奇点，而环外的相轨迹均趋向极限环；或者是环内的相轨迹均从奇点出发卷向极限环，而环外的相轨迹均趋于无限远处。

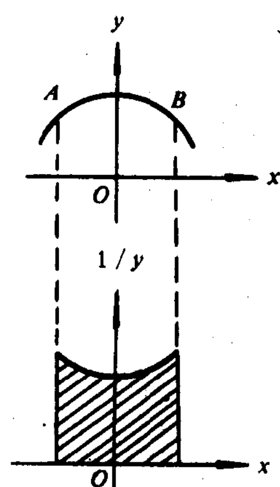


图 9.1.2—44　用 1/y 曲线计算时间

5.3.3　由相平面图求时间解

在分析系统时，希望得到 $x(t)\sim t$ 曲线，而相平面图上得到的是 y 和 x 的函数关系。因此需利用相平面图来确定 x(t)和 t 的关系。相轨迹上坐标为 x_1 的点移到坐标为 x_2 的位置所需的时间，可以按下式计算

$$t_2-t_1=\int_{x_1}^{x_2}\frac{dx}{y} \qquad (9.1.2-146)$$

上列积分可用近似计算积分的方法求出，现介绍用 1/y 曲线来计算时间。根据相轨迹图，以 x 为横坐标，1/y 为纵坐标，画出 1/y 曲线。按式(9.1.2—146)可知，1/y 曲线下的面积就表示了相应的时间间隔。在图 9.1.2—44 上，相轨迹从 A 点到 B 点所经历的时间就是图中阴影线部分的面积。利用解析法或图解法可以求出这一面积。

5.3.4　非线性控制系统的相平面分析

设一非线性控制系统的方框图和非线性环节 G_N 的特性表示在图 9.1.2—45 上，其中 G(s)＝K/s(Ts＋1)

由图可得此系统的方程式为

$$T\ddot{y}+\dot{y}=Ku$$

$$u=\begin{cases} ke & |e|<e_0 \\ e & |e|>e_0 \end{cases}$$

$$e=r-y$$

设系统参数间满足下列关系式：

$$\frac{1}{2\sqrt{KT}}<1<\frac{1}{2\sqrt{KkT}}$$

设 $r(t)=r_0\cdot 1(t)$，则 $t>0$ 时 $\ddot{r}=\dot{r}=0$，可得

$$T\ddot{e}+\dot{e}+Ke=0 \quad |e|>e_0 \tag{9.1.2-147}$$

$$T\ddot{e}+\dot{e}+kKe=0 \quad |e|<e_0 \tag{9.1.2-148}$$

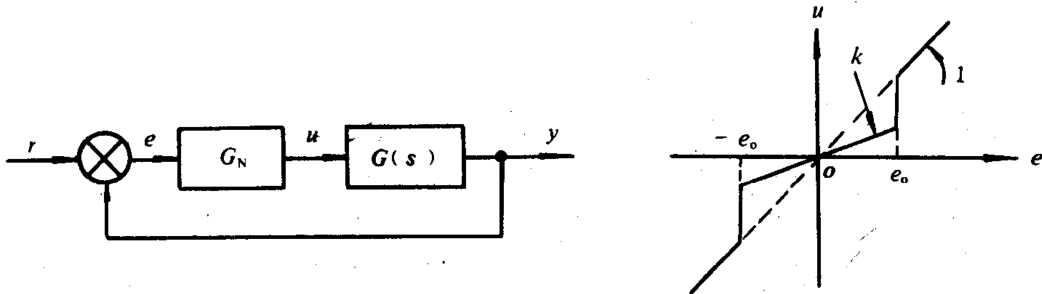


图 9.1.2－45 具有非线性放大器的系统

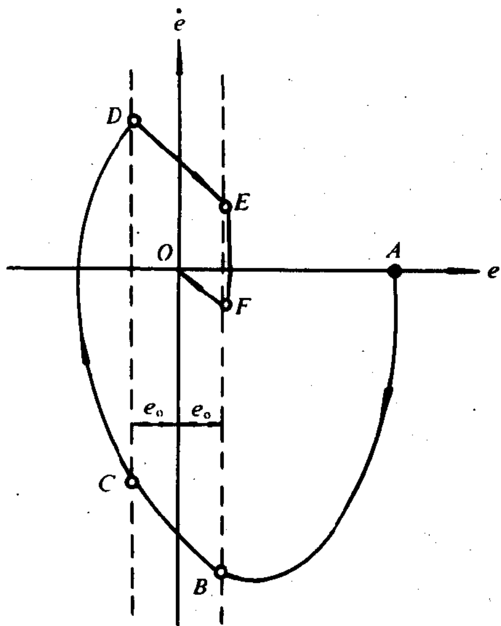


图 9.1.2－46 阶跃输入下的相轨迹

取 e 为横坐标，$\dot{e}$ 为纵坐标，这时开关线 $e=\pm e_0$ 把相平面分成三个区域。当 $1/2\sqrt{KT}<1$ 时，对应于式(9.1.2－147)中 $\xi<1$。因此，在 $|e|>e_0$ 即 $e>e_0$ 和 $e<-e_0$ 区域内，由式(9.1.2－147)作出的相轨迹是具有稳定焦点的相轨迹。当 $1/2\sqrt{kKT}>1$ 时，对应于式(9.1.2－148)中 $\xi>1$。因此，在 $|e|<e_0$ 区域内，由式(9.1.2－148)作出的相轨迹是具有稳定节点的相轨迹。图 9.1.2－46 表示了由式(9.1.2－147)、(9.1.2－148)作出的阶跃输入下系统偏差信号的相轨迹。相轨迹的起点 A 由初始条件 $e(0)=r_0$ 和 $\dot{e}(0)=0$ 所决定，它经过 BCDEF 最终趋于相平面的原点。这说明在阶跃输入下系统的静差为零。由相平面图可知，相轨迹与负实轴相交，故系统的阶跃响应 y(t) 出现超调现象。当阶跃输入减小(即 r_0 减小)时，使相轨迹不再与负实轴相交，y(t) 便不再出现超调而是单调的。因此，输入信号的大小或类型有所不同时，系统的响应曲线可以是单调的或振荡的，这是非线性系统的一个重要特点。

参考文献

［1］ 蔡尚峰主编，自动控制理论（下册），机械工业出版社，1981 年

［2］ 胡寿松主编 自动控制原理（修订版），国防工业出版社，1984 年

［3］ S. M. Shinners 著，李育才译，现代控制系统理论及应用，机械工业出版社，1980 年

［4］ D. P Atherton, Nonlinear Control Engineering, Van Nostrand Reinhold Co. , 1975

［5］ B. A. бесекерский, Е. П. Попов, Теория систем автоматииескомо ремулированийя, изд. 《наука》, Главная редакуия фиииикоматипуеской литературы, 1975

6 离散控制系统

离散控制系统也称采样控制系统，其特点是系统的某一部分的信号传递，不是以连续模拟量的形式进行，而是以脉冲或数字序列形式进行的。

6.1 离散控制系统的基本概念

6.1.1 离散控制系统的一般方框图

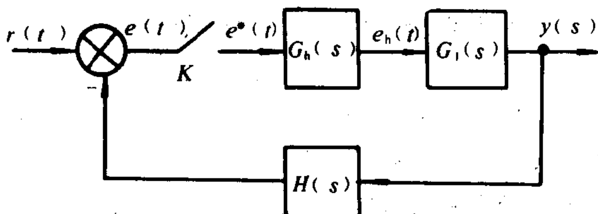


图 9.1.2—47 离散控制系统的一般方框图

离散控制系统的一般方框图如图 9.1.2—47 所示。图中 r(t)、y(t)、b(t)和 e(t)分别表示系统的控制量、被控量、反馈量和偏差信号，它们都是连续量。开关 K 代表采样器，它把连续量 e(t)采样成离散量 $e^*(t)$。$G_h(s)$是保持器，它把离散量 $e^*(t)$复现成连续量 eh(t)。Gr(s)和 H(s)分别是被控对象和测量单元的传递函数。

采样器的采样方式最常用的是采样周期等于常数的等速采样。

采用数字控制器或数字计算机的数字控制系统中，模数转换器 A/D 对应于开关 K，数模转换器对应于保持器 $G_h(s)$。

6.1.2 离散控制系统的研究方法

离散控制系统的研究方法主要有两种：

1)Z 变换法：该法在复数域内进行研究。

2)状态空间分析法：该法在时域内进行研究。

6.2 采样器和保持器

6.2.1 采样器

采样器或采样开关是一种把连续信号转变为离散信号的机构。通常选择采样持续时间远小于采样周期 T，也远小于系统连续部分的最大时间常数。因此在分析时可近似认为采样持续时间趋于零，把采样器看成一个理想开关。采样过程可以看成是一个幅值调制过程，采样器好象是一个幅值调制器。设 $\delta_T(t)$是幅值调制器的载波，它是以 T 为周期的单位理想脉冲序列：

$$\delta_T(t)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}\delta(t-nT)$$

当理想开关输入连续信号 e(t)时，亦即载波 $\delta_T(t)$ 被输入连续信号 e(t)调幅，其输出信号即为调制脉冲序列 $e^*(t)$：

$$e^*(t)=e(t)\delta_T(t)=e(t)\sum_{n=-\infty}^{\infty}\delta(t-nT)$$

当 t<0 时 e(t)=0，由此可得

$$e^*(t)=\sum_{n=0}^{\infty}e(nT)\delta(t-nT) \qquad (9.1.2-149)$$

由上式可知，理想开关输出的脉冲强度等于 t=0、t=T、t=2T……时的输入信号值。

按式(9.1.2-149)，$e^*(t)$的象函数 $E^*(s)$为

$$E^*(s)=L[e^*(t)]=\sum_{n=0}^{\infty}e(nT)e^{-nTs} \qquad (9.1.2-150)$$

6.2.2 保持器

保持器的作用是使采样信号即调制离散脉冲序列 $e^*(t)$近似地复现采样前的连续信号。常用的有零阶保持器，其它还有一阶保持器和二阶保持器等。

在 t=nT 和 t=(n+1)T 之间的信号 e(t)可以表示为一幂级数：

$$e(t)=e(nT)+\dot{e}(nT)(T-nT)+\frac{\ddot{e}(nT)}{2!}(t-nT)^2+\cdots\cdots \qquad (9.1.2-151)$$

1)零阶保持器

零阶保持器的作用是，使采样信号 $e^*(t)$每一个采样瞬时的采样值 e(nT)(n=0,1,……)一直保持到下一个采样瞬时，从而使采样信号 $e^*(t)$变成阶梯信号 $e_h(t)$。亦即当 $nT\leqslant t\leqslant(n+1)T$ 时

$$e_h(t)=e(nT) \qquad (n=0,1,2,\cdots\cdots) \qquad (9.1.2-152)$$

因为 $e_h(t)$在每个采样区内的值均为常数，其导数为零，故称为零阶保持器。

零价保持器的脉冲过渡函数 $g_h(t)$为两个单位阶跃函数之和，即 $g_h(t)=1(t)-1(t-T)$。它的传递函数 $G_h(s)$：

$$G_h(s)=L[g_h(t)]=\frac{1}{s}-\frac{e^{-Ts}}{s}=\frac{1-e^{-Ts}}{s} \qquad (9.1.2-153)$$

零阶保持器可近似地用无源电路例如 RC 惯性电路来实现：由式(9.1.2-113)近似地可得：

$$G_h(s)=\frac{1-e^{-Ts}}{s}=\frac{1}{s}(1-\frac{1}{eTs})\approx\frac{1}{s}(1-\frac{1}{Ts+1})=\frac{T}{Ts+1}$$

2)一阶保持器

如果在每个采样周期内(即 $nT\leqslant n\leqslant(n+1)T$)按式 9.1.2-151)令

$$e_h(t)=e(nT)+\dot{e}(nT)(t-nT) \qquad (n=0,1,2,\cdots\cdots) \qquad (9.1.2-154)$$

则称为一阶保持器。如果一阶导数可用有限差来表示，则

$$e_h(t)=\dot{e}(nT)+\frac{e(nT)-e[(n-1)T]}{T}(t-nT) \qquad (n=0,1,2\cdots\cdots)$$

这是一个斜坡函数。一阶保持器的传递函数 $G_h(s)$为

$$G_h(s0=\frac{1+ts}{T}(\frac{1-eTs}{s})^2 \qquad (9.1.2-155)$$

6.2.3 采样周期 T 的选择

连续信号 e(t)的富里叶变换为 E(jω)，其频谱|E(jω)|一般是一个单一的连续频谱。设其

最高频率即频带宽度为 ω_n，根据采样定理即香农(shannon)定理，采样周期 T 至少应满足下式：

$$T \leqslant \frac{\pi}{\omega_n} \text{即} \quad \omega_s = \frac{2\pi}{T} \geqslant 2\omega_n \qquad (9.1.2-156)$$

采样周期的这样选择，可保证不丢失有用信号。在实际使用时，ω_s 常选得比 2ωn 大，ω_s 愈大，即 T 愈小，采样误差愈小。

6.3 Z 变 换

线性离散控制系统的动态特性通常用线性差分方程式来描述。Z 变换将差分方程式转换到 Z 平面，使求解差分方程式的问题变为求解代数方程式的问题，从而大大简化离散控制系统的分析和设计。

6.3.1 Z 变换的定义

如果系统的信号以离散形式表示，如式(9.1.2—149)所示，则拉氏变换后具有 e^{-nTs} 项，如式(9.1.2—150)所示：

$$E^*(s) = L[e^*(t)] = \sum_{n=0}^{\infty} e(nT)e^{-nTs}$$

因子 e^{-Ts} 是 s 的超越函数。设 $e^{Ts}=z$，并将 $E^*(s)$ 写成 E(Z)，则得

$$E(Z) = E^*(s) = E^*\frac{1}{T}\ln z) = \sum_{N=0}^{\infty} E(nT)Z^{-n} \qquad (9.1.2-157)$$

上式定义为离散型函数 $e^*(t)$ 的 Z 变换。$e^*(t)$ 称为 E(Z) 的原函数，E(Z) 称为 $e^*(t)$ 的象函数，并用 Z[] 符号表示 Z 变换，Z^{-1}[] 表示 Z 反变换。

在 Z 变换中，只考虑采样瞬时的信号值，如果给出的是 e(t)，则必须求出 $e^*(t)$ 然后再进行 Z 变换。

6.3.2 Z 变换基本定理和常用函数的 Z 变换式

常用函数的 Z 变换函数列于表 9.1.2—23 上。表上还列出了相应拉氏变换函数。Z 变换基本定理列于表 9.1.2—24 上。

表 9.1.2—23 **Z 变 换 表**

序号	原 函 数	拉氏变换函数	Z 变换函数
1	$\delta(t)$	1	1
2	$\delta(t-nT)$	e^{-nTs}	Z^{-n}
3	1(t)	$\frac{1}{s}$	$\frac{Z}{Z-1}$
4	$\delta_T(t) = \sum_{n=0}^{\infty}\delta(t-nT)$	$\frac{1}{1-e^{-Ts}}$	$\frac{Z}{Z-1}$
5	1(t−T)	$\frac{e^{-Ts}}{s}$	$\frac{1}{Z^{-1}}$
6	t	$\frac{1}{s^2}$	$\frac{TZ}{\alpha(Z-1)^2}$
7	$\frac{t^2}{2}$	$\frac{1}{s^3}$	$\frac{T^2}{2}\cdot\frac{Z(Z+1)}{(Z-1)^3}$
8	$\frac{t^n}{n!}$	$\frac{1}{s^{n+1}}$	$\lim_{\alpha\to 0}\frac{(-1)^n}{n!}\frac{\partial^n}{\partial\alpha^n}(\frac{Z}{Z-e^{-\alpha T}})$

续上表

序号	原 函 数	拉氏变换函数	Z 变换函数
9	$e^{\pm\alpha T}$	$\frac{1}{s\mp\alpha}$	$\frac{Z}{Z-e^{\pm\alpha T}}$
10	$t.e^{-\alpha t}$	$\frac{1}{(s+\alpha)^2}$	$\frac{Te^{-\alpha T}.Z}{(Z-e-\alpha T)^2}$
11	$1-E^{-\alpha T}$	$\frac{\alpha}{s(s+\alpha)}$	$\frac{(1-e^{-\alpha T})Z}{(Z-1)(Z-e^{-\alpha T})}$
12	$e^{-\alpha_1 t}-e^{-\alpha_2 t}$	$\frac{\alpha_2+\alpha_1}{(s+\alpha_1)(s+\alpha_2)}$	$\frac{(e^{-\alpha_1 T}-e^{-\alpha_2 T})z}{(Z-e^{-\alpha_1 T})(Z-e^{-\alpha_2 T})}$
13	$\sin\omega t$	$\frac{\omega}{s^2+\omega^2}$	$\frac{Z\sin\omega T}{Z^2-2Z\cos\omega T+1}$
14	$\cos\omega T$	$\frac{s}{s^2+\omega^2}$	$\frac{Z(Z-\cos\omega T)}{Z^2-2Z\cos\omega T+1}$
15	$e^{-\alpha t}\sin\omega t$	$\frac{\omega}{(s+\alpha)^2+\omega^2}$	$\frac{Ze^{-\alpha T}\sin\omega T)}{z^2-2Ze^{-\alpha T}\cos\omega T+e^{-2\alpha T}}$
16	$e^{-\alpha t}\cos\omega t$	$\frac{s+2}{(s+\alpha)^2+\omega^2}$	$\frac{Z(Z-e^{-\alpha T}\cos\omega t)}{Z^2-2Ze^{-\alpha T}\cos\omega t+e^{-2\alpha T}}$
17	$\alpha^n(n=0,1,\cdots\cdots)$		$\frac{Z}{Z-\alpha}$

表 9.1.2—24　**Z 变换基本定理**

序号	名 称	表 示 式	说 明
1	线性定理	$Z[e_1(t)\pm e_2(t)]=E_1(Z)+E_2(Z)$ $z[\alpha e(t)]=\alpha E(Z)$	$E_1(Z)=Z[e_1(t)]$ $E_2(Z)=Z[e_2(t)]$ $E(Z)=Z[e(t)]$
2	初值定理	$e(0)=\lim\limits_{t\to0}e^*(t)=\lim\limits_{Z\to\infty}E(Z)$	$E(Z)=Z[e(t)]$
3	终值定理	$e(\infty)=\lim\limits_{Z\to1}\cdot\frac{Z-1}{Z}.E(Z)$	$E(Z)=Z[e(t)]$
4	实数位移定理	$Z[e(t-nT)]=Z^{-n}E(Z)$ $Z[e(t+nT)]=Z^n[E(Z)-\sum\limits_{k=0}^{N-1}e(kT)z^{-K}]$	$E(Z)=Z[e(t)]$ n 为正整数
5	复数位移定理	$Z[e(t)e^{\mp\alpha t}]=E(Ze^{\mp\alpha T})$	$E(Z)=Z[e(t)]$
6	象函数相乘定理	$Z\{\sum\limits_{m=0}^{n}e_2(mT)e_1(nT-mT)\}=E_1(Z)E_2(Z)$	$E_1(Z)=Z[e_1(t)]$ $E_2(Z)=Z[e_2(t)]$

6.3.3 Z 反变换

Z 反变换是根据 Z 变换的象函数 E(Z)求其对应的原函数 $e^*(t)$。离散型函数 $e^*(t)$和连续函数 e(t)之间的关系并不总是唯一的。

通常求 E(Z)反变换的方法有三种,即部分分式展开法,幂级数法和反变换公式法。

1)部分分式展开法

将 E(Z)展开成分式代数和的形式,然后应用 Z 变换表 9.1.2—23 找出每个分式所对应的时间函数 e(t),将其代数相加后再按式(9.1.2—109)转变为离散型函数,它便是与 E(Z)相对

应的原函数。

从Z变换表9.1.2—23可以看出，所有Z变换函数E(Z)在其分子上通常都有因子Z。为方便起见，可先对E(Z)/Z展开部分分式，然后将所得结果的每一项都乘以Z，即可得E(Z)的部分幺式展开式。

2)幂级数法

E(Z)的一般表示式为

$$E(Z)=\frac{b_0Z^m+b_1Z^{m-1}+\cdots\cdots+b_m}{a_0Z^n+a_1Z^{n-1}+\cdots\cdots+a_n}$$

通常式中n≥m。将上式用分母除分子，应将商按Z^{-1}的升幂排列可得

$$E(Z)=d_0+d_1Z^{-1}+d_2Z^{-2}+\cdots\cdots=\sum_{n=0}^{\infty}d_nZ^{-n}$$

由Z变换的定义式(9.1.2—157)可知，Z^{-n}的系数dn(n=0,1……)即是e(nT)(n=0,1,……)。由此，按式(9.1.2—146)即可求得$e^*(t)$。

3)反变换公式法

e(nT)可由下列反变换公式求得：

$e(nT)=\frac{1}{2\pi j}\varphi_r E(Z)Z^{-n}dZ=\Sigma E(Z)Z^{n-1}$极点处的留数按式(9.1.2—149)即可由e(nT)得到$e*(t)$。

6.4 离散控制系统的脉冲传递函数

6.4.1 脉冲传递函数的定义和求取方法

设一开环离散控制系统的方框图如图9.1.2—18所示，图中G(s)为连续部分的传递函数(包括保持器)。

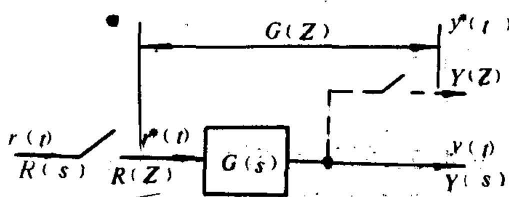


图9.1.2—48 开环离散控制系统方框图

输入信号r(t)经采样后为$r^*(t)$，其Z变换函数为R(Z)；输出信号y(t)经同步采样后为$y^*(t)$，它的Z变换函数为y(Z)。脉冲传递函数的定义为：

$$G(Z)=\frac{Y(Z)}{R(Z)} \qquad (9.1.2-158)$$

对于大多数离散控制系统，输出是连续信号，为便于研究，可在输出端虚设一个理想采样开关，如图上虚线所示，它与输入采样同步工作，并具有相同的采样周期。如果y(t)比较平滑，则当采样频率ω_s较高时，便可用$y^*(t)$近似地描述y(t)。

求取脉冲传递函数的一般步骤是：

1)求出系统的传递函数G(s)；

2)求出脉冲过渡函数g(t)；$g(t)=L^{-1}[G(s)]$；

3)计算$G(Z)=\sum_{n=0}^{\infty}g(nT)Z^{-n}$，式中g(nT)是以nT代替g(t)中的t求得。对于稳定系统，此无穷级数是收敛的。

6.4.2 串联元件的脉冲传递函数

1)各元件之间没有同步采样开关隔开

其方框图如图9.1.2—49a)所示，脉冲传递函数为

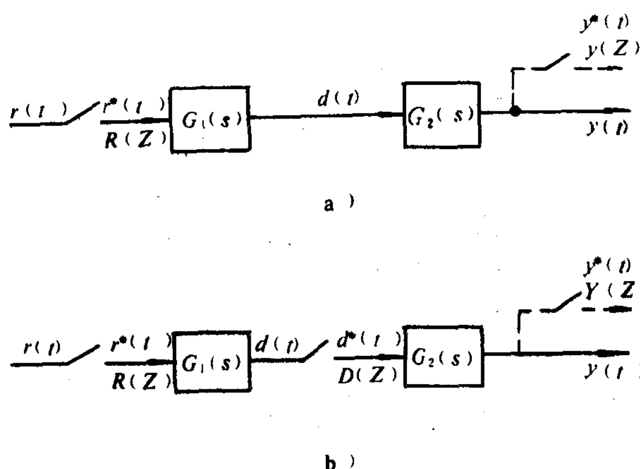


图 9.1.2—49　串联元件的方框图

a)各元件之间没有同步采样开关隔开；b)各元件之间有同步采样开关隔开

$$G(Z)=Z[G_1(s)G_2(s)]=G_1G_2(Z) \qquad (9.1.2-159)$$

式中 $G_1G_2(Z)$ 表示 $G_1(s)$ 与 $G_2(s)$ 相乘后的原函数 $g(t)=L^{-1}[G_1(s)G_2(s)]$ 的 Z 变换 $G(Z)=\sum_{n=0}^{\infty}g(nT)Z^{-n}$。

2)各元件之间有同步采样开关隔开

其方框图如图 9.1.2—49b)所示，脉冲传递函数为

$$G(Z)=G_1(Z)G_2(Z) \qquad (9.1.2-160)$$

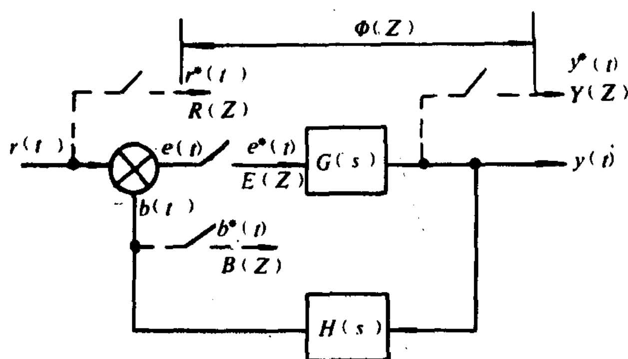


图 9.1.2—50　闭环离散控制系统方框图

6.4.3　闭环系统的脉冲传递函数

设闭环离散控制系统的方框图如图 9.1.2—50 所示。图中虚线所示的理想采样开关是为了分析方便而虚设的，所有理想采样开关均同步工作，具有相同的采样周期 T。由图可得

$$E(Z)=R(Z)-B(Z)$$

$$B(Z)=GH(Z)E(Z)$$

由此可得

$$\Phi(Z)=\frac{Y(Z)}{R(Z)}=\frac{G(Z)}{1+GH(Z)} \qquad (9.1.2-161)$$

$$\Phi_e(Z)=\frac{E(Z)}{R(Z)}=\frac{1}{1+GH(Z)} \qquad (9.1.2-162)$$

对于采样开关在闭环系统中个有各件配制的一些典型方框图，以及输出信号的 Z 变换函数 Y(Z)列于表 9.1.2—25。方框图中 G、H、R、Y 均是 G(s)H(s)、R(s)、Y(s)的简写。

表 9.1.2－25　　　　**闭环离散控制系统典型方框图**

序号	系统方框图	Y(Z)表示式
1	R G Y H	$Y=(Z)=\frac{G(Z)R(Z)}{1+HG(Z)}$
2	R G Y H	$Y(Z)=\frac{RG(Z)}{1+HG(Z)}$
3	R G Y H	$Y(Z)=\frac{G(Z)R(Z)}{1+G(Z)H(Z)}$
4	R G_1 G_2 Y H	$Y(Z)=\frac{RG_1(Z)G_2(Z)}{1+G_2HG_1(Z)}$
5	R G_1 G_2 Y H	$Y(Z)=\frac{G_1(Z)G_2(Z)R(Z)}{1+G_1(Z)HG_2(Z)}$
6	R G Y H	$Y(Z)=\frac{G(Z)R(Z)}{1+G(Z)H(Z)}$
7	R G_1 G_2 G_3 Y H	$Y(Z)=\frac{G_2(Z)G_3(Z)RG_1(Z)}{1+G_2(Z)G_1G_3H(Z)}$

续上表

序号	系统方框图	Y(Z)表示式
8		$Y(Z)=\frac{G_2(Z)RG_1(Z)}{1+G_2(Z)G_1H(Z)}$
9		$Y(Z)=\frac{G(Z)R(Z)}{1+G(Z)H(Z)}$
10		$Y(Z)=\frac{G_2(Z)RG_1(Z)}{1+G_2(Z)+G_1G_2(Z)}$

6.5 离散控制系统的稳定性

6.5.1 离散控制系统的稳定条件

由 $Z=e^{Ts}$，$s=\sigma+j\omega$ 可得 $|Z|=e^{T\sigma}$，$\angle Z=T\omega$。s 平面的左半部即 $\sigma<0$，相应于 Z 平面上的单位圆内即 $|Z|<1$。因此，离散控制系统的稳定条件是：

系统特征方程式的根均位于 Z 平面的单位圆内

6.5.2 离散控制系统的稳定性判据

常用的判据有代数判据(劳斯判据、古尔维茨判据)、奈魁斯特判据和对数判据等。

6.5.2.1 代数判据

把连续系统的代数判据(劳斯判据、古尔维茨判据)直接用于离散控制系统中是不行的，必须进行双线性变换，即 W 变换。令

$$Z=\frac{1+W}{1-W}\text{或 }W=\frac{Z-1}{Z+1} \qquad (9.1.2-163)$$

式中，Z 和 W 均为复变量：$Z=x+jy$，$w=U+jV$。

由式(9.1.2—163)可得

$$W=U+jV=\frac{(x^2+y^2)-1}{(x+1)^2+y^2}+j\frac{2y}{(x+1)^2+y^2}$$

由上式可知，W 平面上的虚轴对应于 $U=0$，亦即 $x^2+y^2-1=0$，这在 Z 平面上就是单位圆；Z 平面上单位圆内的区域为 $x^2+y^2<1$，对应于 W 平面上是实部为负的左半部；Z 平面上单位圆外的区域为 $x^2+y^2>1$，对应于 W 平面上是实部为正的右半部。因此，判别特征方程式 $D(Z)=0$ 的根是否位于 Z 平面上单位圆内的问题，便变为判别特征方程式 $D(W)=0$ 的根是否位于 W 平面上左半部的问题，从而便可应用代数判据来判别离散控制系统的稳定性。其步骤是：

1)求出离散控制系统的特征方程式 $D(Z)=0$;

2)进行 W 变换,得出 $D(W)=0$;

3)按 $D(W)=0$ 应用代数判据判别其根是否全为左根,如果全为左根,则该离散控制系统是稳定的,否则便是不稳定的。

6.5.2.2 奈魁斯特判据和对数判据

奈魁斯特判据和对数判据可用来按开环离散控制系统的脉冲传递函数来判别闭环离散控制系统的稳定性。

设闭环离散控制系统的特征方程式为

$$1+G(Z)=0$$

式中 $G(Z)$ 是开环离散控制系统的脉冲传递函数(参阅表 9.1.2—25)。将 $G(Z)$ 中的 Z 以式(9.1.2—163)代入可得

$$1+G(W)=0$$

令 $W=J\omega_p$,可求得 $G(j\omega_p)$,其中 ω_p 是虚拟频率。作出 $G(j\omega_p)$ 的奈魁斯特图和伯德图,便可把连续系统中应用的奈魁斯特判据和对数判据用来判别离散控制系统的稳定性。并且可进一步用稳定性幅值贮量、相角贮量和虚拟剪切频率 ω_{pc} 来评价离散控制系统的动态性能。当离散控制系统校正时,也可应用本章第三节随动控制中所介绍的频率法校正的方法。

6.6 离散控制系统的静差

在连续控制系统中,静差的计算可以用两种方法进行,一种是建立在终值定理基础上的静态误差系数法,另一种是基于偏差传递函数的动态误差系数法。这两种方法都可推广到离散控制系统。

设离散控制系统的方框图如图 9.1.2—50 所示,按式(9.1.2—162)控制端偏差脉冲传递函数为

$$\Phi_e(Z)=\frac{E(Z)}{R(Z)}=\frac{1}{1+GH(Z)}$$

式中 $GH(Z)$ 为开环系统的脉冲传递函数,对于单位分馈系统,$GH(Z)=G(Z)$。

6.6.1 静差和静态误差系数

由 Z 变换的终值定理可得采样瞬时的静差

$$e=\lim_{n\to\infty}e(nT)=\lim_{Z\to 1}\frac{Z-1}{Z}E(Z)$$

$$=\lim_{Z\to 1}\frac{Z-1}{Z}\Phi_e(Z)R(Z)=\lim_{Z\to 1}\frac{(Z-1)R(Z)}{Z[1+GH(Z)]}\qquad(9.1.2-164)$$

应用 Z 变换终值定理的条件与拉氏变换终值定理的条件相同。

1)位置静差和静态位置误差系数

控制量为阶跃函数 $r(t)=r_0\cdot 1(t)$,$R(Z)=r_0Z/(Z-1)$,采样瞬时的静差称为位置静差 e_p。按式(9.1.2—164)可得

$$e_p=\lim_{Z\to 1}\frac{r_0}{1+GH(Z)}=\frac{r_0}{1+\lim\limits_{Z\to 1}GH(Z)}=\frac{r_0}{1+K_p}$$

式中,
$$K_p=\lim_{z\to 1}GH(Z)\qquad(9.1.2-165)$$

称为静态位置误差系数。当 $GH(Z)$ 具有一个 $Z=1$ 的极点时,$K_p=\infty$,$e_p=0$。

2)速度静差和静态速度误差系数

控制量为斜坡函数 $r(t)=r_1 t$，$R(Z)=r_1 TZ/(Z-1)^2$，采样瞬时的静差称为速度静差 e_v。按式(9.1.2—164)可得

$$e_v=\lim_{Z\to 1}\frac{r_1 T}{(Z-1)[1+GH(Z)]}=\frac{r_1 T}{\lim\limits_{Z\to 1}(Z-1)GH(Z)}=\frac{r_1}{K_v}$$

式中，$K_v=\frac{1}{T}\lim\limits_{Z\to 1}(Z-1)GH(Z)$ (9·1·2—166)

称为静态速度误差系数。当 GH(Z)具有两个 Z=1 的极点时，$K_v=\infty$，$e_v=0$。

3)加速度静差和静态加速度误差系数

控制量为抛物线函数 $r(t)=r_2 t^2/2$，$R(Z)=r_2 T^2 Z(Z+1)/2(Z-1)^3$，采样瞬时的静差称为加速度静差 e_a。按式(9.1.2—164)可得

$$e_a=\lim_{Z\to 1}\frac{r_2 T^2(Z+1)}{2(Z-1)^2[1+GH(Z)]}=\frac{r_2 T^2}{\lim\limits_{Z\to 1}(Z-1)^2 GH(Z)}=\frac{r_2}{K_a}$$

式中 $K_a=\frac{1}{T^2}\lim\limits_{Z\to 1}(Z-1)^2 GH(Z)$ (9.1.2—167)

称为静态加速度误差系数。当 GH(Z)具有三个 Z=1 的极点时，$K_a=\infty$，$e_a=0$。

离散控制系统的静差与开环脉冲传递函数 GH(Z)的 Z=1 的极点密切相关，因此，离散控制系统可按开环脉冲传递函数的 Z=1 的极点来分类。设 GH(Z)的 Z=1 的极点有 ν 个，则把 ν=0，1，2，……等的离散控制系统分别称为零型(0 型)，一型(Ⅰ型)、二型(Ⅱ)……系统。表 9.1.2—26 列出了离散控制系统的类型及其相应的静态误差系数和静差。

表 9.1.2—26 **离散控制系统的静态误差系数和静差**

Z=1 的开环极点	系统类型	静态误差系数			$r(t)=r_0 1(t)$	$r(t)=r_1 t$	$r(t)=r_2 t^2/2$
		K_p	K_v	K_a	$e_p=r_0/1+K_p$	$e_v=r_1/K_v$	$e_a=r_2/K_a$
0	0	A	0	0	$r_0/1+A$	∞	∞
1	Ⅰ	∞	B	0	0	r_1/B	∞
2	Ⅱ	∞	∞	C	0	0	r_2/C
3	Ⅲ	∞	∞	∞	0	0	0

表中 A、B、C 是非零的有限数，它们分别按式(9.1.2—165)、(9.1.2—166)和(9.1.2—167)求得。

6.6.2 静差和动态误差系数

设控制量 r(t)的导数为 $r^{(i)}(t)=d^i r(t)/dt^i$ (i=1、2、…)，离散控制系统的偏差脉冲传递函数为 $\Phi_e(Z)$。令 $Z=e^{Ts}$，则 $\Phi^* e(s)=\Phi_e(Z)|_{Z=e^{Ts}}$。令

$$C_i=\left.\frac{d^i\Phi^* e(s)}{ds^i}\right|_{s=0}\qquad (i=0、1、2、\cdots)\qquad (9.1.2—168)$$

则离散控制系统采样瞬时 nT 的静差表示式为

$$e(nT)=C_0 r(nT)+C_1 r^{(1)}(nT)+\frac{C_2}{2!}r^{(2)}(nT)+\cdots\frac{C_i}{i!}r^{(i)}(nT)+\cdots\qquad (9.1.2—169)$$

系数 C_i(i=0、1、2、…)称为动态误差系数。C_0、C_1、C_2 分别称为动态位置、速度、加速度误差系数。知道了 C_i(i=0、1、2、…)的数值，以及控制量 r(t)及其各阶导数在采样瞬时 nT 的值，便可按式(9.1.2—169)求出采样瞬时 nT 的静差 e(nT)。

6.7 离散控制系统的过渡过程

当研究离散控制系统的动态性能时，通常假定输入量是单位阶跃函数 1(t)。这时系统被控量的 Z 变换函数 Y(Z)为

$$Y(Z)=\Phi(Z)R(Z)=\Phi(Z)\frac{Z}{Z-1}$$

式中 Φ(Z)是闭环系统的脉冲传递函数。

设 Y(Z)的一般表示式为

$$Y(Z)=\frac{b_0Z^m+b_1Z^{m-1}+\cdots\cdots+b_m}{a_0Z^n+a_1Z^{n-1}+\cdots+a_n}$$

通常式中 n≥m，将上式用幕级数法展开可得

$$Y(Z)=d_0+d_1Z^{-1}+d_2Z^{-2}+\cdots=\sum_{n=0}^{\infty}d_nZ^{-n}$$

由 Z 变换的定义式可知，Z^{-n}的系数 d_n(n=0、1、2、…)即是 y(nT)(n=0、1、2、…)。由此按式(9・1・2—149)便可求得 y*(t)为

$$y^*(t)=\sum_{n=0}^{\infty}y(nT)\delta(t-nT)=\sum_{n=0}^{\infty}dn\delta(t-nT) \qquad (9.1.2—170)$$

现举例说明之。设某一离散控制系统的方框图如图 9.1.2—50 所示，其中 G(s)=2/s(0.1s+1)，H(s)=1，r(t)=1(t)，采样周期 T=0.1s。求 y*(t)的步骤如下：

1)按 Z 变换表 9.1.2—23(序号 11)由 G(s)求得 G(Z)为

$$G(Z)=\frac{2(1-e^{-10T})Z}{(Z-1)(Z-e^{-10T})}=\frac{1.264Z}{(Z-1)(Z-0.368)}$$

2)确定 Y(Z)

$$Y(Z)=\Phi(Z)R(Z)=\frac{G(Z)}{1+G(Z)}\cdot\frac{Z}{Z-1}=\frac{1.264Z^2}{(Z-1)(Z^2-0.104Z+0.368)}$$

3)将 Y(Z)用幕级数法展开：

$$Y(Z)=1.264Z^{-1}+1.396Z^{-2}+0.945Z^{-3}+0.851Z^{-4}+1.008Z^{-5}+1.05Z^{-6}+1.00Z^{-7}+0.976Z^{-8}+\cdots\cdots$$

4)按式(9.1.2—170)确定 y*(t)：

$$y^*(t)=1.264\delta(t-T)+1.396\delta(t-2T)+0.945\delta(t-3T)+0.851\delta(t-4T)+1.008\delta(t-5T)+1.05\delta(t-6T)+1.00\delta(t-7T)+0.976\delta(t-8T)+\cdots\cdots$$

作出 y*(t)如图 9.1.2—51 所示，而系统被控量的连续曲线 y(t)如图上虚线所示。由此便可确定系统的动态品质。

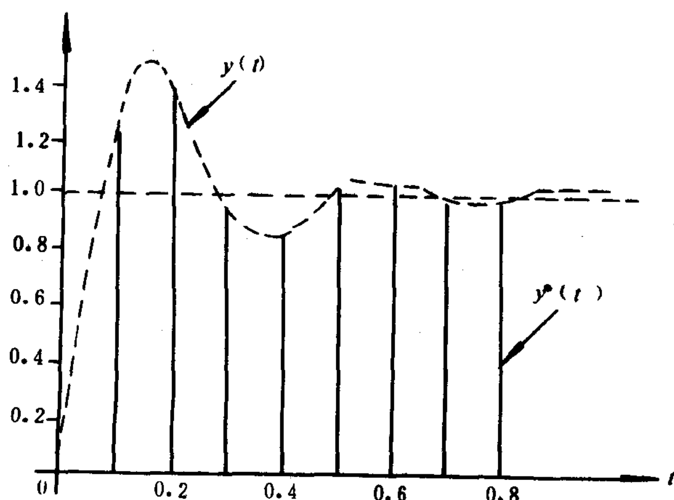


图 9.2.1—51 离散控制系统的阶跃过渡过程

由 $y^*(t)$ 作出的光滑曲线与实际的 $y(t)$ 的逼近程度，主要与下列因素有关：

1）系统连续部分的传递函数 G(S) 的滤波性能。如果滤波性能好，例如 G(S) 的极点数目比零点数目多两个或两个以上，则逼近程度要高一些。

2）采样频率 $\omega_s = T/2\Pi$ 的大小。如果 ω_s 大，例如当 G(S) 具有复数极点时，ω_s 大于 G(S) 复数极点虚部值几倍以上，则逼近程度要高一些。ω_s 越大，逼近程度越高。

7 多变量控制系统

假定一个控制系统的输入量多于一个或者它的输出量多于一个，就称这个系统为多变量控制系统。

7.1 系统模型

各种系统，从本质上来讲，都是非线性的。但为了应用比较成熟的各种线性系统理论，常采用非线性系统的线性化了的近似模型作为系统模型。

在线性多变量控制系统的分析中，一般采用下列四种类型的系统模型。

7.1.1 状态空间法

将描述系统输入 $u_h(t)$ 和系统输出 $y_i(t)$ 之间的任意阶次的线性微分方程组通过状态变量 $x_i(t)$ 及其导数 $(\frac{d^r x_j}{dt^r})$ 的转换表达成等值的一阶微分方程组形式。

$$x(t)=Ax(t)+Bu(t)$$
$$y(t)=Cx(t)+Du(t) \qquad (9.1.2\text{—}171)$$

x(t) 为 n 维状态列向量，u(t) 为 m 维输入列向量，y(t) 为 l 维输出列向量，A、B、C、D 为常数矩阵，其阶次分别为 $n\times n$、$n\times m$、$l\times n$、$l\times m$。

7.1.2 传递函数矩阵法

用输入向量 u(s) 和输出向量 y(s) 之间关系矩阵来表达输入和输出间的传递函数关系。这个关系矩阵就是传递函数矩阵 G(s)。

$$y(s)=G(s)u(s) \qquad (9.1.2\text{—}172)$$

矩阵 G(s) 的元 $g_{ij}(s)$ 表示输入 u_j 和输出 y_i 之间传递函数关系，它是两个 s 的多项式的比。

7.1.3 系统矩阵法

系统描述以矩阵形式的线性微分方程组和代数方程组表出，对这些方程组进行拉氏变换，并假定其初始值为零。

$$T(s)\xi=U(s)u$$
$$y=V(s)\xi+W(s)u \qquad (9.1.2\text{—}173)$$

ξ·u·y 为系统、输入和输出向量的拉氏变换；T、U、V、W 分别为 $r\times r$、$r\times m$、$l\times r$、$l\times m$ 多项式矩阵。

上式(9.1.2—173)也可写成下列形式

$$\begin{bmatrix} T(s) & U(s) \\ -V(s) & W(s) \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \xi \\ -u \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 0 \\ -y \end{bmatrix}$$

它的系统矩阵，定义如下，

$$P(s)=\begin{bmatrix} T(s) & U(s) \\ -V(s) & W(s) \end{bmatrix} \qquad (9.1.2\text{—}174)$$

和传递函数矩阵对应关系如下式所示

$$G(s)=V(s)T^{-1}(s)U(s)+W(s) \quad (9.1.2—175)$$

7.1.3.1 系统矩阵的一般表示形式

一般形式的系统矩阵以下列形式表出

$$P(s)=\begin{bmatrix} I_{n-r} & 0 & 0 \\ 0 & T(s) & U(s) \\ 0 & -V(s) & W(s) \end{bmatrix} \quad (9.1.2—176)$$

式中 n 为 1T(s)的阶也就是系统的阶，设 $r \geqslant n$，则单元阵 I_{n-r} 省去。定义：

$$T_1=\begin{bmatrix} I_{n-r} & 0 \\ 0 & T \end{bmatrix}, U_1=\begin{bmatrix} 0 \\ U \end{bmatrix}, V_1=[0 \quad V]$$

$$P(s)=\begin{bmatrix} T_1(s) & U_1(s) \\ -V_1(s) & W(s) \end{bmatrix} \quad (9.1.2—177)$$

称这种形式的系统矩阵为多项式系统矩阵。

另一种形式的系统矩阵为

$$P(s)=\begin{bmatrix} sI_n-A & B \\ -C & D(s) \end{bmatrix} \quad (9.1.2—178)$$

称这种形式的系统矩阵为状态空间系统矩阵。

其对应的传递函数矩阵如下式所示

$$G(s)=C(sI_n-A)^{-1}B+D(s) \quad (9.1.2—179)$$

7.1.3.2 去耦零点

1)极点的定义

定义由式(9.1.2—173)给出的系统极点为 $|T(s)|$ 的 n 个零点即 $\eta_1, \eta_2, \cdots\cdots \eta_n$。当 $T(s)=sI_n-A$，则系统极点就是 $|sI_n-A|$ 的零点，也就是 A 的特征值。这些极点以集合 $\{\eta_i\}$ 表示之，元数是 n。

对于传递函数矩阵 G(s)的极点一般采用下列定义，先组成 G 的所有子式，求其最小公分母多项式，则此多项式的零点便是 G 的极点。以集合 $\{\alpha_i\}$ 表示之，元数是 a，即 $\alpha_1, \alpha_2, \cdots\cdots \alpha_a$。

2)去耦零点

当由系统矩阵表达式转换成传递函数表达式时，某些系统极点可能会消失。这些系统极点由于和系统零点相消而消失。

这些消失掉的零点称为去耦零点·去耦零点又可分为输入去耦零点，输出去耦零点和输出入去耦零点三种。

输入去耦零点是由 T(s)和 U(s)的最大左公因子 $Q_1(s)$ 的零点所组成。$Q_1(s)$ 由下列式子给出

$$\left.\begin{aligned} T(s) &= Q_1(s)T_1(s) \\ U(s) &= Q_1(s)U_1(s) \end{aligned}\right\}$$

$|Q_1(s)|$ 的零点为 $\beta_1, \beta_2 \cdot \cdots\cdots \beta_b$，以集合 $\{\beta_i\}$ 表示之，元数为 b·

输出去耦零点是由 T(s)和 V(s)的最大右公因子 $Q_2(s)$ 的零点所组成。$Q_2(s)$ 由下列式子给出

$$\left.\begin{aligned} T(s) &= T_2(s)Q_2(s) \\ V(s) &= V_2(s)Q_2(s) \end{aligned}\right\}$$

$Q_2(s)$的零点为 γ_1、γ_2、……γ_C，以集合$\{\gamma_i\}$表示之，元数为 c。

输出入去耦零点以集合$\{\delta\}$表示之，元数为 d。其表示式为：

$$\{\delta_i\}=\{\gamma_i\}-\{\theta_i\} \tag{9.1.2—180}$$

上式中的$\{\theta_i\}$为 $T_1(s)$和 $V(s)$的最大右公因子 $Q_3(s)$的零点所组成，$|Q_3(s)|$的零点为 $\theta_1,\theta_2,\cdots\cdots\theta_\gamma$。

则 G(s)的极点集合$\{\alpha_i\}$由下列式子给出

$$\{\alpha_i\}=\{\eta_i\}-\{\beta_i,\gamma_i\}+\{\delta_i\} \tag{9.1.2—181}$$

例子：

$$P(s)=\left[\begin{array}{cccc|c} I_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s^2(s+1) & s(s+2) & -s \\ 0 & 0 & s+2 & 1 \\ \hline 0 & 0 & -1 & 0 \end{array}\right]$$

$\{\eta_i\}=\{0,0,-1,-2\}$

$\{\beta_i\}=\{0\}$

$\{\gamma_i\}=\{0,0,-1\}$

$\{\theta_i\}=\{0,-1\}$

$\{\delta_i\}=\{0\}$

$\{\alpha_i\}=\{-2\}$

其传递函数 $G(s)=V(s)T^{-1}(s)U(s)=\frac{1}{s+2}$，只有一个极点 $s=-2$，与上述$\{\alpha_i\}=\{-2\}$吻合。

3)最小阶次系统

具有下列条件之一者称为最小阶次系统。

(1)不存在任何去耦零点；

(2)矩阵 T、U 相互左素和矩阵 T、V 相互右素；

(3)系统可观可控。

7.1.4 脉冲响应矩阵法

一多维线性系统的 u 为 m×1 输入向量，y 为 l×1 输出向量，其输入输出在时域平面上的关系由下式给出

$$y(t)=\int_{-}^{t} G(t,\tau)u(\tau)d\tau \tag{9.1.2—182}$$

$G(t,\tau)$为系统脉冲响应矩阵。

7.1.5 开环和闭环系统关系

以状态空间法表出的开环和闭环系统的方框结构，见图 9.1.2—52。

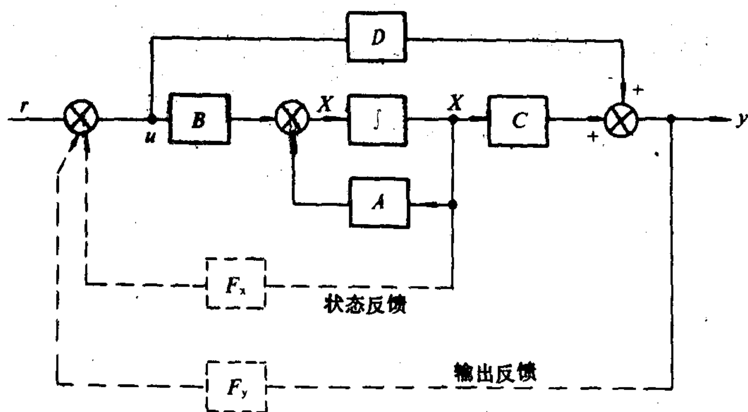


图 9.1.2—52　开环和闭环系统的结构图

开环方程　　$\dot{x}=Ax+Bu$

$$y=Cx+Du$$

当考虑状态反蚀时，其反蚀律由下式给出，

$$u=r-F_x x$$

r 为 m 维参考输入向量，则其闭环系统方程如下

$$\begin{aligned} \dot{x} &= (A-BF_x)X+Br \\ y &= (C-DF_x)X+Dr \end{aligned} \qquad (9.1.2-183)$$

当考虑输出反蚀时，其反蚀律由下式给出

$$u=r-F_y y$$

其闭环系统方程如下

$$\left.\begin{aligned} \dot{x} &= [A-BF_y(I_l+DF_y)^{-1}C]x \\ &\quad -BF_y(I_l+DF_y)^{-1}D_r+B_r \\ y &= (I_l+DF_y)^{-1}Cx+(I_l+DF_y)^{-1}Dr \end{aligned}\right\} \qquad (9\cdot1\cdot2-184)$$

假定$(I_l+DF_y)^{-1}$存在。

7.2 能控性和能观性

对于一个线性控制系统，如果从时间 t_0 开始的有限时间间隔内，可以用一个无约束的控制向量使得系统由初始状态 $x(t_0)$转移到另一个状态，那么系统就叫做在时间 t_0 是可控的，对于定常系统来说，它在某一时间区间内能控等价于任一区间内能控。

如果系统的状态 $x(t_0)$可通过在一个有限的时间间隔，由输出的观测值来确定，那么系统就叫做在时间 t_0 是能观的。对于定常系统来说，定常系统在某一区间内能观测等价于这个系统完全能观测。

7.2.1 能控性的判据

考察线性定常系统

$$\dot{x}=Ax(t)+Bu(t)$$

$$y(t)=Cx(t)$$

完全能控的充要条件是。

1)矩阵 $e^{At}B$ 的行线性独立($t\in(0,\infty)$)；

2)矩阵$[B,AB,\cdots\cdots A^{n-1}B]$满秩；

3)若 A 的特征值各不相同，则存在一个化 A 阵为对角阵的非奇异阵 P，设 $F=P^{-1}B$，F 阵中必无全为零的行；

4)在 s 域内，$adj\cdot(sI-A)B$ 和 $det(sI-A)$之间无公共因子。

7.2.2 能观性的判据

完全能观测的必充条件为

1)阵 Ce^{At}的列线性独立($t\in(0,\infty)$)；

2)阵$[C^T,A^TC^T,(A^T)^2C^T,\cdots(A^T)^{n-1}C^T]$满秩；

3)存在一个非奇异阵，使 $E=CP$，E 阵中必须无全为零的列；

4)在 s 域内，$Cadj(sI-A)$和 $det(sI-A)$之间无公共因子。

7.2.3 可控标准形和可观标准形

7.2.3.1　一种代数等价系统

给定一线性定常系统

$$\dot{x}=Ax+Bu$$
$$y=Cx$$

式中 x 为 n 维向量，u 为 r 维向量，y 为 m 维向量。对这个系统进行坐标的线性变换，其变换方法为 $x=T\tilde{x}(|T|\neq 0)$。便得到和原系统 S(A,B,C)代数等价的系统 $\tilde{S}(\tilde{A},\tilde{B},\tilde{C})$

$$\dot{\tilde{x}}=\tilde{A}\tilde{x}+\tilde{B}u$$
$$y=\tilde{C}\tilde{x}$$

两者系数间存在下列关系 $\tilde{A}=T^{-1}AT,\tilde{B}=T^{-1}B,\tilde{C}=CT$。对于这两个系统，当 S(A,B,C)可控时，$\tilde{S}(\tilde{A},\tilde{B},\tilde{C})$也可控。当 S(A,B,C)可观时，$\tilde{S}(\tilde{A},\tilde{B},\tilde{C})$也可观。这样，通过 T 的适当选择，可以得到可控或可观标准形。

7.2.3.2　可控标准形

可控标准形以下列方式组成

1)S(A,B,C)可控，则 $\Phi_c=[B\,\vdots\,AB,\cdots A^{n-1}B]$的秩为 n，从左到右选择 Φ_c 的每一列，保留与已选好的列线性无关的列，组成下列矩阵

$$\Gamma=[b_1,Ab_1,\cdots A^{\mu_1-1}b_1,b_2,Ab_2,\cdots A^{\mu_2-1}b_2,\cdots\cdots A^{\mu m-1}b_m]$$

式中 $\sum_{i=1}^{m}\mu_i=n$

2)组成 Γ^{-1}

$$\Gamma^{-1}=\begin{bmatrix}\gamma_1^t\\ \cdot\\ \cdot\\ \cdot\\ \gamma_n^t\end{bmatrix}$$

并设 $\gamma_{k_i}^t$ 为 Γ^{-1}的第 k_i 行，$k_i=\sum_{j=1}^{i}\mu_j(i=1,m)$

3)T 由下列形式组成

$$T=\begin{bmatrix}\gamma_{k_1}^t\\ \gamma_{k_1}^tA\\ \vdots\\ \gamma_{k_1}^tA^{\mu_1-1}\\ \gamma_{k_2}^t\\ \vdots\\ \gamma_{k_m}^tA^{\mu_m-1}\end{bmatrix}\tag{9.1.2—185}$$

4)则可控标准形 $\tilde{S}(\tilde{A},\tilde{B},\tilde{C})$由下列式子给出

其中 $\tilde{A}$ 具有下列形式

$$\tilde{A}=\begin{bmatrix}\tilde{A}_{01} & \cdots & \tilde{A}_{1m}\\ \tilde{A}_{m1} & \cdots & \tilde{A}_{mm}\end{bmatrix}\tag{9.1.2—186}$$

其对角线分块 $\widetilde{A}_{ii}$

$$\widetilde{A}_{ii}=\begin{bmatrix}0&1&0&0&\cdots&0\\0&0&1&\cdots&\cdots&0\\\vdots&&&&&\\0&\cdots&\cdots&\cdots&0&1\\\times&\times&\times&\cdots&\cdots&\times\end{bmatrix} \tag{9.1.2—187}$$

$i=1\cdots m;A_{ii}\in R^{\mu i\times\mu i}$。×表示可能的非零值。

其非对角线分块 $\widetilde{A}_{ij}$

$$\widetilde{A}_{ij}=\begin{bmatrix}0\\\cdots\cdots\cdots\cdots\\\times\times\times\cdots\times\end{bmatrix} \tag{9.1.2—188}$$

$\widetilde{A}_{ij}\in R^{\mu_i\times\mu_j};i,j=1,m,i\neq j$。

$\widetilde{B}$ 具有下列形式

$$\widetilde{B}=\begin{bmatrix}\widetilde{B}_1\\\vdots\\\widetilde{B}_m\end{bmatrix} \tag{9.1.2—189}$$

$$\widetilde{B}_i=\begin{bmatrix}0\\\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\0\quad 0\quad\cdots\quad 0\quad|\quad\times\quad\times\quad\cdots\quad\times\end{bmatrix} \tag{9.1.2—190}$$

$\widetilde{B}_i\in R^{\mu_i\times m}$;$\widetilde{C}$ 无特殊形成。$\widetilde{B}_i$ 中最后一行 i 列为 1,从(i+1)列到 m 列均为未定数。

7.2.3.3 可观标准形

1)设 S(A,B,C)可观,则 $\Phi_0=[C^T,A^TC^T,(A^T)^2C^T,\cdots(A^T)^{n-1}C^T]$的秩为 n,从左到右选择 Φ_0 的每一列,保留与选好的各列线性无关的列,组成下列矩阵

$$\Gamma=[C_1{}^T,A^TC_1^T,\cdots\cdots\cdots(A^T)^{\mu_1-1}C_1{}^T,C_2{}^T\cdots\cdots(A^T)^{\mu_e-1}C_e{}^T]$$

式中$\sum\limits_{i=n}^{1}\mu_i=n$。

2)组成

$$\Gamma^{-1}=\begin{bmatrix}\gamma_1{}^t\\\vdots\\\gamma_n^t\end{bmatrix}$$

使 $\gamma_{k_i}^T$为 Γ^{-1}的第 k_i 行。$k_i=\sum\limits_{i=1}^{i}\mu_j,i=1,l$。

3)要求的变换矩阵 T

$$T=[\gamma_{k_1},A\gamma_{k_1}\cdots A^{\mu_1-1}\gamma_{k1},\gamma_{k_2};A\gamma_{k_2},\cdots\cdots A^{\mu_e-1}\gamma_{ke}] \tag{9.1.2—191}$$

4)可观标准形 $S(\widetilde{A},\widetilde{B},\widetilde{C})$由下列形式给出

$$\widetilde{A}=\begin{bmatrix}\widetilde{A}_{11}&&\widetilde{A}_{1e}\\\vdots&\cdots\cdots\cdots&\vdots\\\widetilde{A}_{e1}&&\widetilde{A}_{ee}\end{bmatrix} \tag{9.1.2—192}$$

式中对角线方块 $\widetilde{A}_{ii}$,

$$\tilde{A}_{ii}=\begin{bmatrix}0&0&\cdots&0&\times\\1&0&\cdots&\vdots&\times\\0&1&\cdots&\vdots&\vdots\\\vdots&0&&\vdots&\vdots\\0&0&\cdots&1&\times\end{bmatrix}\tag{9.1.2—193}$$

非对角线方块 $\tilde{A}_{ij}$，

$$\tilde{A}_{ij}=\begin{bmatrix}&\vdots&\times\\0&\vdots&\times\\&&\vdots\end{bmatrix}\quad i\neq j。\tag{9.1.2—194}$$

$\tilde{C}$ 具有下列形式

$$\tilde{C}=[\tilde{C}_1,\tilde{C}_2,\cdots\cdots\tilde{C}_e]\tag{9.1.2—195}$$

$\tilde{C}_i\in R^{l\times\mu i}$具有下列形式，

$$\tilde{C}_i=[0\ \vdots\ \Sigma_j]\tag{9.1.2—196}$$

$$\Sigma_j=\begin{cases}0 & (j<i)\\1 & (j=i)\\\times & (j>i)\end{cases}$$

关于可控、可观标准形，由于 T 的不同选择，尚有其他不同形式。

7.2.3.4 线性定常系统的典范分解结构

对于一个线性定常系统 S=(A,B,C)，可以选择一种相应的线性变换，则变换后的系统，根据该系统的可控性和可观性性质，可以分解成四个子系统。见图 9.1.2—53，S_{co}表示可控可观，S_{cu}表示可控不可观，S_{uo}表示不可控可观，S_{uu}表示不可控不可观。

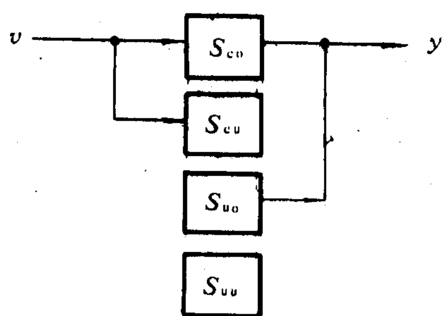


图 9.1.2—53 系统的典范分解

系统的传递函数仅能表示可控可观(S_{co})部分，其它子系统和传递函数无关。

7.3 稳 定 性

对于一个实际系统来说，稳定性是最基本的要求。假设一个系统不稳定，它就不能运行。

7.3.1 平衡状态

对于任一定常输入向量 u(t)=U，存在一状态 $x(t)=X_e$=常量，对于所有 t 来说，$\dot{x}(t)=0$，此状态称为平衡状态。

7.3.2 稳定性概念

1)若对于任意给定小数 ε>0，可找到另一个正数 δ(ε)使得范数不等式 $\|x(0)\|\leqslant\delta(\varepsilon)$蕴含范数不等式 $\|x(t)\|\leqslant\varepsilon$，即说此平衡状态是稳定的。

2)状态空间中存在一个 S 域，一切由 S 域出发的任意一个解，当时间无限增长时，收敛到状态空间的平衡点，那么就称此平衡状态在 S 域内是渐近稳定的。

并且如果系统是渐近稳定的，那么就一定是稳定的。

3)若在整个状态空间内所有的点，都满足渐近稳定条件，就称这个系统为大范围内渐近稳定。

在大范围内渐近稳定的必要条件是在整个状态空间中只有一个平衡状态。

4)假使系统的平衡状态不能满足条件1)所给出的稳定条件，就说这个系统不稳定。

7.3.3 稳定性判据

7.3.3.1 线性系统有界输入—有界输出(BIBO)的稳定性判据。

BIBO稳定性系指输入输出关系而言。

1)线性系统

一个线性多变量系统，输入 $u(t)\epsilon R^r$，输出 $y(t)\in R^m$，脉冲响应矩阵 $G(t,\tau)\in R^{m\times r}$，则在 $t=t_0$。处于零状态的系统的输出应为

$$y(t)=\int_{t_0}^{t}G(t,\tau)u(\tau)d\tau, t>t_0$$

$u(t)$ 有界系指范数 $\|u(t)\|<u_M, \forall t>t_0$ 存立。u_m 是由 u 确定的常数。

BIBO稳定性系指对于任意 t_0 和任意有界输入，当 $\|y(t)\|\leqslant C(t_0,u), \forall t>t_0$，对于某个常数 $C(t_0,u)$ 成立时，就称该系统是BIBO稳定。

上式表示的系统，当且仅当对于 $G(t,\tau)$ 每一个元 $g_{ij}(t,\tau)$ 满足下列式子

$$\int_{-\infty}^{t}|g_{ij}(t,\tau)|d\tau\leqslant k<\infty(-\infty<t<\infty) \qquad (9.1.2-197)$$

式中 k 为一有限数。

2)线性定常系统

对于一个由下式描述的线性定常系统

$$y(t)=\int_{0}^{t}G(t-\tau)u(\tau)d\tau$$

为BIBO稳定，当且仅当G的每一个元，满足下列条件

$$\int_{0}^{\infty}|g_{iy}(t)|dt\leqslant h<\infty \qquad (9.1.2-198)$$

式中 h 为一有限数。

对于上述线性定常系统 $G(t)$ 的拉氏变换传递函数矩阵 $G(s)$，BIBO稳定系指当且仅当 $G(s)$ 的每一个元 $g_{iy}(s)$ 的所有极点的实部为负。

对于一个以状态方程描述的线性定常多变量系统 $s(A,B,C)$，设 (A,B) 可控，(A,C) 可观，则BIBO稳定系指 $G(s)=C(sI-A)^{-1}B$ 的所有极点在左半开平面内。

7.3.3.2 代数判据

当一个系统以传递函数矩阵 $G(s)$ 描述时，对于 $G(s)$ 的每一个元 $g_{ij}(s)$ 是否具有实部为负的条件，可以采用劳斯、霍维茨等代数判据，这方面请参阅本章第二节。

7.3.3.3 李亚普诺夫稳定性的第二法

在系统内部假定可以引出一个虚构的广义能量函数称为李亚普诺夫函数。这个广义能量函数随着时间增长而衰减，直到平衡状态处，将这个概念发展而得到的稳定性判据，即称为李亚普诺夫稳定性的第二法。

1)李亚普诺夫函数

设 $V(t,x)$ 是在 $t\in(-\infty,\infty)$ 上定义的连续可微纯量函数，范数 $\|x\|<h$。并且 $V(o,t)=o\cdot V(t,x)\geqslant a(\|x\|)$；$\forall x, \|x\|<h$；$a(\cdot)$ 是连续、单调增长、正定，而且 $a(o)=o$。这便定义了李亚普诺夫函数。

2)李亚普诺夫稳定定理

（1）假定系统的状态方程为

$$\dot{x}=f(x,t)$$
$$f(o,t)=o$$

如果存在一个具有连续一阶偶导数的纯量函数 V(x,t)，即李亚普诺夫函数，而 V·(x,t)是半负定的，则系统的平衡状态得稳定的。

（2）假定系统的状态方程为

$$\dot{x}=f(x,t)$$
$$f(o,t)=o$$

如果存在一个李亚普诺夫函数 V(x,t)，满足连续可微、单调增长、正定条件，且 V(x,t)是负定的，则该系统的平衡状态是渐近稳定的。

李亚普诺夫的第二法的优点在于对大范围稳定性问题也有效，而且不用求解。缺点是找一般非线性系统的李亚普诺夫函数没有普遍适用的方法。

7.3.3.4 全局稳定性

当且仅当对于任意初始状态和任意有界输入情况下，输出和所有状态变量都是有界的，则该系统为全局稳定。

对于一个可控、可观的线性定常多变量系统，下面说法等价。

1）系统全局稳定；

2）系统的零状态响应为 BIBO 稳定；

3）系统的零状态为渐近稳定（在零输入情况下）；

4）系统的传递函数矩阵的所有极点具有负实部；

5）系统的矩阵 A 的所有特征值具有负实部。

7.4 极点配置和状态估计器

对于一个线性定常系统，应用状态能控性概念可以设计一个具有给定极点的线性状态反馈控制系统。对于一个以状态方程表示的线性定常系统

$$u=v+Kx \tag{9.1.2-199}$$

则

$$\dot{x}=(A+BK)x+Bv$$
$$y=(C+DK)x+Dv \tag{9.1.2-200}$$

假定系统能控，则(A+BK)的极点可任意配置。

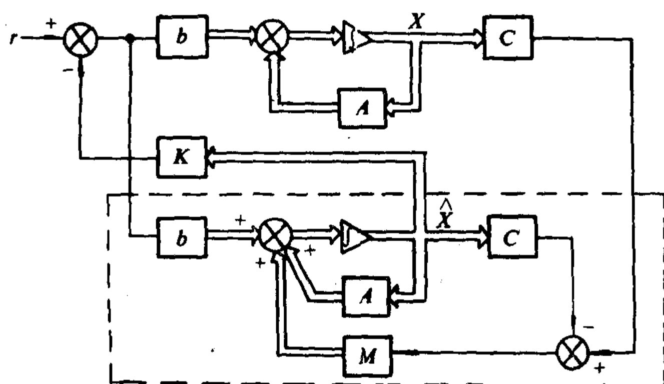


图 9.1.2-54 带观测器的控制系统

实际上状态变量并不都是容易测得的，假定系统能观，则可以构造一个特征值可任意配置的(n−q)维的渐近状态估计器，q 是 C 的秩，应用系统的输入和输出作为状态估计器的输入，可得其输出近似于状态向量。见图 9.1.2−54。

若一个线性定常系统能控且能观，则极点配置所需选择的反馈矩阵 K 和按状态估计器选择的配置矩阵 M 互不影响。

7.5 多变量控制系统的频域设计技术

7.5.1 问题提出

60年代以来，关于推广和应用单变量的频域设计技术于多变量控制系统，相继出现了逆奈魁斯特阵列法等方法。定常多变量控制系统的结构见图9.1.2—55。输入，输出都是m维，K(s)和G(s)都是m×m方阵，K(s)为补偿器矩阵，G(s)为控制对象矩阵，$F(s)=\mathrm{diag}\{f_i(s)\}i=1,\cdots\cdots m$，$Q(s)=G(s)K(s)$，闭环传递出数矩阵由下式给出

$$H(s)=(I+Q(s)F(s))^{-1}Q(s) \tag{9.1.2—201}$$

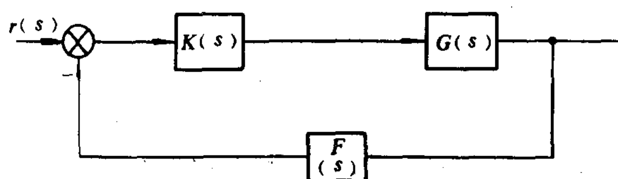


图9.1.2—55 多变量控制系统的结构图

7.5.2 稳定性定理和系统分析

逆奈魁斯特阵列法由英国人Rosenbrock推出，其中心思想在于将单输入单输出系统的奈魁斯特判据推广到多变量系统。

7.5.2.1 稳定性定理

假设D为s平面上的奈魁斯特封闭曲线，封闭曲线由整个虚轴(从$\omega=-\infty$到$\omega=+\infty$)和右半s平面上半径为无穷大的半圆轨迹构成，同时还必须避开在虚轴上的任何零点和极点；这样这条封闭曲线包含着位于闭右半平面上的$|Q(s)|$和$|H(s)|$的所有有限零点和极点。

设
$$|Q(s)|=\frac{\varphi_1(s)}{\varphi_0(s)},\ |H(s)|=\frac{\varphi_1(s)}{\varphi_2(s)}$$

$$\frac{|H(s)|}{|\varphi(s)|}=\frac{\varphi_0(s)}{\varphi_2(s)}=\frac{1}{|I+QF|} \tag{9.1.2—202}$$

这里，$[I+\varphi F]$为系统的回授差矩阵；$\varphi_0(s)$为开环系统特征多项式，$\varphi_2(S)$为闭环系统特征多项式。

$|Q(s)|$映照D成Γ_Q，$|H(s)|$映照D成Γ_H。当s按顺针方向沿D曲线移动时，则$\Gamma\delta_Q$按顺时针方向包围原点N_Q次，$\Gamma_{\delta H}$按顺时针方向包围原点N_H次。假定开环系统在闭右半平面有p_0零点，则当且仅当$N_H-N_Q=p_0$时，闭环系统为渐近稳定。

这种形式的奈魁斯特稳定定理在形式上完全和单变量系统情况相似，但从式(9.1.2—202)看出，H(s)和Q(s)关系复杂，为了便于分析可以化成下列形式。

$$H^{-1}(s)=F+Q^{-1}(s) \tag{9.1.2—203}$$

为了书写方便，$\hat{H}(s)=H^{-1}(s)$和$\hat{Q}(s)=Q^{-1}(s)$ 则$\hat{H}(s)=F+\hat{Q}(s)$。

7.5.2.2 对角线为主矩阵

一个m×m矩阵Q(s)称作在D曲线上行对角线为主矩阵，只有当下列条件满足时$|\hat{q}_{ii}(s)|>\sum\limits_{\substack{i=1\\ j\neq i}}^{m}|\hat{q}_{ii}(s)|$ $(i=1\cdots\cdots m$和D曲线上所有s值)。

同样列对角线为主的矩阵定义有$|\hat{q}_{ii}(s)|>\sum\limits_{\substack{j=1\\ j\neq 1}}^{m}|\hat{q}_{ii}(s)|$。

7.5.2.3 稳定性定理的另一种表现形式

假定$\hat{Q}(s)$为D上的以行对角线为主或列对角线为主的矩阵，(在D上没有$|Q(s)|$的零点和$|\hat{q}_{ii}(s)|$的极点，$i=1\cdots\cdots m$)，同时设$\hat{q}_{ii}(s)$映照D为$\hat{\Gamma}_i$和$|Q(s)|$映照D为$\hat{\Gamma}_Q$，假定Γ_i顺时

针包围原点 $\hat{N}_i$ 次，$\hat{\Gamma}_Q$ 顺时针包围原点 $\hat{N}_Q$ 次，则下列关系式成立。

$$\hat{N}_Q=\sum_{i=1}^{m}\hat{N}_i$$

进一步假定 $\hat{Q}(s)$和 $\hat{H}(s)$都是对角线为主的矩阵，并且设 $\hat{q}_{ii}(s)$映照 D 成 $\hat{\Gamma}_{qi}$，$\hat{h}_{ii}(s)$映照 D 成 $\hat{\Gamma}_{hi}$。$\hat{\Gamma}_{qi}$和 $\hat{\Gamma}_{hi}$分别顺时针包围原点 $\hat{N}_{qi}$次和 $\hat{N}_{hi}$次。p_0 为开环系统特征多项式在闭右半平面的零点，则当且仅当下式成立

$$\sum_{i=1}^{m}\hat{N}_{qi}-\sum_{i=1}^{m}\hat{N}_{hi}=p_0 \qquad (9.1.2-204)$$

此闭环系统为渐近稳定。

这是奈魁斯特稳定判据应用于以对角线为主的多变量系统的一种推广形式。

7.5.2.4 筑固分析法

对于 $\hat{Q}(s)$可以用下列筑固法来方便地判断 $\hat{Q}(s)$是否有对角线为主的矩阵。

假定 $\hat{q}_{ii}(s)$映照 D 成 $\hat{\Gamma}_i$，任选一 D 上的 s 值，则在 $\hat{\Gamma}_i$ 上对应的点为 A，A 以 $\hat{q}_{ii}(s)$为中心，以 $d_i(s)=\sum_{\substack{j=1\\j\neq i}}^{m}|\hat{q}_{ij}(s)|$为半径构成一圆，当 s 沿 D 移动时，相应的圆扫描成一个带这带称为 Gershgorin 带，只要$\hat{Q}(s)$的每一条 Grishgorin 带(i=1,……m)在带内和带上都不包含原点，这个矩阵就是以对角线为主的矩阵。见图 9.1.2—56。

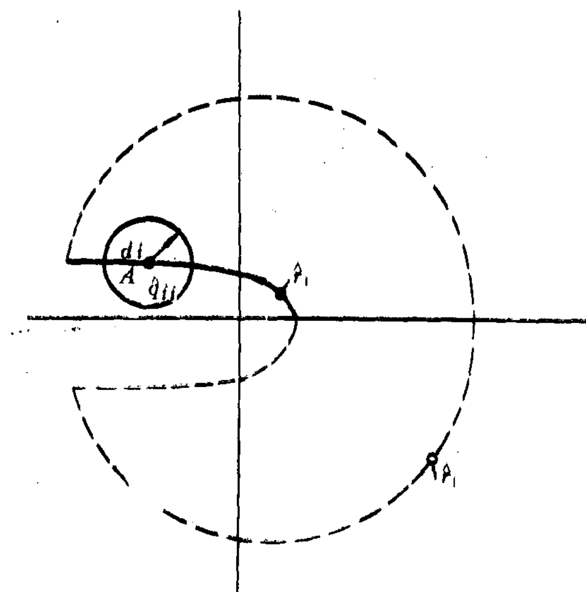


图 9.1.2—56 筑固判断法

对于一个矩阵是否是以列对角线为主的矩阵，也可以相似方式检验。(选 $d'_i(s)=\sum_{\substack{j=1\\j\neq i}}^{m}|q_{ji}(s)|$为半径)

从 $\hat{H}(s)=F+\hat{Q}(s)$式，由于 F 为对角线矩阵，由 $\hat{h}_{ii}(s)$组成的带相当于由 $f_i+\hat{q}_{ii}(s)$组成的带。$\hat{h}_{ii}(s)$排除原点相当于由 $f_i+\hat{q}_{ii}(s)$组成的带。又相当于 $\hat{q}_{ii}(s)$排除原点和$(-f_i,0)$。并且由于 f_i 是变化的，所以又相当于排除在原点和$(-f_i,0)$之间的负实轴段。

综上所述，又可推出下列稳定性定理：

设 $\hat{Q}$ 的对角线元 $\hat{q}_{ii}(s)$的每一条 Gershgorin 带排除原点和$(-f_i,0)$间的负实轴段。假定这带包围原点 $\hat{N}_{gi}$次和包围$(-f_i,0)$点 $\hat{N}_{hi}$次，则当且仅当下式成立时，闭环系统渐近稳定。p_0 的定义同前。

$$\sum_{i=1}^{m}\hat{N}_{gi}-\sum_{i=1}^{m}\hat{N}_{hi}=p_0 \qquad (9.1.2-205)$$

7.6 鲁棒控制器

7.6.1 问题提出

70 年代以来，针对有的控制器在闭环系统稳定前提下，要求兼顾调节和跟踪问题，同时还要求当被控对象的状态方程的系数在适当小的范围内变化时，尚能保持输出调节，即被调输出能跟随给定值变化而变化。为此提出了自控系统的鲁棒 Robust 问题。

7.6.2 鲁棒控制器

设被控对象的状态方程为

$$\dot{x}=Ax+Bu+Ew \tag{9.1.2-206}$$

其中 w 为外部干扰向量，维数为 p。被控对象的输出方程为

$$y_m=C_m^T x \tag{9.1.2-207}$$

y_m 为输出向量，维数为 r_m。y_m 是可以检测到的信号，被调输出为

$$y=C^T x \tag{9.1.2-208}$$

y 为 r 维被调输出向量。为了达到输出调节，y 应该是 y_m 的一部分。

对于上述系统，如果存在一个控制器，使得控制系统闭环稳定，且达到输出调节。并存在一个 $\varepsilon>0$，对于所有 $\delta A\in\Omega_\varepsilon,\delta B\in\Omega_\varepsilon,\delta C\in\Omega_\varepsilon$。当被控对象发生扰动变为 $A+\delta A,B+\delta B,C+\delta_c$ 只要系统仍是闭环稳定的话，则一定达到输出调节，这样的控制器就叫做鲁棒控制器。

鲁棒控制器的结构图见图 9.1.2-57。

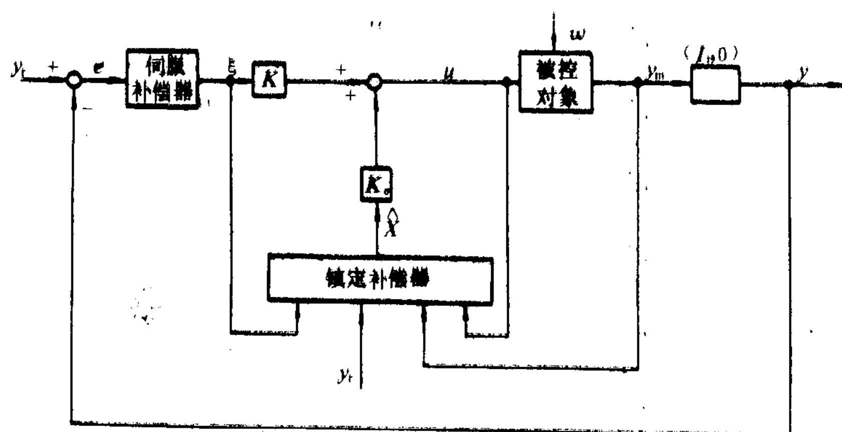


图 9.1.2-57 鲁棒控制器的结构图

伺服补偿器的功能是克服外界干扰保证系统达到输出调节，镇定补偿器和 k、k_0 在一起是使整个闭环系统稳定且有满意的动态响应。

参考文献

[1] R. V. Patel and N. Munro, Multivariable System Theory and Design Pergamon Press, 1982

[2] H. H. Rosenbrock, State space and Multivariable Theory London Nelson, 1970

[3] J. M. Layton, Multivariable Control Theory Peter Peregrinus LTD, 1976

[4] B. D. O. Anderson and J. B. Moore, Linear Optimal Control Prentice-Hall, 1971

[5] H. H. Rosenbrock, Computer-aided Control System Design Academic Press, LTD, 1974

[6] C. T. Chen: Introduction to Linear system Theory Holt, R. and W, Inc。1970

[7] [日]须田信英等著：自动控制中的矩阵理论 科学出版社 1979

8 最优控制

用经典控制理论设计的反馈控制系统往往只能设计出相对“满意”的系统，如稳定性，静态误差等项指标。而最优控制系统，则能设计出某一综合指标函数为最小的最优控制。

假使控制变量没有约束条件，或只带有开集性的约束条件，在一般情况下，最优控制问题可以用变分法解出。

假使控制变量具有约束条件，则解最优控制的数学基础是极小值原理和动态规划。

8.1 最优控制系统的提法和例子

给出一动力学系统的状态方程。

$$\dot{x}(t)=f[x(t),u(t),t] \tag{9.1.2-209}$$

给定的初始状态为

$$x(t_0)=x_0 \tag{9.1.2-210}$$

其中 $x(t)$，$x(t_0)$，$f[x(t),u(t),t]$ 为 n 维向量函数。现求使性能指标

$$J=\int_{t_0}^{t_1}F[x(t),u(t),t]dt \tag{9.1.2-211}$$

为最小的控制向量 $u(t)$，性能指标为一纯量函数，下面为几个例子。

8.1.1 最小时间问题

就是在最短的时间内，自初始状态 $x(t_0)$ 转移到终止状态 $x(t_1)$ 的系统，这个问题就称为最小时间问题，相应的性能指标为

$$J=t_1-t_0=\int_{t_0}^{t_1}dt \tag{9.1.2-212}$$

8.1.2 最小能源消耗问题

从初始状态 $x(t_0)$ 转移到终止状态 $x(t_1)$ 的过程中，能源消耗为最小，相应的性能指标为

$$J=\int_{t_0}^{t_1}\varphi(x,u,t)dt \tag{9.1.2-213}$$

控制向量具有不等式约束

$$u_{max}\geqslant u(t)\geqslant u_{min}$$

8.1.3 状态调节器问题

对于一个线性系统，控制的目的是保持系统处于平衡状态，这种控制器称为线性调节器，相应的性能指标应为

$$J=\int_{t_0}^{t_1}\frac{1}{2}(x^TPx+u^TQu)dt \tag{9.1.2-214}$$

Q 为正定阵（$u^TQu>0,\forall\ u\neq0$），P 为半正定阵（$x^TPx\geqslant0,\forall\ x\neq0$）

8.2 泛函和变分法

8.2.1 泛函

变量 J，如果对于某一类函数中的每一个函数 $\lambda(t)$ 都有一个唯一确定的值与之对应，即称 J 为依赖于函数 $\lambda(t)$ 的泛函，记为

$$J=J[\lambda(t)]。$$

8.2.2 泛函的变分

变分法是研究泛函极值的方法，若连续泛函 J(x)的增量可以表示为

$$\Delta J[x]=J[x+\delta x]-J[x]=L[x,\delta x]+r[x,\delta x] \qquad (9.1.2-215)$$

则泛函的变分就是泛函增量的线性部分，即

$$\delta J=L[x,\delta x]$$

另外一种求法是

$$\begin{aligned}\delta J&=L[x,\delta x]\\&=\frac{\partial}{\partial a}J[x+a\delta x]\\&=\lim_{a\to 0}\frac{J[x+a\delta x]-J[x]}{a}\\&=\lim_{a\to 0}\frac{1}{a}\{L[x,a\delta x]+r[x,a\delta x]\}\end{aligned} \qquad (9.1.2-216)$$

8.2.3 泛函极值的必要条件

若泛函 $J[x(t)]$可微，并在点 $x_0(t)$上达到极值，则泛函在点 $x_0(t)$的变分为零即

$$\delta J[x_0,\delta x]=0 \qquad (9.1.2-217)$$

8.2.4 泛函的极小值

泛函 $J=\int_{t_0}^{t_1}F(t,x,\dot{x})dt$ 的极小值的意思是要确定一条曲线 x(t)，使给定的函数 $F(t,x,\dot{x})$，沿这条曲线的积分取极小值。

8.2.5 一个未知函数的泛函的几种情况

1)端点固定的情况

边界条件 $x(t_0)=x_0$，$x(t_1)=x$，假定 x(t)对 t 二次可微，极值函数 x(t)必然满足欧拉方程。

$$F_x-\frac{d}{dt}F_{\dot{x}}=0 \qquad (9.1.2-218)$$

即极值函数 x(t)为欧拉方程的解。

2)端点和时间都可变的情况

若 t_0，t_1 点都不固定；即 A 和 B 分别沿曲线 $x_0=\psi(t_0)$和 $x_1=\varphi(t_1)$移动，则函数 x(t)在可动端点处要满足下述横截条件。

$$[F+(\dot{\psi}-\dot{x})F_{\dot{x}}]t_0=0$$

$$[F+(\dot{\varphi}-\dot{x})F_{\dot{x}}]t_1=0 \qquad (9.1.2-219)$$

利用上述横截条件和两个给定的曲线方程可以把欧拉方程的两个积分常数以及 t_0，t_1 确定出来。

3)端点可变而时间固定情况

若 t_0，t_1 固定不变，即 A 和 B 沿铅垂线移动，则函数在可动端点处要满足下述横截条件。

$$F_{\dot{x}}|t_0=0 \qquad F_{\dot{x}}|t_1=0 \qquad (9.1.2-220)$$

两个积分常数可以通过这两个横截条件求得。

8.2.6 条件极值的变分问题

假定泛函 $J=\int_{t_0}^{t_1}F(t,x_1,x_2,\dot{x}_1,\dot{x}_2)dt$ 在 $f(t,x_1,x_2)=0$ 条件下求极值函数 $x_1(t)$，$x_2(t)$，这便是条件极值问题之一，静态约束问题，一般用拉格朗日乘子法来解。

1)作辅助函数

$$H=F(t,x_1,x_2,\dot{x}_1,\dot{x}_2)+\lambda(t)f(t,x_1,x_2)$$

2)作一个泛函

$$J=\int_{t_0}^{t_1}Hdt$$

3)求上述泛函的无条件极值,得出两个欧拉方程。

$$H_{x_1}+\frac{d}{dt}H_{\dot{x}_1}=0$$

$$H_{x_2}+\frac{d}{dt}H_{\dot{x}_2}=0$$

4)联立解两个欧拉方程和约束方程以确定三个未知函数 $x_1(t)$,$x_2(t)$,和 $\lambda(t)$。

5)从已知的四个边界条件

$$x_1(t_0)=x_{10},\quad x_1(t_1)=x_{11}$$

$$x_2(t_0)=x_{20},\quad x_2(t_1)=x_{21}$$

来确定欧拉方程通解中的四个常数。

8.3 极大值原理

8.3.1 控制变量有约束条件的最优控制问题

给出以向量形式表示的状态方程

$$\dot{x}=f(x,u,t)$$

$$x(t_0)=x_0$$

和性能指标泛函,

$$J=\int_{t_0}^{t_1}F(x,u,t)dt \qquad (9.1.2-221)$$

x 为 n 维状态向量,u 为 m 维控制变量,控制向量受到闭集 Ω 的约束 $u(t)\in\Omega$。问题是,从满足约束条件的控制向量(称为容许控制)中确定一个 $u^*(t)$,使性能指标泛函取极小值。

8.3.2 极大值原理和问题解法

1)引入哈密顿函数

$$H(x,p,u,t)=F(x,u,t)+p^Tf(x,u,t) \qquad (9.1.2-222)$$

p(t)为 n 维共状态向量。

2)作辅助泛函

$$J=\int_{t_0}^{t_1}(H-p^T\dot{x})dt=\int_{t_0}^{t_1}F(\dot{x},x,u,p,t)dt \qquad (9.1.2-223)$$

3)用变分法求出下列方程,称哈密顿正则方程。

$\frac{\partial H}{\partial p}=\dot{x}$(n 维状态方程)

$\frac{\partial H}{\partial x}=-\dot{p}$(n 维共状态方程) (9.1.2—224)

4)设 u(t)是一个容许控制,x(t)是相应于 u(t)的轨线,p(t)是相应的共状态变量,则 u(t)是最优轨线 $u^*(t)$的必要条件是

$$H[x^*(t),u^*(t),p^*(t),t] \underset{u\in\Omega}{\geqslant} H[x^*(t),u(t),p^*(t),t] \quad (9.1.2-225)$$

5)利用极大值原理,解出 $u^*(t)$,然后将 $u^*(t)$代入正则方程组,便得到 x_i 和 $p_i(i=1\cdots\cdots n)$2n 个方程,但含有 2n 个未定参数,用 x(t)的 n 个初始条件和 p(t)的 n 个末端条件代入,即能求得唯一的解。

6)关于上述控制的充分条件是:

$$H_{uu}>0$$

7)奇异控制

若充分条件不成立,则 $H_{uu}=0$,轨线属于奇异解,这种控制方式叫做奇异控制。

8.4 动 态 规 划

8.4.1 动态规划的基本概念

动态规划所依据的两个基本原理是不变嵌入原理和最优性原理。

不变嵌入原理是把多级决策过程处理成一系列单级决策过程。

贝尔曼的最优性原理:多段决策过程的最优决策序列具有这种性质即不论其初始阶段,初始状态和初始决策如何,以第一个决策所形成的阶段与状态作为初始条件来考虑,余下的决策对余下的问题而言必须构成最优决策序列。

$$J_N^*(x_0)=\underset{u_0}{Opt}.\{F(x_0,u_0)+J_{N-1}^*(x_1)\}$$

$$J_0^*(x_0)=\underset{u_0}{Qpt}.F(x_0,u_0)$$

(9.1.2—226)

这个方法归结为用一个基本的递推关系式使过程逐步地转移,用这种方法求解,要按倒过来的顺序进行,即从最终状态开始算到起始状态为止。

它比较适合于离散系统或离散化了的连续系统。

8.4.2 动态规划的数值解法

先把系统离散化,分成 N 段,用 x(k)表示第(k+1)段开始时的过程状态,用 u(k)表示第(k+1)段所采用的控制决策集中的一个,用 V[x(k)]表示从 x(k)开始到过程终点为止的最优代价函数,并定义为

$$V[x(k)]=V[x(k),u_{opt}] \quad (9.1.2-227)$$

用 L[x(k)]表示 x(k)开始的第(k+1)段内采用 u(k)所付出的代价。

根据最优化定理,得下列递归推理公式

$$V[x(k)] = \min_{u(k)} \{L[x(k),u(k)] + V[x(k+1)]\} \quad (9.1.2\text{—}228)$$

式中 $x(k+1)=f[x(k),u(k)]$，从最终阶段开始，逐段地对每段可能采用的控制集进行比较，求得 $V[x(k)]$，这样一段一段地进行迭代、选优和决策，以算出 $V[x(N-1)],\cdots,V[x(1)]$，一直到初始状态 $V(0)$ 为止。

8.4.3 连续动态规划

考虑 n 维系统状态方程 $\dot{x}=f(x,u,t)$，$x(t_0)=x_0$，m 维有约束条件的控制变量 u，求使性能指标泛函 $J=\int_{t_0}^{t_1}F(x,u,t)dt$ 为极小值的最优控制 u^*，t_1 给定，终态无约束。解决如下，

1)从下列混合型哈密顿——雅可比方程中解出 u 的极小值，记为 $\bar{u}=\bar{u}[x(t),\frac{\partial V^*}{\partial x},t]$

$$\frac{\partial V^*}{\partial t} = -\min_{u(t)}\{F[x(t),u(t),t] + [\frac{\partial V^*}{\partial x}]^T f[x(t),u(t)t]\}$$

2)从一阶偏微分方程即哈密顿—雅可比方程中，

$$\frac{\partial V^*}{\partial t} = -F[x(t),\bar{u},t] - [\frac{\partial V^*}{\partial x}]^T f[x(t),\bar{u},t]$$

并满足边界条件　　$V^*[x(t_1),t_1]=0$

中解出　　$V^*[x(t),t]$

3)将函数 $V^*[x(t),t]$ 代入函数 $\bar{u}$，求出函数 $\hat{u}$，

$$\hat{u}[x(t),t]=\bar{u}[x(t),\frac{\partial V^*}{\partial x},t]$$

4)再将函数 $\hat{u}$ 代入系统方程

$$\dot{x}(t)=f[x(t),\hat{u},t],$$
$$x(t_0)=x_0$$

解得 $x^*(t)$，把 $x^*(t)$ 代入函数 $\hat{u}$ 中，得最优控制 $u^*(t)$。

5)将 $x^*(t)$ 和 $u^*(t)$ 代入 J 的积分中，考虑初始条件和末端条件，得出 J 的最优值 J^*。

8.5　线性二次型最优调节器问题

对于 8.1.3 所提的调节器问题，若性能指标为下列泛函形式

$$J = \frac{1}{2}\int_0^\infty [x^TPx + u^TQu]dt \quad (9.1.2\text{—}229)$$

则就成了无限长时间的调节器问题，用上述变分法就可得到矩阵黎卡提方程，

$$-KA-A^TK+KBQ^{-1}B^TK-P=0 \quad (9.1.2\text{—}230)$$

从这个方程解出 K，这时最优控制为

$$u^*(t)=-Q^{-1}B^TKx(t)$$

最优性能指标为

$$V^*[x(t),t]=\frac{1}{2}x^T(0)Kx(0)$$

而且还具有下列性能，即增益裕量可以为无穷大，相位裕量至少为 60°，放大系数也可以减小一半。

8.6 最小能源消费问题

给出系统状态方程为 $\dot{x}=Ax+Bu$，初始时间 t_0，初始状态 $x(t_0)=x_0$ 和终端时间 t_1，终端状态 $x(t_1)=x_1$，控制变量受到约束 $-1\leqslant u(t)\leqslant 1$，性能指标为

$$J=\int_{t_0}^{t_1}|u(t)|dt$$

用极大值原理，为了下列哈密顿函数取最小值，

$$H[x(t),P(t),u(t)]=|u(t)|+P^T(t)[Ax+Bu]$$

控制变量应取下列的值

$$u(t)=\begin{cases}0 & |P^TB|<1\\ -\mathrm{sign}[p^T(t)B] & |P^TB|>1\end{cases} \qquad (9.1.2-231)$$

这样，系统的状态方程和共状态方程分别为

$$\dot{x}=\begin{cases}Ax-B\mathrm{sign}[P^T(t)B] & |P^TB|>1\\ AX & |P^TB|<1\end{cases}$$

$$\dot{P}=-A^TP \qquad (9.1.2-232)$$

结合初始和终端条件解出最优控制必为砰—零—砰控制，即控制变量只能取值+1,0,−1 的常数值。

参 考 文 献

[1] M. Athans and P. Falb, Optimal Contol Mc Graw Hill. New York 1966

[2] A. F. Bryeon and Y. C. Ho, Applied Optimal Control 1969

[3] R. Bellman, Dynamic Programming Princeton Univ Press 1957

[4] M. Noton, Modern Contol Engineering Pergamon Press 1972

[5] 谢绪恺，现代控制理论基础　辽宁人民出版社 1980

[6] K. Ogata State Space Analysis of Contol Systems. Prentice Hall 1967

9　辨识和自适应控制

9.1　系统辨识概述

9.1.1　系统辨识的定义

系统辨识的目的在于建立控制系统的数学模型。所谓系统的数学模型，就是应用数学方式来表达系统内部之间、内部和某些外部因素之间的精确定量关系。

建立数学模型有两种方法，一种从基本物理定律出发来推导出数学模型，即解析法。另一种是从系统的运行和试验数据出发来建立数学模型，即系统辨识法。

对于系统的数学描述，根据需要，可以采用常微分方程、代数方程、差分方程或偏微分方程等形式，也可以采用传递函数、脉冲响应函数或状态方程等形式来描述。

关于系统辨识，扎得(L. A. Zadeh)曾下过这样的定义：系统辨识是在输入输出的基础上，从一类系统中确定一个与所观测的系统是等价的系统。

9.1.2　系统辨识的步骤

1)确定系统数学模型的具体表达形式和模型结构

一般是根据对象特性的分析和人们的经验来决定系统的数学描述形式和选择合适的模型结构。

2)参数和状态的估计

模型结构一旦选定，其中未知部分就需要通过实验来进行估计。这包括制订切合实际的试验方案，进行试验和记录需要的输入输出数据，并根据输入输出数据进行参数估计。

参数估计的要求是要使识别出来的模型和实际控制对象在给定准则的意义下最为接近。当采用状态空间模型时，就需要对它的状态进行估计。

3)完成模型的校核试验

对控制系统来说，模型合适与否主要通过控制系统的实际运行来进行检验。假使不合适，要反复进行试验和校核甚至包括修改模型结构。

9.2　线性系统参数估计

线性系统的数学模型的参数估计理论发展比较成熟，它可以用于系统的非参数模型(如脉冲响应函数)和参数模型(如差分方程)的辨识问题。它的主要依据是最小二乘法，而其它一些方法都由它派生而来。

9.2.1　最小二乘法的基本原理

设系统的结构如图 9.1.2－58 所示。x 为 n 维输入向量，θ 为 n 维未知参数，$\in$ 为 m 维干扰向量；y 为 m 维输出向量。如写成矩阵形式，则输出输入之间表达式应为

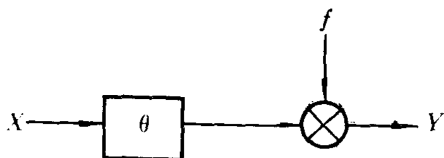


图 9.1.2－58　系统的输入输出示意图

$$Y=X_{\theta+\in} \qquad (9.1.2\text{--}233)$$

$$Y=\begin{Bmatrix} y(1) \\ y(2) \\ \vdots \\ y(m) \end{Bmatrix},\ \theta\begin{Bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \vdots \\ \theta_m \end{Bmatrix},\quad \in=\begin{Bmatrix} l(1) \\ l(2) \\ \vdots \\ l(m) \end{Bmatrix}$$

$$X=\begin{Bmatrix} x_1(1)\cdots\cdots x_n(1) \\ x_1(2)\cdots\cdots x_n(2) \\ \vdots \\ x_1(m)\cdots\cdots x_n(m) \end{Bmatrix}$$

这是 m 次量测的结果。为了使参数估计比较正确，应使 m≫n。

参数 θ 的估计 $\hat{\theta}$ 应使 $J=\in^{T}\in$ 为最小。

$$J=(Y-X\theta)^{T}(Y-X\theta)$$

从 $\frac{\partial J}{\partial\theta}|\theta=\partial \quad =0$ 　　得出 $\hat{\theta}=(X^{T}X^{-1})X^{T}Y$ 　　(9.1.2－234)

9.2.2 最小二乘法的递推算法

应用上述方法对实际的生产过程进行参数估计时，系统的输入、输出数据不断增加，造成矩阵($X^{T}X$)的求逆运算困难而且计算机的存储量也要不断增加，为了克服这方面的困难就产生了递推算法。

先对输出、输入进行 m 次量测，便求得了 $\hat{\theta}(m)$。当获得了(m+1)次量测数据后，只须对 $\hat{\theta}(m)$ 作适当的修改，就可求得 $\hat{\theta}(m+1)$，这就是递推最小二乘算法。由下列三式给出。

$$P(m+1)=P(m)-P(m)x(m+1)\times[1+x^{T}(m+1)P(m)x(m+1)]^{-1}x^{T}(m+1)P(m) \qquad (9.1.2-235a)$$

$$\hat{\theta}(m+1)=\theta(m)+k(m+1)[y(m+1)-x^{T}(m+1)\hat{\theta}(m)] \qquad (9.1.2-235b)$$

$$k(m+1)=P(m)x(m+1)[1+x^{T}(m+1)P(m)x(m+1)]^{-1} \qquad (9.1.2-235c)$$

公式(9.1.2－235b)表明：(m+1)次估计 $\hat{\theta}(m+1)$ 是第 m 次估计 $\hat{\theta}(m)$ 加上一个修正项而得。式中 $[y(m+1)-x^{T}(m+1)\hat{\theta}(m)]$ 表示实测值和预极值之差，K(m+1)表示增益矩阵。而且上述式中 $[1+x^{t}(m+1)P(m)x(m+1)]$ 为一标量，因此不用进行矩阵求逆。计算时，$\hat{\theta}(0)$ 的初值为任意值，$P(0)=\alpha^{2}I$，α 为计算机最大值，I 为单位阵。

9.2.3 最小二乘渐消记忆递推算法

渐消记忆的误差准则由下式给出。

$$J_{m}=\sum_{i=1}^{\lambda}\lambda^{m-i}l^{2}(i)$$

式中 $\lambda(\lambda<1)$ 为遗忘因子，λ 的作用在于以指数方式削弱过去数据的作用。由下列三式给出最小二乘的渐消记忆算法。

$$\hat{\theta}(m+1)=\hat{\theta}(m)+K(m+1)[y(m+1)-x^{T}(m+1)\hat{\theta}(m)] \qquad (9.1.2-236a)$$

$$P(m+1)=\frac{1}{\lambda}[P(m)-k(m+1)x^{T}(m+1)P(m)] \qquad (9.1.2-236b)$$

$$K(m+1)=P(m)x(m+1)[\lambda+x^{T}(m+1)P(m)x(m+1)]^{-1} \qquad (9.1.2-236c)$$

$1/1-\lambda$ 表示对 $\hat{\theta}(m)$ 估计起作用的过去采样数据的具体数目。λ 小表示起作用的旧数据数目少，这造成噪声干扰大，所以 λ 不能取得太小。λ 一般取 0.9 到 0.99 之间。

9.2.4 最小二乘参数估计的统计特性

1)只要∈和 X 互相独立，而且∈为零均值，则 $\hat{\theta}$ 便是 θ 的无偏估计。

2)如果∈(i)，i=1，2……是同分布，零均值，互不相关的随机变量，且 $\lim_{m\to\infty}[\frac{-1}{m}X^{T}X]^{-1}$ 为非奇异阵，则 $\hat{\theta}$ 依概率收敛于 θ，$\hat{\theta}$ 便是 θ 的一致估计。

9.2.5 线性差分方程(参数模型)参数的最小二乘估计示法

9.2.5.1 最小二乘解法

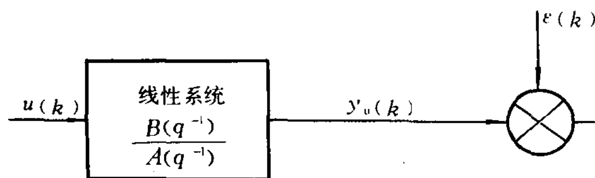


图 9.1.2-59 带有干扰的差分方程模型

给定一以线性差分方程表示的系统，见图 9.1.2－59，$\in(k)$为模型误差和量测噪声。模型方程由下式示出。

$$y(k)+a_1y(k-1)+\cdots\cdots+a_ny(k-n)=b_0u(k)+b_1u(k-1)+\cdots\cdots+b_nu(k-n)+e(k)$$

而 $e(k)=A(q^{-1})\in(k)$，称为模型残差；上式还可改写成下列形式：

$$y(k)=-\sum_{i=1}^{n}a_iy(k-i)+\sum_{i=0}^{n}b_iu(k-i)+e(k)$$

假定对输入输出测量了(N＋n)次，得到大量数据{u(k)，y(k)}。现在的问题是如何从这些输入输出数据中对所有的 a_i、b_i 进行估计，并且使 $\sum_{i=1}^{n+N}e^2(k)$ 为最小。将上面所有数据写成矩阵形式。

$$Y=X\theta+e$$

$$Y=\begin{Bmatrix}y(n+1)\\y(n+2)\\\vdots\\y(n+N)\end{Bmatrix}\qquad e=\begin{Bmatrix}e(n+1)\\e(n+2)\\\vdots\\e(n+N)\end{Bmatrix},\qquad \theta=\begin{Bmatrix}a_1\\\vdots\\a_n\\b_0\\\vdots\\b_n\end{Bmatrix}$$

$$X=\begin{Bmatrix}-y(n)\cdots\cdots-y(1)\ u(n+1)\cdots\cdots u(1)\\-y(n+1)\cdots\cdots-y(2)u(n+2)\cdots\cdots u(2)\\\vdots\quad\vdots\quad\vdots\\-y(N+n-1)\quad -y(N)\quad u(n+N)\quad u(N)\end{Bmatrix}$$

应用最小二乘法，得到 θ 的估计 $\hat{\theta}$ 的表达式。

$$\hat{\theta}=(X^TX)^{-1}X^TY$$

由于 $e(k)=\varepsilon(k)+a_1\varepsilon(k-1)+\cdots\cdots+a_n\varepsilon(k-n)$，所以即使{ε(k)}是不相关序列，{e(k)}也是相关的。这样 $\hat{\theta}$ 便不是 θ 的一致性估计，这就造成应用上的一些限制。为此就产生了一些改进的算法如广义最小二乘法、多级最小二乘估计等。

9.2.5.2 慢时变参数的渐消记忆递推解法

为使最小二乘法应用于慢时变参数的实际算法，可以采用渐消记忆算法，其公式如下：

$$\left.\begin{aligned}&\hat{\theta}(N+1)=\hat{\theta}(N)+K(N+1)[y(N+1)-x^T(N+1)\hat{\theta}(N)]\\&P(N+1)=\frac{1}{\lambda}[P(N)-K(N+1)x^T(N+1)P(N)]\\&K(N+1)=P(N)x(N+1)[\lambda+x^T(N+1)P(N)X(N+1)]^{-1}\end{aligned}\right\}\qquad(9.1.2-237)$$

式中 $\theta^T(N)=[a_1(N),\cdots\cdots a_n(N),b_0(N)\cdots\cdots b_N(N)]$，$x^T(N+1)=[-y(N)\cdots\cdots-y(N+1-n),u(N+1)\cdots\cdots u(N+1-n)]$ λ 取值在 0 与 1 之间，其具体取值根据经验而定。λ 取得小，对参数的跟踪快，但估计的精度差。当 λ＝1 时，本算法就变成了递推算法。

9.3 线性系统脉冲响应函数辨识

求取系统的脉冲响应函数因为是在时域中进行，所以所需的先验知识较频域法为少。

9.3.1 非周期输入信号方法

对于一个单输入单输出的线性定常系统，若应用幅度相对很大，而其宽度很窄的方法来作

为输入信号。这近似于脉冲函数输入，则系统的输出近似为脉冲响应函数 g(t)。

9.3.2 相关分析法

9.3.2.1 相关分析法原理

给定一单输入、单输出的线性定常系统。见图 9.1.2—60

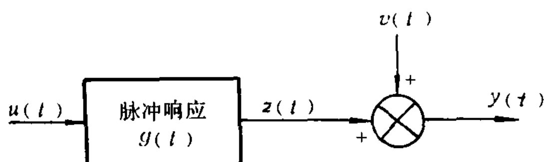


图 9.1.2—60 有噪声干扰的单输入、单输出系统框图

在图中，u(t)是系统的输入，y(t)是系统测量值，z(t)是系统真正输出，v(t)是随机干扰。其输入、输出关系以下列卷积形式表出。

$$z(t)=\int_0^{\infty}g(\lambda)u(t-\lambda)d\lambda$$

若 u(t)和 z(t)是平稳和各态历经的，则输入的自相关函数 $R_{uu}(t)$和输入输出间的互相关函数 $R_{uz}(t)$间存在下列关系。

$$R_{uz}(t)=\int_0^{\infty}g(t)R_{uu}(\tau-t)dt \tag{9.1.2—238}$$

上式便是著名的维纳——霍甫方程。

如果 u(t)和 n(t)不相关，而且 E[n(t)]=0，则下式成立。

$$R_{uy}(\tau)=R_{uz}(\tau)=\int_0^{\infty}g(t)R_{uu}(\tau-t)dt$$

但假使系统输入采用白色噪声信号，则系统的输出输入间互相关函数 $R_{uy}(\tau)$和脉冲响应 $g(\tau)$成比例。$R_{uy}(\tau)=kg(\tau)$。

但由于理想的白色噪声信号在物理上的不可实现性，故工程上常采用伪随机信号，例如伪随机二进制序列信号(P.R.B.S.)来近似白噪声。

9.3.2.2 伪随机二进制序列信号的性质

伪随机二进制序列信号可由数字逻辑电路或计算机产生。其性质具有

1)只取两个状态的周期序列，见图 9.1.2—61；

2)在序列中"1"和"0"出现的次数几乎相等，出现"1"次数比出现"0"次数多一次；

3)序列的自相关函数，在原点取得最大值 $R_{uu}(0)=\max$ 离开原点时，$R_{uu}(\tau)$迅速下降至零，并作周期性重复。见图 9.1.2—62。它的形状近似于白噪声的自相关函数。

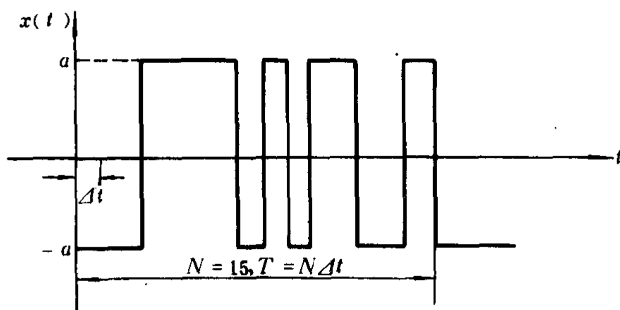


图 9.1.2—61 15 位 P.R.B.S.波形图

P.R.B.S.的自相关函数 $R_{uu}(k)$为

$$R_{uu}(0)=a^2$$

$$R_{uu}(k)=-\frac{a^2}{N} \qquad k\neq 0 \tag{9.1.2-239}$$

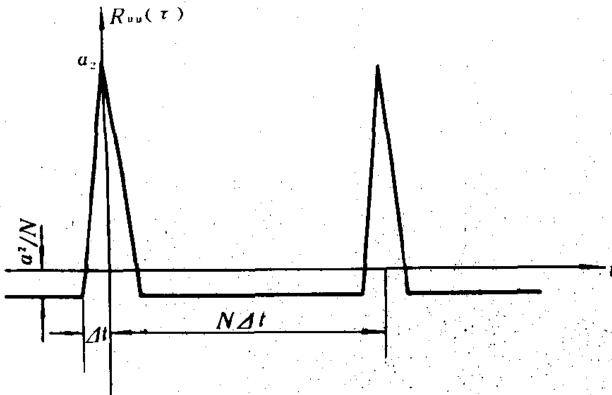


图 9.1.2.－62 P.R.B.S.的自相关函数

式中 N 表示 P.R.B.S. 的长度。

9.3.2.3 利用 P.R.B.S. 辨识脉冲响应函数

利用 P.R.B.S. 作为输入试验信号，通过相关分析，并应用式(9.1.2－238)，就可以得到脉冲响应函数的估计 $\hat{g}$。

$$\hat{g}=\frac{N}{a^2(N+1)}\begin{Bmatrix} 2 & 1\cdots\cdots & 1 \\ 1 & 2\cdots\cdots & 1 \\ \vdots & & \\ 1 & 1\cdots\cdots & 2 \end{Bmatrix}\begin{Bmatrix} R_{uy}(0) \\ R_{uy}(1) \\ \vdots \\ R_{uy}(p) \end{Bmatrix} \tag{9.1.2-240}$$

式中 a 表示信号的幅值，N 表示 P.R.B.S. 的长度，$R_{uy}(k)$为输入输出间的互相关函数，由下式给出

$$R_{uy}(k)=\frac{1}{m+1}\sum_{j=i}^{j+m}u(i-k)y(j)$$

其中 i 为任意正整数，表示相关函数计算的起点，m 表示数据个数，m 要取得足够大。

由于 P.R.B.S. 是独立的，和干扰 v(t)不相关，所以 v(t)不影响 $\hat{g}$ 的辨识精度。这种方法在实践中获得应用。

9.4 状态估计——卡尔曼滤波器

当系统的模型是状态空间模型时，有时还需要采用各种方法对其状态进行估计。卡尔曼滤波器就是各种方法中比较有效的一种，它特别适用于有随机干扰的线性动态系统。

9.4.1 动态系统的状态空间模型

对于一个具有随机干扰的线性系统，其离散形式的状态方程和输出方程分别为。

$$\begin{aligned} x(k+1)&=\Phi(k)x(k)+\Gamma(k)u(k)+G(k)w(k) \\ y(k)&=H(k)x(k)+v(k) \end{aligned} \tag{9.1.2-241}$$

式中 u(k)——系统的非随机控制输入；

w(k)——系统的随机扰动输入；

v(k)——系统的量测噪声；

y(k)——系统的量测输出；

x(k)——系统的状态，x(0)表示系统的初始状态。

其状态空间模型见图 9.1.2－63

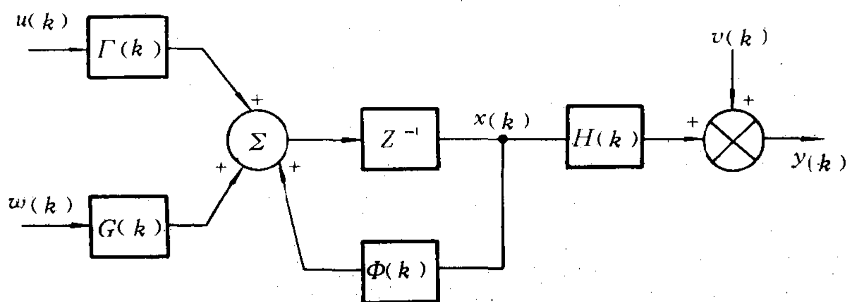


图 9.1.2－63　动态系统的状态空间模型

有关上述系统的状态估计问题，就是用量测序列{y(k)}对状态序列进行尽可能好的估计。假定已进行了 k 次量测，所得量测向量为 $Y^k=[y^T(1)、y^T(2)、\cdots\cdots y^T(k)]$，要对第 j 时刻的状态 x(j)进行估计。估计结果记为 $\hat{x}(j|k)$，把估计误差记为 $\tilde{x}(j|k)=x(j)-\hat{x}(j|k)$，估计的均方误差阵记为 $P(j|k)=E[\tilde{x}(j|k)\tilde{X}^T(i|k)]$。当 j＝k 时称为滤波，j＞k 时称为预报，j＜k 时称为内插。问题在于如何用已有的数据 Y^k 对系统的过去(j＜k)、现在(j＝k)或未来(j＞k)的状态作出最好的估计。

在分析时，假定 x(0)、{w(k)}和{ν(k)}的统计性质已知。并约定{w(k)}和{ν(k)}均为零均值的白噪声序列，即

$$E\{w(k)\}=0, E\{\nu(k)\}=0$$

$$E\{w(k)w(l)\}=R_1(k)\delta_{kl}$$

$$E\{\nu(k)\nu^T(l)\}=R_2(k)\delta_{kl}$$

$$\delta_{kl}=\begin{cases}1, k=t\\0, l\neq l\end{cases}$$

x(0)为正态分布，$E\{x(0)\}=\bar{x}(0)$，$E\{[x(0)-\bar{x}(0)]^T[X(0)-\bar{X}(0)]\}=P(0)$。且假定{w(k)}、{ν(k)}和 x(0)互不相关。

9.4.2　系统状态的最小方差估计

采用使下述判据

$$J=E\{[x(k)-\tilde{x}(k/k)][x(k)-\hat{x}(k/k)]^T\}=E[\tilde{x}\tilde{x}^T]$$

为最小的估计方法称为最小方差估计。

9.4.2.1　最小方差估计的计算

由下列式子得出 x 的最小方差估计 $\hat{x}$

$$\hat{x}=E[x|y=y]=\int_{-\infty}^{\infty}xp(x|y)dx \qquad (9.1.2-242)$$

x 和 Y 是两个联合高斯分布的随机向量。上式表示最小方差估计就是 Y＝y 时 x 的条件均值，所以最小方差估计又称条件均值估计。并且具有无偏性这样一种重要的统计特性。因为

$$E[E(x/y)]=\int_{-\infty}^{\infty}E(x/y)p(y)dy$$

$$=\int_{-}^{\infty}\infty\int_{-\infty}^{\infty}xp(x,y)dxdy=E(x)$$

9.4.2.2　系统状态的线性最小方差估计

设 x 和 Y 分别表示 n 维和 m 维高斯随机向量。假定$\begin{bmatrix} x \\ Y \end{bmatrix}$是联合高斯分布的，其均值为$\begin{bmatrix} m_x \\ m_y \end{bmatrix}$，协方差阵为 $R=\begin{bmatrix} R_{xx} & R_{xy} \\ R_{yx} & R_{yy} \end{bmatrix}$。则其条件均值由下列式子给出。

$$E[x|y]=m_x+R_{xy}R_{yy}^{-1}(y-m_y) \qquad (9.1.2-243)$$

上式表明，在高斯分布的假定条件下，最优估计是观测向量 Y 的线性函数，所以也就称这种估计为线性最小方差估计。同时其估计误差

$$\tilde{X}=x-E[x|y]=(x-m_x)-R_{xy}R_{yy}^{-1}(y-m_y) \qquad (9.1.2-244)$$

具有零均值，即 $E[\tilde{x}]=0$。且估计误差和 y 独立，其协方差阵由下式得出。

$$\begin{aligned} E[\tilde{x}\tilde{x}^T]&=E[x-E(x|y)][x-E(x|y)]^T \\ &=R_{xx}-R_{xy}R_{yy}^{-1}R_{yx} \end{aligned} \qquad (9.1.2-245)$$

但对上述公式(9.1.2－243)、(9.1.2－245)的深入分析，就会发现直接应用这些公式来进行估计在计算上还是有困难的。首先是矩阵 R_{yy}的求逆问题，其次是大量测试数据的储存问题。60 年代初，卡尔曼等人推导出了一套线性滤波递推估计公式，大大简化了计算工作量，也节约了存储容量。

9.4.3 卡尔曼滤波器

9.4.3.1 卡尔曼滤波器的主要公式

先不考虑输入序列$\{u(k)\}$的作用而只考虑干扰序列$\{w(k)\}$和量测噪声序列$\{\nu(k)\}$的作用。则系统的状态方程和输出方程分别为

$$x(k+1)=\Phi(k)x(k)+G(k)w(k)$$
$$y(k)=H(k)x(k)+\nu(k)$$

初始状态 x(o)为高斯分布，均值为 $\bar{x}(0)$。方差阵为 P(0)。$\{w(k)\}$，$\{\nu(k)\}$是独立、零均值、高斯分布的白噪声过程，其协方差阵 $E[w(k)w(k)^T]=R_1(k)$，$E[\nu(k)\nu(k)^T]=R_2(k)$，且 x(0)、$\{w(k)\}$、$\{u(k)^2\}$相互独立。

则状态的一步最优预报估计 $\hat{X}(k+1/k)$和滤波估计 $\hat{X}(k/k)$及与之相对应的误差方差阵 $P(k+1/k)$和 $P(k/k)$均由下列式子给出。$\hat{X}(k+1/k)$是根据 k 次全部量测值 y(1)、……y(k)，对(k＋1)时刻的 x 状态进行的一步预报估计。$\hat{x}(k/k)$是根据 k 次全部量测 y(1)，……y(k)对 k 时刻的状态进行的滤波估计。

预报估计公式

$$\hat{X}(k+1|k)=\Phi(k)\hat{X}(k|k-1)+K(k)[y(k)-H(k)\hat{X}(k|k-1)] \qquad (9.1.2-246)$$

式中 K(k)称为增益阵由下列式子给出。

$$K(k)=\Phi(k)P(k/k-1)H^T(k)[H(k)P(k/k-1)H^T(k)+R_2(k)]^{-1} \qquad (9.1.2-247)$$

$$\begin{aligned} P(k+1|k)=\Phi(k)\{&P(k|k-1)-P(k|k-1)H^T(k) \\ &\times[H(k)P(k/k-1)H^T(k)+R_2(k)]^{-1}H(k)p(k|k-1)\}\Phi^T(k)+G(k)R_1(k)G^T(k) \end{aligned} \qquad (9.1.2-248)$$

初始条件：$P(01-1)=P(0)$

滤波估计公式；

$$\hat{x}(k/k)=\hat{x}(k|k-1)+P(k|k-1)H^T(k)x$$
$$[H(k)P(k|k-1)H^T(k)+R_2(k)]^{-1}[y(k)-H(k)\hat{x}(k|k-1)] \qquad (9.1.2-249)$$

$$\begin{aligned} P(k|k)=&P(k|k-1)-P(k|k-1)H^T(k) \\ &\times[H(k)P(k|k-1)H^T(k)+R_2(k)]^{-1}H(k)P(k|k-1) \end{aligned} \qquad (9.1.2-250)$$

动态系统及卡尔曼滤波器的框图见图 9.1.2－64。

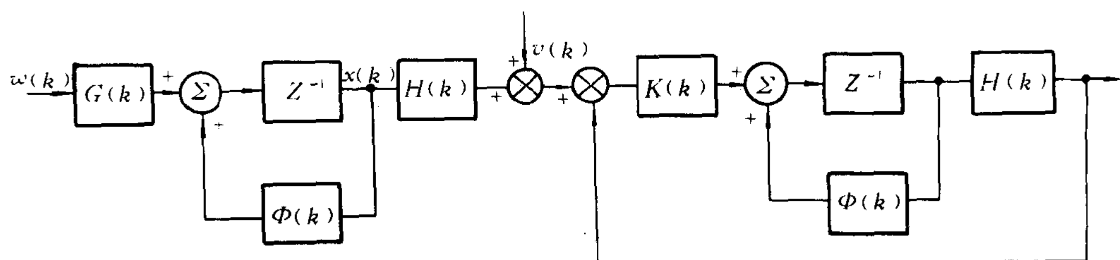


图 9.1.2－64 动态系统及卡尔曼滤波器框图

9.4.3.2 卡尔曼滤波器的一些意义和性质

1)研究下列预报估计公式

$$\hat{x}(k+1|k)=\Phi(k)\hat{x}(k|k-1)+K(k)[y(k)-H(k)\hat{x}(k|k-1)]$$

它表明 k 时刻的一步预报估计 $\hat{x}(k+1|k)$ 由两项组成，第一项 $\Phi(k)\hat{x}(k|k-1)$ 是由状态方程演变而来；第二项相当于修正项，$[y(k)-H(k)\hat{x}(k|k-1)]$ 是本时刻实测值 y(k) 和一步预报值 $H(k)\hat{x}(k|k-1)$ 之差，两者相减就是一步预报误差，K(k) 相当于一步预报误差的加权修正系数即增益阵。

2)利用下列矩阵等式

$$PH^T(HPH^T+R)^{-1}=(P^{-1}+H^TR^{-1}H)^{-1}H^TR^{-1}$$

可将增益阵 R(k) 化成下列式子 $K(k)=\Phi(k)P(k|k)H^T(k)R_2^{-1}(k)$。考察外界干扰对 K(k) 变化的关系，第一如果观测噪声 ν(k) 大，即 $R_2(k)$ 大，K(k) 将自动减小；这表明由于量测不正确，所以增益阵 K(k) 自动减小。第二如果随机扰动 w(k) 大，则相应 P(k|k) 也大，K(k) 也随之增大；这说明此时修正应加强，K(k) 的增大是合理的。

9.4.3.3 考虑控制输入 u(k) 的卡尔曼滤波器公式

1)已知系统的状态方程和量测方程为

$$x(k+1)=\Phi(k)x(k)+G(k)w(k)+\Gamma(k)u(k)$$
$$y(k)=H(k)x(k)+v(k)$$

这里考虑了控制输入 u(k) 的作用，并假定{u(k)}已知。关于 x(0)、{w(k)}和{v(k)}的假定和(9.4.3.1)的提法相同。

2)预报估计

$$\hat{x}(k+1/k)=\Phi(k)\hat{x}(k|k-1)+\Gamma(k)u(k)+K(k)[y(k)-H(k)\hat{x}(k/k-1)]$$

$$\begin{aligned}P(k+1/k)=&\Phi(k)\{P(k/k-1)-P(k/k-1)H^T(k)\\&\times[H(k)P(k/k-1)H^T(k)+R_2(k)]^{-1}H(k)P(k/k-1)\}\Phi^T(k)\\&+G(k)R_1(k)G^T(k)=\Phi(k)P(k/k)\Phi^T(k)+G(k)R_1(k)G^T(k)。\end{aligned}$$

$$K(k)=\Phi(k)P(k/k-1)H^T(k)[H(k)P(k/k-1)H^T(k)+R_2(k)]^{-1}$$

3)滤波估计

$$\begin{aligned}\hat{x}(k+1/k+1)=&\Phi(k)\hat{x}(k/k)+\Gamma(k)u(k)+K(k+1)[y(k+1)\\&-H(k+1)\Phi(k)\hat{x}(k/k)-H(k+1)\Gamma(k)u(k)]\end{aligned}$$

$$K^1(k+1)=P(k+1/k)H^T(k+1)[H(k+1)P(k+1/k)H^T(k+1)+R_2(k+1)]^{-1}。$$

9.4.3.4 卡尔曼滤波器的具体计算框图

见图 9.1.2—65

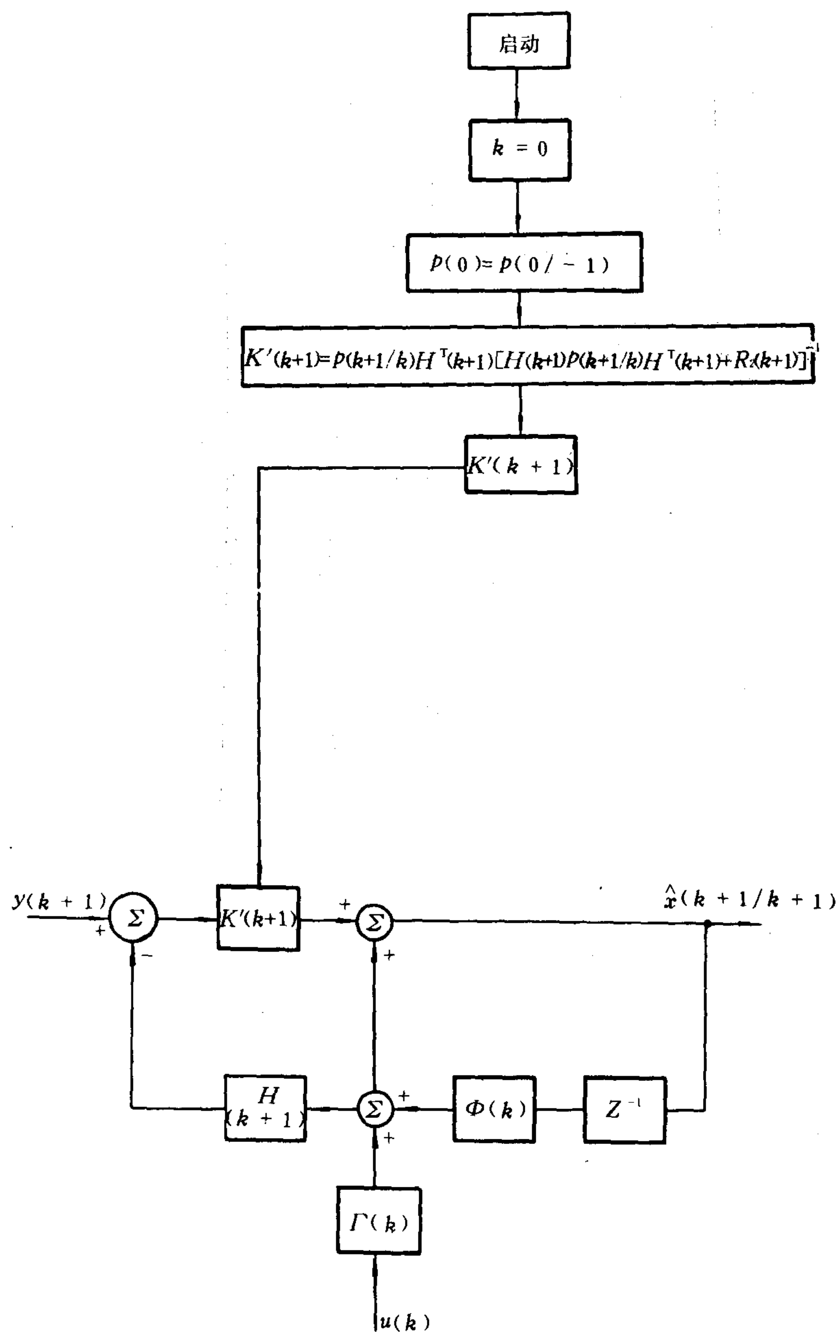


图 9.1.2—65 卡尔曼滤波器的具体计算框图

9.5 自适应控制原理简介

自适应控制是一种同时把在线辨识和优化控制两者结合在一起进行协调动作的控制方法。

自适应控制的研究对象是具有不确定性的系统，通常被控对象动态过程数学模型的结构和参数不断变化以及环境中各种扰动事先并不知道，因此被控过程虽然在理想设计点具有良好性能，但偏离该状态时其性能就难以把握，自适应控制是在控制过程中不断识别对象的各种变化，相应地修改控制策略，使得一事先给定的性能指标尽可能地最优或近似最优。

系统在运行过程中根据实时测得的被控对象的输入和输出数据，不断地辨识它的数学模型的结构和参数，这就叫在线辨识，通过在线辨识，模型愈接近于实际，这样一来，控制作用也会不断地得到完善，这说明这种控制系统具有一定的适应能力，这就是自适应控制系统的主要特点。

对常规的反馈控制系统来说，当系统的结构和参数有很大变化或有大幅度的扰动变化时，系统的性能指标就要大幅度下降，甚至导致系统的不稳定，这时采用自适应控制是非常有效的。

9.6 自适应控制的分类及其原理

9.6.1 在线辨识被控对象数学模型的自适应控制系统

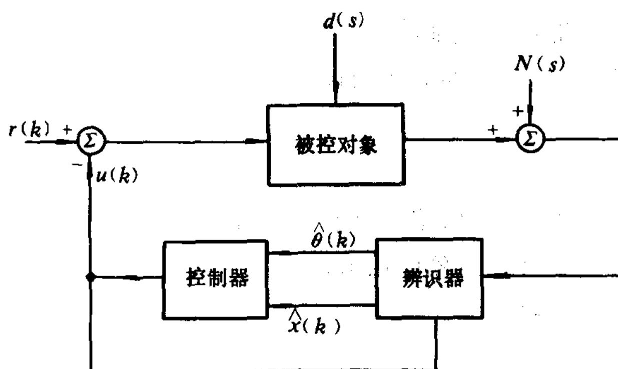


图 9.1.2—66 具有在线辨识的自适应控制系统

此系统由被控对象，辨识器和控制器等三部分组成，见图 9.1.2—66。辨识器在线辨识被控对象未知参数未和未知状态，控制器则利用由辨识得出的参数和状态以及事先给定的性能指标，综合最优控制作用。在目前工业过程控制领域内，应用得比较多的是自校正调节器。

9.6.2 参考模型自适应控制系统

见图 9.1.2—67。参考模型的输出 $y_m(t)$ 为样本信号，被控对象的输出 y(t) 和 $y_H(t)$ 相比较，产生偏差信号 e(t)，e(t)、调节器的输出 u(t) 和输入 r(t) 一起进入自适应律计算回路，产生相应的控制作用，直接整定调节器的参数，使 y(t) 和 $y_H(t)$ 逐步接近，直到偏差信号 e(t)＝0。

9.7 自校正调节器

9.7.1 最小方差控制和自校正调节器

最小方差控制实质上就是随机控制中的一种，在已知被控对象的数学模型和随机扰动情况下，使随机扰动对输出的影响为最小，即输出量的稳态方差为最小。

当被控对象的数学模型事先未知而其参数又在不断发生变化，为了使控制系统的性能指标仍旧保持最优或近似最优，这就要求调节器能不断重新整定自己的调节参数，具有这种性能的调节器就称为自校正调节器。

9.7.2 自校正调节器的结构

自校正调节器由参数估计器、控制器参数计算部分和控制器三部分组成，见图 9.1.2—68

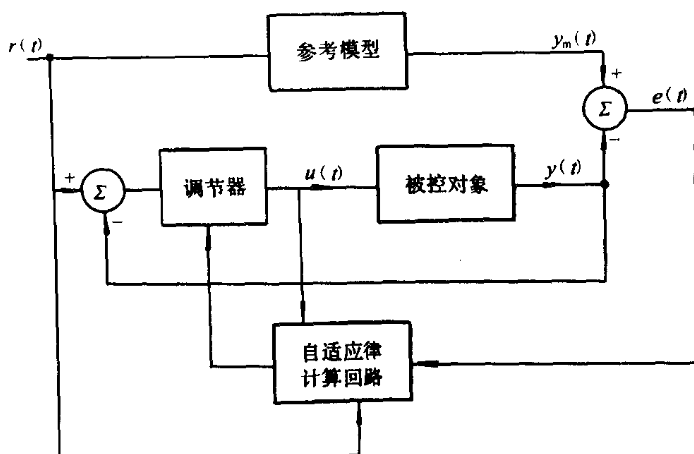


图 9.1.2—67 参考模型自适应控制系统

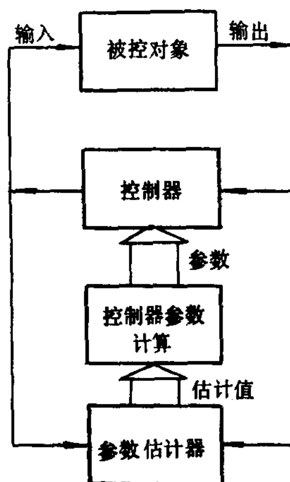


图 9.1.2—68 自校正调节器的结构

参数估计器根据量测得到的输入和输出的数据，不断地辨识被控对象的参数，根据参数估计值控制器参数计算部分算得新的控制器参数，控制器根据新的控制器参数和目前测得的输出值送出下一步控制动作。

对于最小相位系统参数估计方法大多采用递推最小二乘法，性能指标多采用最小方差，但对象具有不稳定零点的非最小相位系统，应用以后控制量的方差可能太大，在这种情况下就要考虑采用极点配置自校正调节器。

9.7.3 闭环条件下被控对象的参数的可辨识问题。

当自校正调节器采用最小二乘法作为在线辨识方法时，系统处在闭环条件下，被控过程参数能被辨识的条件为调节器方程的阶应等于或大于被控对象的阶 n。

9.7.4 最小方差自校正调节器

9.7.4.1 生产过程的数学模型

虽然所有的实际生产过程都是非线性的，但采用以某一平衡工作点为基准的线性化方法，并由此得到的线性微分方程常常能取得满意结果，其数学模型如下式所示

$$y(t)=\frac{B(s)}{A(s)}u(t-\Delta)+\frac{C(s)}{A(s)}\xi(t) \quad (9.1.2-251)$$

式中 B(s)、A(s)和 C(s)为微分算子 s 的多顶式，Δ 表示过程的时间延时，ξ(t)表示白色噪声，c(s)中所有的根必须在开左半平面

它的离散化方程形式为：

$$y(k)=\frac{B(Z^{-1})}{A(Z^{-1})}u(k-m)+\frac{C(Z^{-1})}{A(Z^{-1})}\xi(k) \quad (9.1.2-252)$$

式中 k 表示采样时刻 kT，m 表示过程延时为 mT，各多项式的阶次为 n，A 和 C 的首项系数为 1，$b_0\neq0$，ξ(k)为一不相关序列，其方差为 σ^2，$C(Z^{-1})$的所有根在单位圆内。

9.7.4.2 预报模型

由于系统存在着延时 m，控制 u(k)能起影响作用的第一个输出将是 y(k+m)，所以能预

报 $y(k+m)$ 的模型是

$$y(k+m)+\alpha_1 y(k)+\cdots\cdots+\alpha_p y(k-p)=$$
$$\beta_0 u(k)+\beta_1 u(k-1)+\cdots\cdots+\beta_l u(k-l)+\in(k+m) \tag{9.1.2-253}$$

式中 $\in(k+m)$ 为白色噪声，一般 p、l 应大于或等于过程的阶 n。

9.7.4.3 预报模型中的参数估计算法

$$y(k)=\beta_0 u(k-m)+x^T(k-m)\theta+\in(k) \tag{9.1.2-254}$$

式中 $x^T(k)=[-y(k),-y(k-1),\cdots\cdots-y(k-p+1),u(k-1),\cdots\cdots u(k-l)]$，$\theta^T=[\alpha_1\cdots\cdots\alpha_p\beta_1\cdots\cdots\beta_l]$ 表示要估计的参数，β_0 由经验或试验决定，参数 θ 的估计可采用最小二乘递归算法。

$$\theta(k+1)=\theta(k)+K(k)[y(k)-\beta_0 u(k-m)-x^T(k-m)\theta(k)] \tag{9.1.2-255}$$

$$k(k)=P(k)x(k-m)[1+x^T(k-m)P(k)x(k-m)]^{-1} \tag{9.1.2-256}$$

$$P(k+1)=P(k)-K(k)[1+X^T(k-m)P(k)x(k-m)]K^T(k) \tag{9.1.2-257}$$

9.7.4.4 控制作用

控制作用将使输出方差为最小，其形式为

$$u(k)=-\frac{1}{\beta_0}\theta^T x(k) \tag{9.1.2-258}$$

9.7.5 极点配置自校正调节器

根据要求，合理地配置极点，可以兼顾随机性扰动和确定性扰动的影响。

调节器方程为

$$F(Z^{-1})y(k)+G(Z^{-1})u(k)=0(g_0=1) \tag{9.1.2-259}$$

闭环系统方程为

$$(AG+Z^{-K}BF)y(k)=CG\xi(k) \tag{9.1.2-260}$$

选 $AG+Z^{-K}BF=CT$，T 即为要求的闭环特征方程式，$T=\Pi_i(1-\alpha_i Z^{-1})$，$\alpha_i$ 为稳定极点。

$$y(k)=\frac{G}{T}\xi(k),u(k)=-\frac{F}{T}\xi(k) \tag{9.1.2-261}$$

这样通过 T 的合理选择，既可以得到系统稳定，又可以得到最小方差输出。

9.8 参考模型自适应控制

系统的性能要求直接通过一个参考模型的输出来表达，问题就在于根据对被控对象动态性能的要求来选择一个参考模型，使模型的输出代表所要求的输出响应，可分为下列几种形式。

9.8.1 被控对象的全部状态参数能直接测得的系统

见图 9.1.2—69。被控对象为单维控制系统，结构已知，但参数未知。

$$\begin{aligned}\dot{x}_p(t)&=A_p(t)x_p(t)+B_p(t)u(t)\\ y_p(t)&=h_p(t)x_p(t)\end{aligned} \tag{9.1.2-262}$$

参考模型为下列形式

$$\begin{aligned}\dot{x}_m(t)&=A_m x_m(t)+B_m r(t)\\ y_m(t)&=h_m x_m(t)\end{aligned} \tag{9.1.2-263}$$

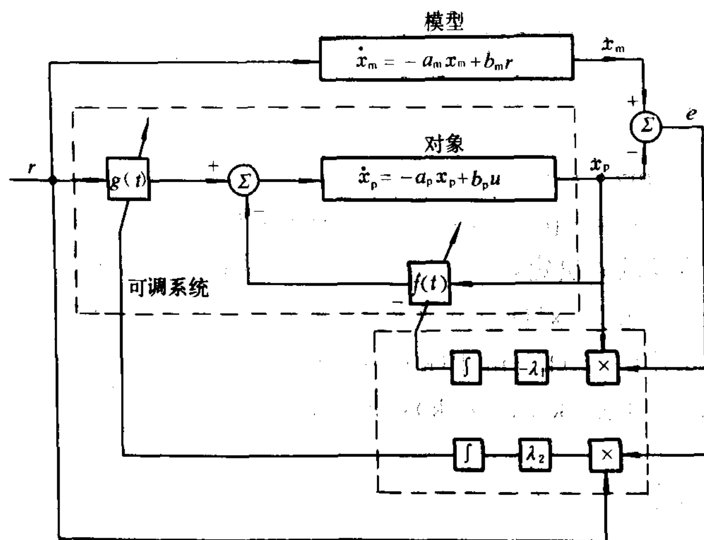


图 9.1.2－69　一阶自适应控制系统结构图

其中 A_m，B_m、和 h_m 为已知的常数矩阵式向量。由于被控对象的参数不能直接调节，故另外设置了一个参数可调的控制器，控制器和对象一起组成了可调系统，调节可调系统中的 f，g 参数使

$A_p+B_pf=A_m$　　(9.1.2－264)

$B_pg=B_m$

由此达到了可调系统和参考模型的动态响应完全一致，同时为了保证整个调节系统稳定，采用自适应调整律为

$$\dot{f}(t)=-\lambda_1 e(t)x_p(t)$$
$$\dot{g}(t)=\lambda_2 e(t)r(t)$$
(9.1.2－265)

关于多变量控制系统，其具体处理方法与上述一维系统相似。

9.8.2　直接根据对象的输入输出信号的自适应控制系统

把直接测得的参考输入 r(t)，被控对象输出 $y_p(t)$ 和对象输入 u(t) 作为自适应控制器的输入，由自适应控制器和被控对象一起组成可调系统，见图 9.1.2－70 其传递函数 W(s) 为

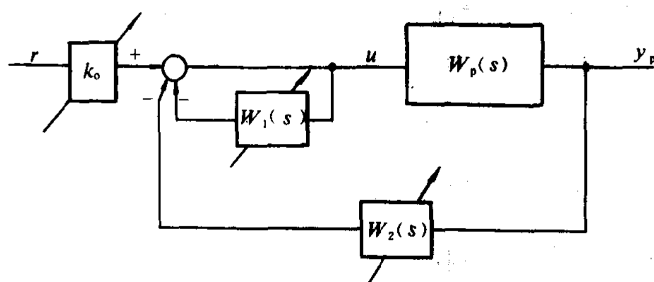


图 9.1.2－70　可调系统的结构图

$$W(s)=\frac{k_0W_p(s)}{1+W_1(s)+w_p(s)w_2(s)}$$
(9.1.2－266)

其中 $w_p(s)$ 为对象传递函数

$$W_p(s)=k_p\frac{Z_p(s)}{k_p(s)}$$
(9.1.2－267)

式中 $Z_p(s)$ 为(n－1)阶稳定多项式，$R_p(s)$ 为 n 阶多项式，参考模型的传递函数为

$$W_m(s)=k_m\frac{Z_m(s)}{R_m(s)}\qquad(9.1.2－268)$$

式中 $Z_m(s)$ 和 $R_m(s)$ 分别为 s 的(n－1)阶和 n 阶的稳定多项式，由于自适应的要求，还要求 $W_m(s)$ 为严正实函数，为了实现可调系统与参考模型完全匹配，就要求 $W(s)=W_m(s)$，在上述给定多项式情况下，这个要求是完全能实现的。

参 考 文 献

[1]　C. J. Harris and S. A. Billings，Self--Tuning and Adaptive Contol-Theory and Applications Peter Peregrinus LTD，1981

[2] 韩曾晋，自适应控制系统机械工业出版社，1983。

[3] K. J. Åstrom, Introduction to stochastic Contol Theory Academic Press, 1970

[4] K. J. Åstrom and B. Wittenmark, On self--tuning Regulators Automatica, 9. P. 185 −199, 1973

[5] P. E. Wellstead etc, Pole Assignment self−tuning Regulators P. I. E. E. Vol. 126. No. 8, 1979

[6] C. G. Källström, Adaptive Autopilots for Tankers. Aatomatica 15 P241−259, 1979

10 仿真技术

10.1 计算机仿真概述

10.1.1 什么是仿真技术

物理仿真：在对一个复杂工程系统进行自动控制系统的分析和综合的过程中，采用一种物理模型，即实物模型的方法来仿真整个系统，并在这个物理模型上进行整个系统的特性的实验研究，或分析控制系统对整个系统的动态性能的影响，这种方法称为物理仿真。如船模水池试验，电力系统的动态模型。

计算机仿真：将一个实际的工程系统的运动规律，用数学形式表达出来，这就叫做该系统的数学模型。然后用模拟计算机或数学计算机来求解，这就是计算机仿真。

10.1.2 仿真系统的分类

1)实时仿真和非实时仿真

在仿真系统中，控制器采用实物，被控对象采用仿真模型，整个系统在实时基础上运行，这就是实时仿真。假使无实物介入，就叫做非实时仿真。

2)模拟仿真系统，数字仿真系统和混合仿真系统。

用模拟计算机组成的系统叫模拟仿真系统，主要优点是运算速度快，缺点是精度较低。

用数字计算机进行仿真的系统叫数字仿真系统，其优点是精度高，修改各种参数容易，缺点是速度较低。

将模拟计算机和数字计算机结合在一起而进行仿真的系统，叫混合仿真系统。

10.2 连续系统的数字仿真

在数字计算机上用数值算法来求解一个以微分方程表示的生产过程控制系统的数学模型，这就是连续系统的数字仿真。

10.2.1 连续系统的数学模型的表示方式

1)微分方程

$$\frac{d^n y}{dt^n}+a_1\frac{d^{n-1}y}{dt^{n-1}}+\cdots\cdots+a_{n-1}\frac{dy}{dt}+a_n y$$
$$=b_0\frac{d^{n-1}u}{dt}+b_1\frac{d^{n-2}u}{dt}+\cdots\cdots+b_{n-1}u \qquad (9.1.2-269)$$

式中 y 表示系统的输出量，u 表示系统的输入量。

2)传递函数

$$G(s)=\frac{Y(s)}{U(s)}=\frac{b_0s^{n-1}+b_1s^{n-2}+\cdots\cdots b_{n-1}}{s^n+a_1s^{n-1}+\cdots\cdots+a_{n-1}s+a_n} \qquad (9.1.2-270)$$

3)状态空间

对下列形式数学模型。

$$\frac{d^ny}{dt^n}+a_1\frac{d^{n-1}y}{dt^{n-1}}+\cdots\cdots+a_{n-1}\frac{dy}{dt}+a_ny=u(t)$$

若令:

$$x_1=y$$

$$x_2=\dot{x}_1=\frac{dy}{dt}$$

$$\vdots$$

$$x_n=\dot{x}_{n-1}=\frac{d^{n-1}y}{dt^{n-1}} \qquad (9.1.2-271)$$

则 $\dot{x}_n=-a_1x_n-a_2x_{n-1}\cdots\cdots-a_nx_1+u(t)$

若写成矩阵形式则得

$$\dot{x}=Ax+Bu \qquad (9.1.2-272)$$

$$y=Cx$$

10.2.2 建立在数值积分基础上的数字仿真

以一阶微分方程组成状态方程,表示的连续系统的数学模型,假使每个一阶微分方程都可用数值积分法求解。就可求得整个系统的动态性能,下面为几种一阶常微分方程的数值解法。

1)欧拉折线法

求常微分方程$\frac{dy}{dt}=f(t.y)$,$y(t_0)=y_0$ 的解,用递推公式 $y_{i+1}=y_i+hf(t_i,y_i)(i=0.1.2\cdots\cdots)$ 便成为改进的折线法或梯形法。

2)龙格—库塔法

龙格—库塔法是一阶常微分方程数值解法最常用的方法之一,四阶龙格—库塔法的计算公式为。

$$y_{i+1}=y_i+\frac{1}{6}(K_1+2K_2+2K_3+K_4)$$

其中 $K_1=hf(t_i,y_i)$ (9.1.2—273)

$$K_2=hf(t_i+\frac{h}{2},y_i+\frac{1}{2}hK_1)$$

$$K_3=hf(t_i+\frac{h}{2},y_i+\frac{1}{2}hK_2)$$

$$K_4=hf(t_i+h,y_i+hK_3)$$

截断误差正比于 h^5,$h<2T_{min}$,T_{min}为系统中的最小时间常数。

10.2.3 以一阶微分方程为基础的数字仿真程序。

专用的数字仿真语言 CSMP 或通用的数字仿真程序等。一般应包含以下程序块。

1)初始化程序块:决定系统维数和工作单元;

2)输入程序块:输入系统各种参数、初值、步长、打印间隔等;

3)运行程序块:数值计算的仿真方法;

4)输出程序块 :输出 运算结果。

10.2.4 采用结构图法的数字仿真。

如果系统由许多典型环节组成，仿真时，将各环节的参数及连接矩阵输入计算机，通过程序计算表示整个系统特性的一阶微分方程组，由此来研究个别参数对整个系统性能的影响。

1）根据系统结构组成系统的方框图，从方框图中各个环节间的连接方式，得出连结矩阵 W 及 W_0，并以下列矩阵形式表示。

$$U=WY+W_0y_0$$

其中 U、Y 分别表示 n 个典型环节的输入、输出信号，为列向量，W 为 $n\times n$ 的连接矩阵，它的元 W_{iy}的数值为第 j 环节对第 i 环节的连接系数，若 $W_{iy}=0$ 则表示无连接关系。W_0 表示输入信号 y_0 和系统的连接情况，W_{0j}为第 j 环节上输入信号 y_0 的作用系数。

2）图 9.1.2—71 为常见的典型环节。

$$y_i=\frac{C_i+D_{is}}{A_i+B_{is}}u_i(i=1.2.\cdots\cdots n) \quad (9.1.2—274)$$

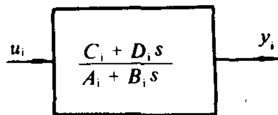


图 9.1.2—71 典型环节

n 个这种环节组成的互不关连系统，其矩阵表达形式为

$$(A+Bs)Y=(C+Ds)U \quad (9.1.2—275)$$

A.B.C.D 都是对角线矩阵，对上述两个矩阵方阵联立求解，若 $Q=B-DW$ 的逆矩阵存在，就得标准的一阶常微分方程组，

10.3 连续系统离散相似法仿真研究

将一个连续系统进行离散化，然后进行数字仿真研究。

10.3.1 离散化了的状态方程

对一个以状态方程表示的连续系统，人为地加以离散化，离散化后状态方程的解为

$$x(n+1)=\Phi(T)x(n)+\Phi_m(T)U(n)+\hat{\Phi}_m(T)\dot{U}_n(n)$$

其中 u(n)为 t=nT 时的输入值，

$$\dot{u}_n(n)=\frac{u(n+1)-u(n)}{T}$$

10.3.2 一些典型环节的系数值

环节名	y(s)/u(s)	φ(T)	$\varphi_m(T)$	$\varphi_m(T)$	y(n+1)
积分	$\frac{K}{s}$	1	KT	$\frac{kT^2}{2}$	X(n+1)
比例积分	$\frac{K(bs+1)}{s}$	1	KT	$\frac{KT^2}{2}$	x(n+1)+bku(n+1)
惯性	$\frac{k}{s+a}$	e^{-at}	$\frac{k}{a}(1-e^{-at})$	$\frac{k}{a^2}(e^{-at}-1)+\frac{k}{a}T$	x(n+1)
比例一惯性	$K\frac{s+b}{s+a}$	e^{-at}	$\frac{k}{a}(1-e^{-at})$	$\frac{k}{a^2}(e^{-at}-1)+\frac{k}{a}T$	(b−a)x(n+1) +ku(n+1)

10.3.3 离散相似法仿真的研究方法

研究方法和结构图法相似。

10.4 控制参数寻优技术

调整控制器的参数，使得性能指标函数 J(α)为最小，这属于静态寻优问题，假使控制器只有一个参数可调，便是单变量寻优问题（α 为单变量）；有多个参数可调，便是可变量寻优问题

（α 为 n 维变量）；假定被调参数没有约束条件，则就是无约束条件下的参数优化问题；有约束条件（含等式约束或不等式约束），则就是在约束条件下的参数优化问题。

不经过对函数求导而求出优化参数的方法叫直接法。

寻优技术是在不断的迭代过程中，选择最佳的 α 值，使目标函数 J(α)不断减小，直到达到某种结束条件为止。

10.4.1 单变量寻优技术

1)平分法

条件：已知目标函数 J(α)在[a,b]两点内有一个极小值存在。

方法：①$\alpha=\frac{a+b}{2}$

②比较 J(a)，J(α)，J(b)大小，去掉最大的一个，其中的两个[a,α]或[α,b]作为新的[a,b]，重复上述步骤，直到区间充分小。

2)黄金分割法

条件同平分法。

方法 ①$\alpha_1=a+0.618(b-a)$

$\alpha_1'=b-0.618(b-a)$

②比较 $J(\alpha_1)$，$J(\alpha'_1)$大小，若 $J(\alpha'_1)$或 $J(\alpha_1)$取小值时，以$[a_1,\alpha_1]$或$[\alpha_1',b]$为新的[a,b]，此时 α'_1 或 α_1 即为新的 α_2 或 α'_2，再重复上述步骤。

3)二次插值法

条件同平分法。

方法：①在 J(α)的区间内找三点，使符合 $J(\alpha_1)>J(\alpha_2)>J(\alpha_3)$

②通过此三点，构成一个二次函数

$$Q(\alpha)=a_1\alpha^2+b_1\alpha+c_1$$

③求出此二次函数的极值点 α_1^*

④以 α_1^*，α_3，α_1，再构成一个二次函数，再求极值，并重复上述步骤。

10.4.2 多变量寻优技术

1)最速下降法

沿着梯度相反方向即为最速下降方向，

方法：①任设 α°

②$\alpha_{i+1}=\alpha_i-k_i\nabla J(\alpha_i)$

其中$\nabla J(\alpha_i)$是 J(α)在 α_i 处的梯度。

2)共轭梯度法。

n 维的二次式经过 n 次迭代，即沿着 n 个互相共轭的方向搜索 n 次，即达到极小值。

方法：①任设 α°

②$\alpha^{i+1}=\alpha^i+k_ip^i$（$k_i$ 为最佳步长）

$p^0=-\nabla J(\alpha^\circ)$

$p^{i+1}=-\nabla J(\alpha^{i+1})+\frac{\nabla^T J(\alpha^{i+1})\nabla J(\alpha^{i+1})}{\nabla^T J(\alpha^i)\nabla J(2^i)}p^i$

(i=0、1……n)。

③以 α^{i+1}作为新的 α°，重复上述步骤，

10.4.3 线性规划

10.4.3.1 问题提出

在向量形式 $f(y) \leqslant b$ 的 m 个不等式约束下，选择 y 的 n 个分量，使纯量函数 $L(y)$ 为最小，并且 L、f 是 y 的线性函数，这就是线性规划问题。

10.4.3.2 线性规划问题的标准形式

满足 $Ay=b$

$y \geqslant 0$

使 $L(y)=C^T y$ 为最小，C 是 n 维列向量，b 是 n 维向量，A 是 $m \times n$ 矩阵，$m<n$。此即为线性规划的标准形式。

但实际问题往往需经过简单的处理才能化为上述形式。如约束是 $y_i \leqslant d_i$，则采用新变量 d_i-y_i，以便使 $(d_i-y_i) \geqslant 0$。当约束为

$$d_1y_1+d_2y_2+\cdots\cdots+d_py_p \leqslant d$$

形式时，我们引入非负的松弛变量 y_{p+1}，使 $d_1y_1+d_2y_2+\cdots\cdots+d_py_p+y_{p+1}=d$

如果不等号反过来，就从左边减去一个非负的松弛变量等等办法。

10.4.3.3 解法一单纯形法

假如已找到一个基本能行解（即满足约束条件且 $n-m$ 个分量为 0 的解，记为 $(y_1,\cdots\cdots y_m,0,\cdots\cdots 0)$，就可以用消去法把约束条件转化成

$$y_i+\sum_{j=m+1}^{n} a_{ij}y_j=b_i (i=1\sim m)$$

这时必有 $b_i \geqslant 0 (i=\sim m)$。列出相应的单纯形表 9.1.2－27。

表 9.1.2－27　　**单 纯 形 表**

$y_1y_2\cdots\cdots y_my_{m+1}\cdots\cdots y_s\cdots\cdots y_n$	
$1 \quad 0\cdots\cdots 0a_{1,m+1}\cdots\cdots a_{1s}\cdots\cdots a_{1n}$	b_1
$0 \quad 1\cdots\cdots 0a_{2,m+1}\cdots a_{2s}\cdots a_{2p}$	b_2
$\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots$	$\vdots$
$0 \quad 0\cdots\cdots 1 \quad a_{m,m+1}\cdots\cdots a_{ms}\cdots\cdots a_{mn}$	b_m
$0 \quad 0 \cdots\cdots 0 \ r_{m+1}\cdots\cdots r_s\cdots\cdots r_n$	

表的最后一行，是由目标函数的系数 $(C_1\cdots\cdots (n)$ 对上面的系数矩阵消去变换而得。

如果所有的 $r_j \geqslant 0$，则这个基本能行解就是最优解。否则，挑出 r_j 中绝对值最大的负数 $r_s (m+1 \leqslant s \leqslant n)$，考察单纯形表中的 s 列，当所有 $a_{is} \leqslant 0$，没有最优解；不然，则对那些 $a_{is}>0$ 选出能使

$$\frac{b_t}{a_{ts}}=\min_i \frac{b_i}{a_{is}} (a_{is}>0)$$

成立的 t，用第 t 行将单纯形表（包括末行）实行消去法，使第 s 列除 a_{ts} 为 1 外其余为零，得到一张新的单纯形表，再判断新的最末一行中的数是否大于等于零。重复若干次，直到获得最优解或判断无解。

10.5 仿真技术在轮机工程中的应用

10.5.1 轮机机舱模拟器的类型

1）汽轮机（含主锅炉）机舱模拟器；

2)低速或中速柴油机机舱模拟器；

3)船舶电站模拟器。

10.5.2 低速柴油机机舱模拟器的结构和组成

10.5.2.1 硬件

1)模拟集控室包括集控台、电站开关屏、主机遥控装置、集中监视装置、各种显示、报警、记录装置和通信联系设备；

2)模拟机舱由大型模拟板或由各种主辅机械的控制箱组成；

3)教员室由教员控制台、主机驾驶台、控制屏、通信终端与音响装置等组成；

4)能进行实时仿真的计算机系统。

10.5.2.2 软件

1)运营、管理和评估运算结果的教员软件；

2)各种主辅机数学模型的实时仿真软件；

3)各种硬件和计算机联系的接口软件；

4)仿真系统管理软件(含计算机操作系统)。

10.5.2.3 低速柴油机机舱模拟器的功能

1)船舶操纵训练含各种常规控制系统的模拟训练；

2)故障设置和排除的训练；

3)经济和最优工况运行研究。

参考文献

[1] 熊光楞编著,控制系统数字仿真 清华大学出版社 1982

[2] G. S. Fishman, Principles of Discrete Events Simulation John Wiley 1978

[3] R. W. Southworth, S. L. Deleeuw, Digital Computation and Numerical Methods Mc Graw-Hill 1965

11 可靠性和可维性

11.1 可靠性和可维性的基本概念

可靠性指的是产品在规定的条件下及规定的时间内完成产品规定的性能指标的能力。

11.1.1 可靠度 R(t)

系统(或整机部件,元器件等)在规定的条件下,规定的时间内完成产品规定的性能指标的概率,就称为该系统的可靠度。

11.1.2 不可靠度 F(t)

$$F(t)=1-R(t) \tag{9.1.2-276}$$

11.1.3 可靠度的求法

系统的寿命是一个正常工作时间的随机变量 x。这样,系统的可靠度 R(t)就是 x 大于 t 的概率,即

$$R(t)=P(x>t)=\int_t^{\infty} f(x)dx,\quad t\geqslant 0$$

$$[f(x)=F'(x)] \qquad (9.1.2-277)$$

11.1.4 失效率(或故障率)$\lambda(t)$

表示到某一时间 t 为止尚未发生故障而在下一单位时间内,可能发生故障的条件概率。

$$\lambda(t)=\frac{f(t)}{R(t)}=\frac{-dR(t)}{dt}/R(t) \qquad (9.1.2-278)$$

11.1.5 浴盆曲线和三种类型失效率

对于一个系统或产品来说,一般其失效率随时间而变化的曲线服从浴盆曲线,见图 9.1.2—72。

t_0-t_1 段服从早期失效型,即失效率随时间 t 增大而减小,t_1-t_2 段服从偶然失效型即 λ 为常数的恒定失效率。大于 t_2 段服从耗损失效型,即 $\lambda(t)$ 随时间 t 而逐渐增大。



图 9.1.2—72 浴盆曲线

11.1.6 可修复系统

系统在故障后,经过维修可以恢复到正常状态的系统。

11.1.7 平均故障时间间隔(MTBF)和平均寿命

如果工作时间随机变量 x 的数学期望值为

$$\theta=\int_0^{+\infty} tf(t)dt \qquad (9.1.2-279)$$

对于可修复系统,θ 即平均故障时间间隔,对于不可修复系统,θ 即为平均寿命。

如果产品寿命概率分布服从指数分布,则平均故障时间间隔和失效率互为倒数。

11.1.8 有效度 A(t)

系统在时刻 t 正常工作的概率称为该系统的有效度。

11.1.9 稳态有效度 A

如果 $A=\lim_{t\to\infty} A(t)$ 存在,就称此极限为稳态有效度。

$$A=\frac{MTBF}{MTBF+MTTR(MTTR\text{ 为平均修理时间})} \qquad (9.1.2-280)$$

11.1.10 可维修性

设备或系统发生故障,经过维修能恢复正常工作的能力。

11.1.11 维修度

系统或设备在故障开始后 t 时间内经过维修而恢复正常工作状态的概率。

$$M(\tau)=\int_0^{\tau} m(t)dt \qquad (9.1.2-281)$$

m(t)表示维修时间随机变量 T 的分布密度函数

11.1.12 平均修理时间(MTTR)

如果维修时间随机变量 T 服从指数分布,由于平均修理时间为随机变量 T 的数学期望,则

$$MTTR = \int_0^\infty \tau m(\tau) d\tau \quad (9.1.2-282)$$

11.1.13 稳态模型的可靠性计算

1)串联系统:见图 9.1.2—73。

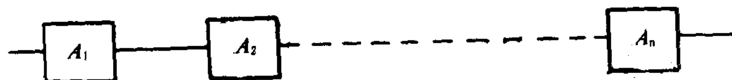


图 9.1.2—73 串联系统

系统由几个独立部件串联组成。若其中只要有一个发生故障,系统就失效。假定 A_i 的可靠度为 R_i,则 $R_s=\pi_{i=1}^{n} Ri$

2)并联系统:见图 9.1.2—74。

由 n 个独立部件并联组成,若 n 个部件都发生故障后,系统才失效,假定 A_i 的可靠度为 R_i,则 $R_s=1-\pi_{i=1}^{n}(1-R_i)$。

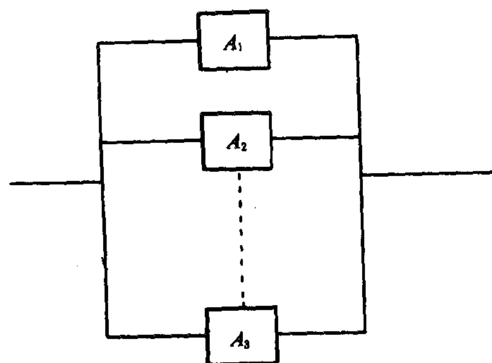


图 9.1.2—74 并联系统

11.1.14 可靠寿命

若可靠度 R_0 预先给出,由 $R_0=R(t)$ 或解出 $t=T_0$,T_0 即称为可靠寿命。

11.2 提高可靠性的方法

提高计算机控制系统可靠性办法有两种,一种是采用可靠性高的元件进行完善设计,另一种是容错技术。

11.2.1 完善设计

在最低费用基础上获得性能最优并最大限度地提高固有可靠性的方法。

研究各种产品性能指标、规格,然后进行购置和管理,按下列步骤进行处理,以提高其可靠性。

1)筛选:就是对各种电子元器件施加一种应力或多种应力的试验,曝露元器件的固有缺陷以及部分早期失效元器件,而不破坏好的元器件的完整性。

筛选有下列各种方法,可根据需要而定。①目检;②x 射线检验;③高温贮存;④温度循环;⑤热冲击;⑥离心;⑦冲击;⑧随机振动;⑨振动疲劳;⑩变频振动;⑪氦质谱检漏试验;⑫氦轰击;⑬粗检漏试验;⑭高压试验;⑮绝缘电阻测量;⑯断续工作寿命试验;⑰支流工作寿命;⑱直流工作寿命。

2)减额:使元器件在低于其额定值的应力条件下工作。

3)环境保护:环境因素有下列各项:高温、低温、热冲击、冲击、振动、潮湿、;盐雾、电磁辐射、砂尘,关于其防护措施也有下列各项。

(1)热防护:高温是可靠性降低的主要原因,因此应对热性能方面的考虑等同于电方面的考虑;

(2)机械防护：使用适当的封装、安装和结构技术；

(3)冲击和振动防护：如加固，降低惯性和弯曲力矩影响，使用必要的支撑件和减震装置等；

(4)潮湿、盐雾、砂尘防护：有密封、干燥剂、防护涂层等技术。

11.2.2 容错技术

1)硬件冗余

(1)硬件堆积冗余：在结构上可通过元件或部件的重复而获得，在逻辑上可采用多数表决方案，如三模冗余、三模一单模转换、分段冗余等。

三模冗余表决系统有三个相同的模块，产生三个相同的输出信号，加到多数逻辑表决器上，再按三中取二表决结果输出。

三模一单模转换系统，对于三模冗余表决系统，若发生固定故障，则就将它转换成单模系统，以提高可靠性。

(2)待命贮备冗余：系统中共有(m+1)个模块，其中只有一块处于工作状态，m块处于待命工作状态，一旦工作模块出了故障，立即切换到另一个待命贮备模块。根据贮备的待命状况，又可分为冷贮备，热贮备，前台和台后系统等，它的寿命为所有系统的寿命之和。

2)软件容错技术

(1)无错软件

数据冗余：处理机在两个或两个以上不同地方(如在程序段级或在微程序级)计算变量，然后进行表决。

时间重复冗余：在程序中两个或两个以上不同时间计算变量，再进行表决。

软件正确性证明：以数学论证法证明软件执行后的输出结果和所要达到的目的相符。

(2)冗余硬件的容错管理

应用软件管理硬冗余件，系统在多模块中执行相同程序，并对结果进行表决。

3)时间冗余

通过消耗时间资源来达到容错目的。

指令复执：对于每条指令如一旦发现错误，就重新执行被错误破坏的现行指令。

程序卷回：对于一小段程序如一旦发现错误，就对它重复执行。

4)信息冗余

靠附加的信息位来提高可靠性，这些附加位能检出错码，有的还能纠正错码。

(1)奇偶校验码：这种校验以字符为单位，在信息码元的最后一位再附加一位冗余检验位，该检验位代表整个字符代码中“1”或“0”的数目为奇数或偶数。若为奇数，则称为奇校验；若为偶数，则称为偶校验。

(2)剩余校验码：根据数论中同余数性质，若模是m，且$a_1 \equiv b_1, a_2 \equiv b_2 \cdots\cdots a_k \equiv b_k$，则

$$a_1 + a_2 + \cdots\cdots + a_k \equiv b_1 + b_2 + \cdots\cdots + b_k (\text{模 } m)$$

$$a_1 a_2 \cdots\cdots a_k \equiv b_1 b_2 \cdots\cdots b_k (\text{模 } m)$$

$$a_1 - a_2 \equiv b_1 - b_2 \cdots\cdots (\text{模 } m)$$

上列三个式子是对相加、相减和相乘算术运算进行检错和纠错的理论基础。m一般选$m = 2^k - 1$，(符号“≡”为同余的意思)

(3)循环冗余校验码

线性码：见图9.1.2—75。

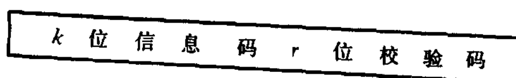


图9.1.2—75 线性码

其中 n 表示码字长，k 表示信息码，r 表示检验码，以(n,k)表示。对于每一位校检码元若其是该码字中某些信息码元的模之和，即按照线性关系相加，称为线性码。

循环码：一个(n,k)循环码是码长为 n，有 k 个信息码且每一个码字若移位一次就得到另一个码字的线性码。

生成多项式 g(x)：g(x)是常数项不为零而前(k－1)位为零的(n－k)次多项式，而且是唯一的一个多项式，整个循环码由此生成多项式决定，即 $g(x)$，$xg(x)$，$x^2g(x)\cdots\cdots x^{k-1}g(x)$都是码字而且互相独立，是整个循环码的一组生成基底。

循环冗余校验码：由式 $e(x)=x^{n-k}m(x)+r(x)$组成，其中次数小于 k 的多项式 m(x)表示信息组，用 g(x)去除 $x^{n-k}m(x)$，得到余式 r(x)，余式的次数小于(n－k)，把此余式作为校验码附加在 $x^{n-k}m(x)$后面，可组成一个循环冗余校验码的信息发送单元。

c(x)就是实际要发送的完整信息单元，如果在信息中不发生差错，c(x)一定能被接收方的相同的 g(x)所除尽。假使不能除尽，就表示接收到的信息有一个或多个差错。

(4)海明码

定义 1：对于长度为 n 的二进制串组成的集合 S_n 中任两个元素 $X=x_1x_2x_3\cdots\cdots x_n$，$Y=y_1y_2y_3\cdots\cdots y_n$，X 和 Y 中对应位字母不同的个数，称为 X 和 Y 的海明距 H(X,Y)

$$H(X,Y)=\sum_{i=1}^{n}(x_i+y_i)$$

定义 2：一个码 C 中所有不同码字的海明距的极小值称为码 C 的极小距，记为 $d_{min}(C)$。

$$d_{min}(c)=\min_{\substack{X_1YEC\\ X\neq Y}} H(X,Y)$$

下面两条定理，分别说明一个码的查错和纠错的能力。

定理 1：一个码 C 能查出不超过 k 个错误的充要条件，是此码的极小距至少是(k＋1)。

定理 2：一个码能纠正 k 个错的充要条件是此码的极小距至少是(2k＋1)。

m 使数据的代码若要能校正单个差错，最少要加多少个冗余位？

因为每个信息又都有 n 个与合法代码距离为 1 的不合法代码字，所以在 2^m 个合法代码中每一个都要求有(n＋1)个代码字是属于它的，这就要求 $2^n\geqslant 2^m(n+1)$。经改写，上式成

$2^r\geqslant m+r+1$。由给定的 m，求得最小的 r 个冗余位

例：有一个 m＝4 的数据代码要求能校正单个差错，从上式可以求出需要 r＝3 个冗余位。

11.3 干扰的产生和抗干扰的措施

干扰是自动化设备或通讯设备中出现的主要问题之一。干扰由下述三个方面组成，即干扰源、耦合通道(干扰的传播和感应)和被干扰电路。见图 9.1.2－76。

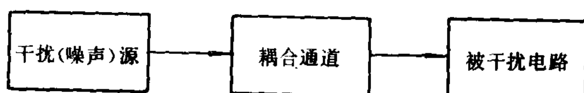


图 9.1.2－76 组成干扰的三个方面

抑制干扰的方法有抑制干扰源、抑制传输干扰的耦合通道和提高被干扰电路的抗干扰能力等三种。

抑制干扰是自动化设备或通讯设备在设计、制造时需要解决的主要问题之一。必须在设备制成以前，解决好这个问题。

11.3.1 干扰源的主要类型

干扰源有的是在设备外部有的在设备内部。

11.3.1.1 外部干扰源

1)放电干扰

11.3.1.2 内部干扰源

1)电子器件内部产生的噪声

电阻器、晶体管的热噪声,晶体管的散粒噪声和闪烁噪声。

2)电源哼声

电源整流电压的脉动电压产生的哼声,感应哼声(静电感应哼声、电磁感应哼声、灯丝引线的感应)接地电路上的杂散交流电压引起的交流声。

3)非线性元件产生的干扰电压

由于放大元件的非线性而产生的调变交流声、调制干扰和高频哨声干扰。

4)机械振动

由于外部振动或机内扬声器的振动使接触部分变化而产生的颤噪噪声。

5)由于各种缺陷而产生的干扰

可调元件的滑动噪声以及因接触不良而产生的噪声;由于电气设备绝缘的击穿或急剧变化而造成的寄生电流和电压等等。

11.3.2 干扰的传播及其耦合

11.3.2.1 电磁场传播

电场和磁场的相互作用导致了干扰波在空间传播以及被感应,作用又可分为感应电磁波和辐射电磁波。

11.3.2.2 导线干扰

1)配电线干扰

配电线干扰是导线干扰中最严重的一种。对所有电子设备都要了解其电源线带来的干扰。这包括配电线的天线效应,配电线传播了同一配电线供电的设备所产生的干扰。和由静电耦合、电磁耦合带来的感应干扰。

2)信号线传输干扰波

信号输入电路或输出电路用导线传输信号时,也传输了干扰。如信号线电路的天线效应。

3)脉冲传输线干扰

从机舱到集控室的连线往往长达几十米,甚至超过百米。便产生了脉冲传输的长线效应问题以及从其它干扰源引进的干扰例如传输过程中的窜扰等噪声。

11.3.2.3 干扰波的感应

电晕放电(如高压输电线、发射机高压电路);气体放电或辉光放电(如荧光灯、霓虹灯、闸流管);弧光放电(如电焊机、电弧放电探照灯);火花放电(天电、各种带有整流子的电机、柴油机、电火花加工设备、各种类型的有触点设备、有轨和无轨电车、汽车发动机的点火装置)。

1)工频干扰

大功率输电线是工频干扰源、工频高电压或流过大电流的各种导线。

2)射频干扰

广播台、雷达和高频加热设备产生的电磁场干扰。

3)天体干扰

太阳或其它星体辐射电磁波产生的干扰。

4)电子开关

电子开关的通断使电流发生急剧变化如可控硅电路和整流器电路。

5)脉冲振荡干扰

脉冲振荡器、触发器、脉冲调制器和脉冲放大器等。

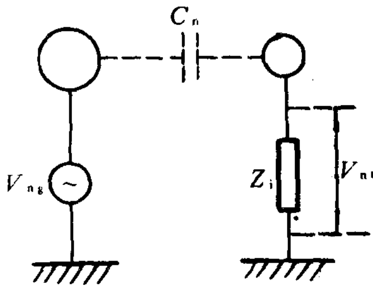


图 9.1.2—77 静电感应干扰

6)静电耦合

这是由电容引起的感应。干扰电压大小正比于频率,也正比于输入阻抗。设备内部各元件和导线间的耦合电容也会产生这种干扰。见图 9.1.2—77。

7)互感耦合

在任何载流电路的邻近空间都会产生磁场,时变磁场便产生了感应干扰电压。见图 9.1.2—78。

8)共阻抗耦合干扰

共阻抗耦合系指当两个电路的电流流经一个公共阻抗时,一个电路的电流在该公共阻抗上形成的电压就会影响到另一个电路。见图 9.1.2—79。

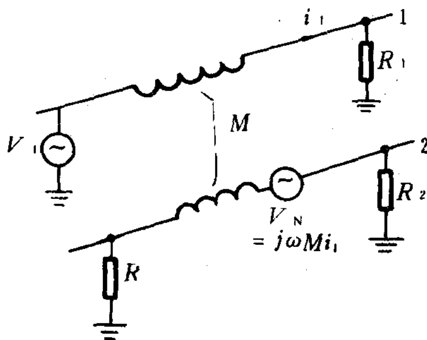


图 9.1.2—78 两个电路间的互感耦合

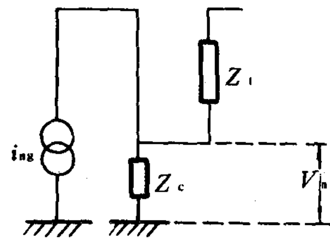


图 9.1.2—79 共阻抗耦合产生的干扰

常见的公共阻抗有电源输出阻抗(包括电源内阻,电路间连接的公共导线)和公共接地线等。

11.3.3 抗干扰措施

11.3.3.1 屏蔽

防止电场或电磁场的相互感应所采取的一些方法称为屏蔽。又可分为

1)电场屏蔽一用以抑制寄生电容耦合干扰;

2)磁场屏蔽一用以抑制寄生互感耦合干扰,主要用于低频。屏蔽材料采用硅钢片、坡莫合金等高导磁系数铁磁材料;

3)电磁屏蔽一常规意义上的屏蔽。采用铝、铜等材料进行电磁屏蔽,需良好接地。

低电平电路的导线对来自干扰源辐射的干扰波是很敏感的,因此要将这些导线屏蔽起来并接地来防止干扰感应。例如采用双绞线、铜丝编织屏蔽线、铠装导线和导线管等方式以进行屏蔽。

11.3.3.2 接地

接地系指将一个点和大地或者大地的等电位面之间用低电阻导体连接起来,以达到人身

安全保护(保护接地)和防止干扰(工作接地)两个主要目的。

接地设计的目的在于避免电路电流流经公共地线阻抗时产生共阻抗耦合干扰,并需防止形成地环路。

1)信号地线

信号地线系指信号电路的地线或有信号电流流过的地线。常有下列三种接地方式。见图9.1.2—80。

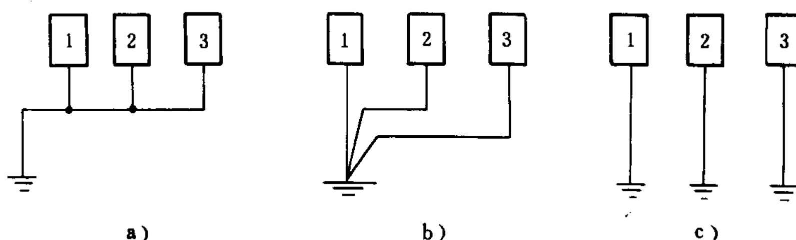


图 9.1.2—80 信号地线的接地方式

a)共用地线串联一端接地;b)独立地线并联一点接地;c)独立地线并联多点接地。

2)地环路干扰的形成和抑制方法

当一个信号电路分别在两端接地时,会形成地环路,地环路易受磁场以及不同地电位的影响而形成地环路干扰。

抑制地环路方法是隔断地环路。常采用光电耦合器。(见图9.1.2—81)、隔离变压器(见图9.1.2—82)、纵向扼流圈(见图9.1.2—83)、和差分放大器等(见图9.1.2—84)。

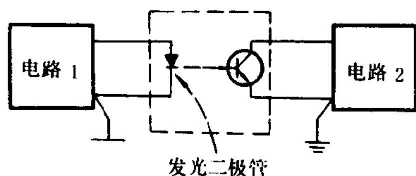


图 9.1.2—81 采用光电耦合器隔断地环路

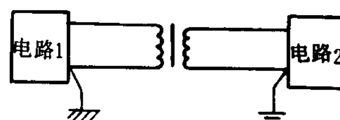


图 9.1.2—82 采用隔离变压器隔断地环路

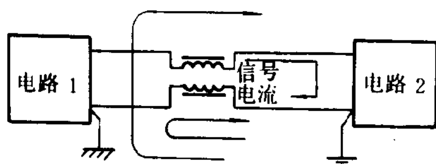


图 9.1.2—83 采用纵向扼流圈阻隔地环路

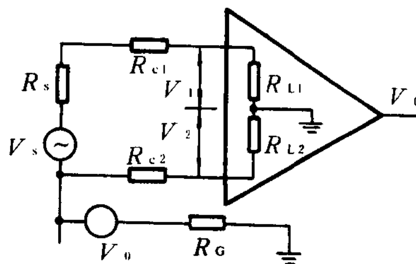


图 9.1.2—84 采用差分放大器阻隔地环路

3)接地设计应考虑的几个问题

(1)设备系统的接地常采用分组接地方式,即分为低电平信号地线、高电平信号地线、噪声地线和机壳地线四种。每组应单独设接地线。

(2)高频电路应就近多点接地,低频电路应一点接地。

(3)当一个接地的放大器和一个不接地的信号源相连时,输入电缆的屏蔽层应和放大器的公共端相接。

(4)当一个接地的信号源和一个不接地的放大器相连时，输入电缆的屏蔽层应和信号源的公共端相接。

(5)高增益放大器的屏蔽层应接至放大器的公共端。

(6)接地的方法陆上分埋铜板、埋接地棒和埋设铜绞线等。海上原则上就是和海水相连。

11.3.3.3 滤波

滤波器是一种被广泛采用的抑制干扰措施。它允许通过一定频带内的信号而衰减或抑制不需要的频带信号。允许通过的信号频带称为通带，被衰减的信号频带称为阻带。以此就分为低通、高通、带通和带阻四种。

用于抑制干扰的滤波器，一般采用低通滤波器。

1)简单滤波器电路

分为电容型、Γ型、T型和Π型滤波器等几种。见图9.1.2－85。

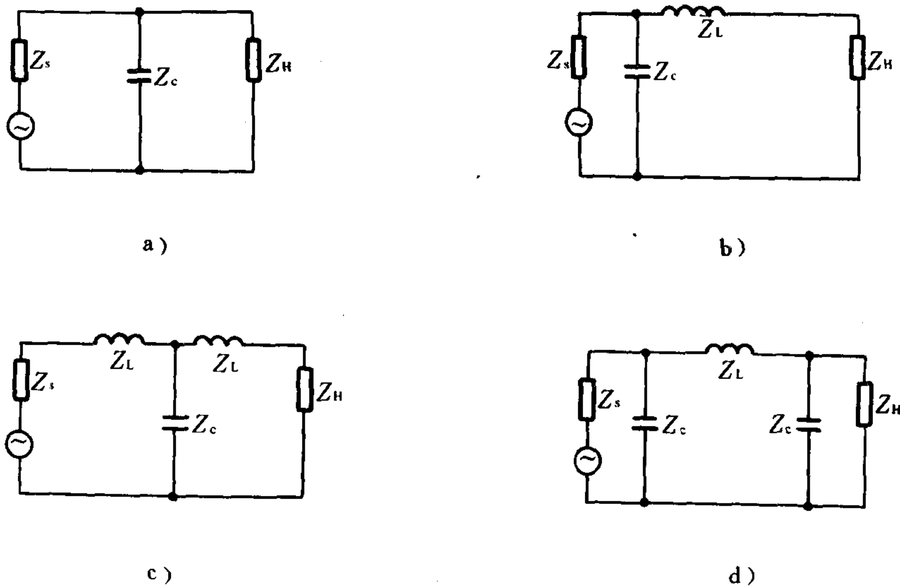


图9.1.2－85　简单滤波器电路

a)电容滤波器；b)Γ型滤波器；c)T型滤波器；d)π型滤波器。

2)电源去耦

为了减小电源的噪声耦合，可在每个电路上或每组电路上采用RC低通滤波。

3)放大器去耦

为了防止信号经过电源反馈到输入端而引起振荡，所以要在放大器供电端和地之间加去耦电容。

4)数字电路的抗干扰

高速数字电路由于其高开关速度往往是一个磁噪声源。在数字集成块的电源侧都应加高频去耦电容。

装有大量数字集成块的印刷电路板应接地良好。

5)数字滤波器

一般用软件实现，用来对输入数据进行处理，以达到滤波目的。并可用于很低频率场合。

在计算机系统内，常用的数字滤波器有以下三种即平均值滤波器、加权平均值滤波器和一

阶递推滤波器。

11.3.3.4 平衡

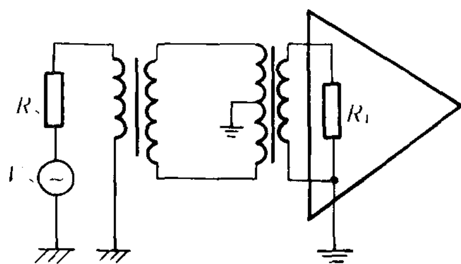


图 9.1.2—86 平衡传输线

平衡电路系指由两根导线构成的电路，这两根导线及连接到它们的所有电路对地和对其它导线都具有相同的阻抗。

采用平衡电路的目的在于自行抵消共模信号在负载中的作用。

共模抑制比(CMRR)愈高，抑制噪声的性能也愈好。共模抑制比定义为共模噪声电压与其在负载上产生的差分噪声电压之比，以 dB 表示。

不平衡电路常常采用隔离变压器方式，见图 9.1.2—86。或差分放大器方式以提高共模抑制比。平衡可与屏蔽相结合来进一步提高抗干扰性能。

11.3.3.5 针对高频噪声源的一些具体抗干扰措施

1)继电器触点的保护电路

由于继电器触点的开闭而产生了火花放电，并形成了干扰源。其保护电路有下列几种见图 9.1.2—87。其中以阻容方式最常用。

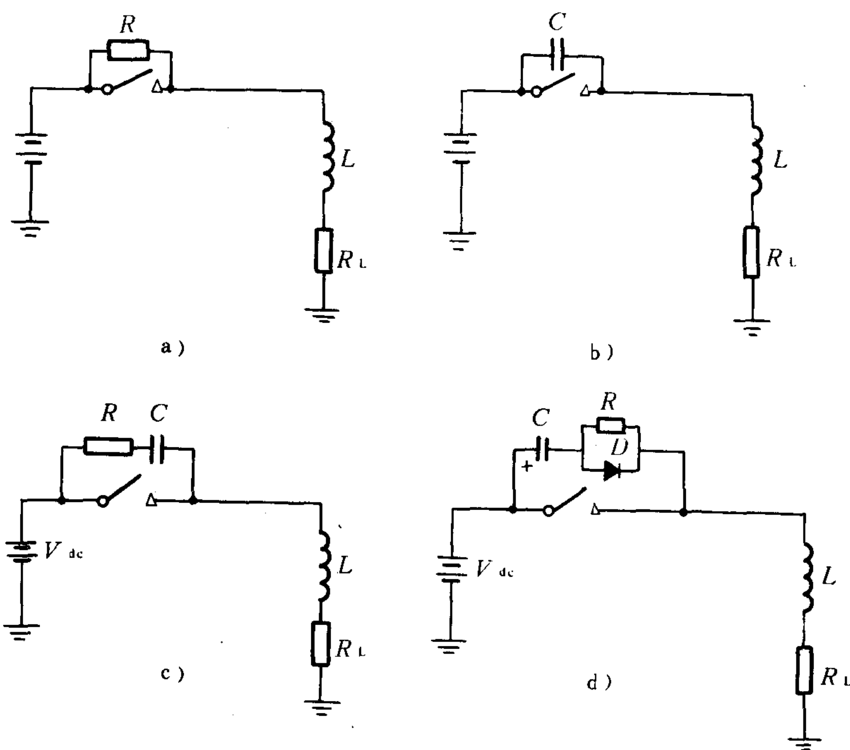


图 9.1.2—87 触点的保护电路

a)电阻方式;b)电容方式;c)阻容方式;d)RCD 保护网络方式

2)感性负载的瞬态抑制

感性负载在触点断开时，会产生过电压因而成了噪声源。其瞬态抑制电路常见的有下列几种。见图 9.1.2—88。

3)电机产生的干扰的抑制

常采用电容滤波方式。例如在端子和外壳之间并联电容;电机所有外电路都应有电容滤波。

4)荧光灯噪声。

在荧光灯管上并联电容。

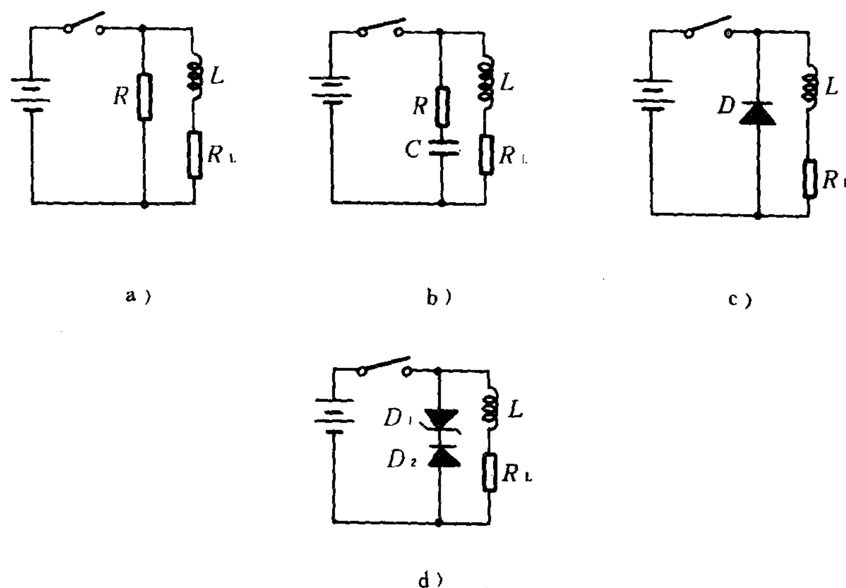


图 9.1.2-88 感性负载的瞬态抑制电路

a)电阻方式;b)阻容方式;c)二极管方式;d)稳压管和二极管

参考文献

[1] R. T. Anderson:Reliability Design Handbook Reliability Analysis Center,1976

[2] 肖德辉编: 可靠性工程 宇航出版社 1985

[3] 左孝凌等编:离散数学 上海科技文献出版社 1982

[4] R. A. Brualdi:Introduction to Error-Correcting Code Prentice Hall,Inc 1970

[5] 肖冬荣编:微型计算机实时控制的抗干扰 湖北科学技术出版社,1985

[6] 荒木庸夫著:电子设备的屏蔽设计 国防工业出版社,1977

[7] H. W. OTT:Noise Reduction Techniques in Electronic Systems. John Wiley and Sons,1976

12 人 机 工 程

12.1 什么是人机工程学

因为所有的仪器设备和系统都是由人来设计,为人而设计,而且也由人来使用,所以在研究机器、设备等问题时,还必须综合考虑人的因素、人和机器之间关系等问题。

人机工程学是研究人与人所担当的工作、使用的设备、所处的环境之间的科学，协调人、机器和环境之间关系，应用医学、人类学、解剖学、生理学、心理学、运筹学和计算机技术等多方面的知识来研究和解决这方面的问题，这样可以使人们工作格外有效，少犯错误。

12.2 人 机 系 统

作为系统工程必须考虑下列各个阶段：

1）获取信息阶段　获取各种有关操作要求、限制条件、环境条件和使用人员素质等信息；

2）计划阶段　探索满足上述要求的各种途径，同时考虑经济、制造的难易，产品的可靠性和维修方便与否等因素；

3）选择阶段　优化上述所有因素的设计；

4）试验阶段　制造模型或模拟装置，以试验来评估预定目的；

5）现场试验阶段　在现场进行实际试验，根据实际需要修改原设计。

12.2.1 人的可靠性

按可靠性程度高低来区分人能执行的工作：

1）对于单一断续信号的通断操作；

2）对于单一连续信号的可变通断响应；

3）对于需要进行采样、判断和决定的多变量系统信息的处理；

4）对于需要外推、解释和决定的随机信号的复杂和及时的处理；

5）对于需要和其他操作人员协同解决的复杂系统的综合处理。

人犯错误的概率，由于引入下列环境因素而增加：

1）减少完成任务的执行时间；

2）不正常温度条件；

3）操作人员处于震动，摇摆环境下；

4）照明不足和不合适；

5）操作人员动作受到约束；

6）接口不相容；

7）工作负担太重或噪声太高；

8）由于失眠和孤独而产生的影响；

9）由于惧怕、焦虑和烦燥而产生的感情因素。

12.2.2 人的功能

从信息加工角度看，人有下列功能：

1）作为接收器

从接收声音、光波、形状变化的角度来看，人还是高度可靠的，但反应时间常数相当长，一般为25～200ms左右，声谱范围为20～20000Hz，光谱范围为4000～7000Å，输入信号变化率小于每秒10次。缺点是输入信号幅度有限，而且不能接受重叠不一致、视听两方面不相容的信号。

2）作为发送器

相当慢速和低功率，在稳定情况下经过训练执行诸如打字或演奏某一乐器的速率为25比特/秒，不经过训练可能接近2比特/秒。

3）作为计算机或估计器

擅长于进行个位或二位的演算，作出定性的演算和判断，应用归纳法作出逻辑判断。

4)感觉能力

眼睛对于光线的感觉幅度变化约为 8 个对数单元，即相差 1 亿倍，在正常情况，人能看出 0.8km 远 1.5mm 半径的导线。

最低的听觉反应为 10^{-17}J/s，声音感觉幅度变化为 10^{10}倍。

5)动作方面

擅长于讲话、揿按钮、操手柄操作、写、指点等动作。

6)记忆能力

对于归纳得出的经验人具有长期记忆力，但对大多数由感觉接收的事物的记忆力较差。

7)灵活性

人的灵活性特别好。

8)计算能力

由于人的时间常数长，从单纯数字计算来看，能力较差。

12.2.3 人与机器的比较

人的优点	机器的优点
①能检出某些非常低能级的信号	①监控
②对于极端宽广的各类激励信号的灵敏反应	②日常重复且又正确的操作
③分辨各种模式和进行概括	③对于控制信号反应迅速
④高噪声背境下能检出信号	④施加力量正确和平稳
⑤能长期储存大量信息和能回忆有关事实	⑤能短时储存和应用大量信息
⑥处理问题可以瞬时应急和灵活	⑥能很精确地进行复杂和快速的运算
⑦对不明确定义的事物有能力进行判断	⑦很多工作可以同时进行及逻辑判断
⑧能反应没有想到的低概率事件	⑧能接受人感官不能接收的信号。(红外和电磁波等)
⑨能创造性地解决问题	⑨数据库检索
⑩能总结经验和改变执行过程	⑩对外部因素不灵敏
⑪有能力处理突变情况	⑪能长期、快速、连续、精确地重复同样操作
⑫虽超负荷仍能继续执行	⑫能在人不能忍受的环境下动作
⑬归纳推理法	⑬演绎法

12.2.4 人的传递函数

人的性能根据要求和环境而变。

在大多数情况下，如图 9.1.2—89 所示出的一维控制系统，人的传递函数可用下述式子给出，

$$\frac{C_H(s)}{E(s)}=\frac{Ke^{-\tau s}(Ts+1)}{(T_Is+1)(T_Ns+1)} \qquad (9.1.2-283)$$

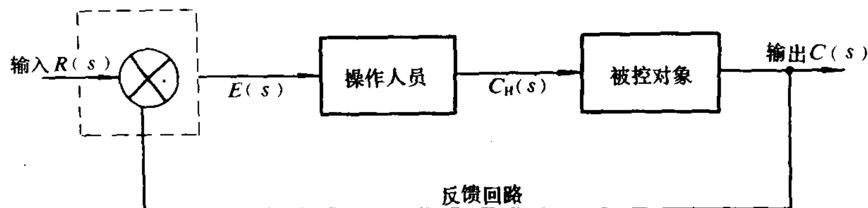


图 9.1.2—89 人机控制系统

其中纯时延环节 $e^{-\tau s}$ 表示操作人员的反应时间，τ 一般取 0.2s；T_N 表征神经和肌肉系统的惯性时间，T_N 大于 0.1s；其它环节表示人的自适应反应；T_I 的上限为 10s，下限一般取 1s 左右。

12.3 人机工程中设备的选择

12.3.1 视觉显示

视觉显示设备的选择是人机系统中最重要问题中的一个，因为大部分外界信息是通过人眼来接受的，下列各个方面都必须加以周到和实际的考虑，诸如双位控制方式、精确的数字值、多维信息、定性核对读数、带有刻度的指针显示器、图象显示、多台单元仪表的组合方式、图示屏、数字读出装置、控制表志、各种灯光显示设备、印刷品、资料图表自动打印和图象记录等。

考虑原则如下：

1)显示能否从质和量两个方面按照要求很快读出；

2)仪表显示必须遵循不会产生误读和巨大读数偏差的原则进行选择；

3)指示变化必须很容易被检测出；

4)显示能否按操作人员要求正确地读出；

5)信息必须以最方便的方式示出，使转换它为其它单位时所化脑力最少；

6)所需要的控制动作和所期望的仪表动作能否一致；

7)信息能否及时更新；

8)各种不同显示仪表能否相互区分；

9)对于命令不执行的情况操作人员能否很快觉察出；

10)照明能否满足所有操作情况的要求；

11)显示能否不受视差影响。

12.3.2 听觉设备

大量应用听觉设备是不合适的，一般说来，视听设备两者必须配合使用。

对于用得比较多的报警听觉设备有下列要求：

1)保证在高背境噪声条件下的可听性，保持信噪比高于 5，耳朵可以听到的音频信号功率为 300mW 左右；

2)可以明确分辨出各种声频报警信号；

3)和现存各种信号可以相容；

4)配有备用电源；

5)为了减少信号混乱，避免选用与航海信号，无线电信号，雷达信号，有相同特性的信号。

12.3.3 控制台与仪表屏的布置

这是一个综合考虑的问题。有关控制台的布置必须遵循下列原则：

1)必须首先安排用得最多的控制和视听设备在显著位置；

2)控制设备必须安排在能有效使用和操纵的位置；

3)视觉设备的布置必须防止产生视差和过分耀眼情况；

4)听觉设备,必须保证有方向性和容易听懂；

5)控制台布置必须综合优化上列设备,使达到不太拥挤和易于维修的原则,并由下列准则校核：

①由规范规定的或由空间限制的尺寸大小；

②采用何种视觉设备？尺寸大小？哪几种由操作人员使用？哪几种需要由维修人员维修？

③在操作人员之间需用何种通信设备？

④采用何种控制方式？尺寸大小？

⑤要求何种操作条件——照明、噪音环境、温度、振动、横摇和纵摇；

⑥关于人员方面,要求何种操作条件——一个或多个操作员、操作人员位置；

⑦在操作时或在操作间隙时能提供何种维修方便？

12.3.4 家俱和工作空间

必须精心选用各种家俱,合适的选择可以减少疲劳和提高效率。这包括各种工作椅、床、写字台、会议桌、书架和各种带有倾斜面的家俱(指梯子之类)等等。

关于工作空间诸如办公室、接待室、电子设备维修间、机床间、过道走廊和逃生孔的布置也须基于一些合理的逻辑原则,如提供每个工作人员一个合理的工作环境,使工作场所远离噪声源等等。

12.4 工作环境

研究照明和色彩,温度和湿度,声响和噪声的控制,疲劳和安全保护等问题对人的影响。

12.4.1 照明和色彩

良好的照明对于所有要人操作的工作都是重要的。对于任何一个照明系统,下列因素需要加以考虑,如合适的亮度和均匀的照明,工作场所和背景之间合适的亮度对比,合适的照明质量、色彩和避免耀眼的光源等。

色彩问题如完全色、提高视觉能力的色彩、清洁色等也至关重要。应多从实用角度,少从美学方面考虑。对于室内的色彩也要从物理学和心理学两个方面来考虑,物理学上的考虑包含形成一个良好的反射环境和一定的清晰度,心理学上的考虑要根据不同场合选用不同色彩如休息室要用淡绿色等。

12.4.2 温度和湿度

一般认为,18℃到24℃为比较合适的工作温度,湿度要求维持在30%～70%之间。

12.4.3 声响和噪声控制

目的在于减低噪声和有害声响的影响,保护人使不受高强度噪声的影响。

对于高强度噪声应按下列顺序采取措施：

1)在噪声源处减低噪声；

2)在噪声源和受害者之间建立隔音层；

3)提供个人隔音设备；

4)使用吸音材料；

5)密切监视能阻碍正常听觉的有害信号；

关于噪声允许标准，对于陆上工业厂房，国际上许多国家的标准是，每天工作 8h，容许连续噪声的噪声级 90dB(A)，也有的定为 85dB(A)。我国工厂企业噪声卫生标准是，新建扩建企业为 85dB(A)，老企业 90dB(A)，而每增加 3dB(A)，工作时间减半，但最高均不得超过 115dB(A)，关于船舶噪声标准，我国于 1982 年由交通部公布了运输船舶舱室噪声标准(见表 9.1.2—28)。

表 9.1.2—28 **中国运输船舶舱室噪声标准**

部位		允许噪声级 dB(A)	部位		允许噪声级 dB(A)
机舱区	无控制机舱主机操纵处。	90	驾驶区	驾驶室	65
	无人机舱或有控制室机舱	110		桥楼两翼	70
	机舱控制室	75		海图室	65
	工作间	85		报务室	60
厨房	机械设备和专用通风机不工作	70	起居室	卧室	60
	机械设备和专用通风机正常工作	80		医务室，病房	60
				办公室，休息室等舱室	65

12.4.4 疲劳

疲劳会令人产生厌烦的感觉和降低工作效率，可以采用下列措施：

1)足够的热量输入；

2)在适当范围内减轻工作；

3)减少使人困扰的因素(如噪声、过高的温度)；

4)保持一个良好的工作环境；

5)提供合理的休息时间。

12.4.5 船舶人员安全防护

1)隔离和控制灾害(水灾，火灾和爆炸等)；

2)提供紧急辅助电源和动力；

3)对于人行甲板区域提供保护栏杆；

4)提供报警和呼救信号；

5)弃船时提供逃生系统；

6)使所有悬挂物尽量不碰到过往人的头部；

7)对于甲板、扶梯等提供防滑剂；

8)逃生门在恶劣海况下也能用人力打开。

第 3 章　机舱自动化规范的规定

1　自动化的入级符号

世界各主要船级社的钢质海船建造规范对机舱自动化都订有各自的规定，并授予相应的入级符号。这些入级符号加注在轮机入级符号之后，以表示船舶动力装置的自动化程度。

1.1　各船级社的机舱自动化入级符号

1.1.1　中国船级社(ZC)

中国船级社的海船机舱自动化入级符号为：

AUT—0：加注于主推进装置，由驾驶室控制站遥控，机器处所包括集中控制站(室)无人值班监视的机舱；

AUT—1：加注于主推进装置，由驾驶室控制站遥控，集中控制站(室)可遥控，但有人值班对机、电设备进行监控的机舱；

MCC：加注于能由机舱集中控制室进行控制和监视的机舱；

BRC：加注于主推进装置由驾驶室控制站遥控，机器处所有人值班的机舱。

1.1.2　英国劳氏船级社(LR)

英国劳氏船级社的机舱自动化符号为：

UMS：加注于船舶能在机器处所无人值班照管情况下进行运行的船舶；

CCS：加注于由集中控制站连续进行操纵和监视使轮机装置运行的机舱；

IP：加注于由驾驶室操纵的推进机械与所有重要辅机组合成一个动力机组整体的机舱动力装置。

1.1.3　美国船舶局(ABS)

ACCU：加注于无人值班机舱的自动控制系统；

ABCU：加注于整体组合推进装置的无人值班机舱；

ACC：加注于单机或单件的自动控制系统，至少设一人进行值班管理的机舱。

1.1.4　法国巴黎国际船级社(BV)

(AUT)或 AUT—OS：加注于船舶在开敞海面无人值班情况下运行的机舱；

AUT 或 AUT—MS：加注于船舶在开敞海面和狭窄航道进行操纵航行无人值班情况下进行运行的机舱；

PORT：加注于船舶在港内淀泊或锚泊时能自动运行的机舱。

1.1.5　德意志联邦共和国船级社(GL)

AUT—h/24：加注于在 24h 以内有 h 个小时可以无人值班运行的机舱轮机动力装置；

AUT—Z：加注于主推进装置装有遥控系统的有人值班机舱和集中控制的轮机动力装置；

A：加注于主推进装置有遥控系统的有人值班机舱轮机动力装置；

H：加注于船舶停泊时无人值班的机舱。

1.1.6　挪威船级社(NV)

EO：加注于无人值班照管的机舱自动化船舶。

1.1.7 日本海事协会(NK)

MO：加注于至少能连续 24h 无人值班管理下进行运行的无人机舱；

MO—A：加注于至少连续 24h 无人值班管理下进行运行的无人机舱和装有省人力的甲板机械等的自控和遥控装置；

MC：加注于由集中控制站进行控制和监视的机舱。

1.1.8 苏联船舶登记局(PC)

A1：加注于无人值班、照管的自动化机舱；

A2：加注于驾驶室进行遥控，机舱控制室有人进行值班监视的自动化机舱；

A3：加注于主机功率为 1500kW(2040hp)和动力装置由简化的自动控制系统进行控制，机舱能在无人值班下运行的机舱。

1.1.9 波兰船舶登记局(PRS)

A_{24}(16……)：加注于无人值班照管的自动化机舱，脚注数字为无人值班的规定时间小时数。

1.1.10 意大利船级社(RIN_a)

I. A. Q—1：加注于无人值班照管的自动化机舱；

I. A. Q—2：加注于集中控制的机舱，该机舱除主控制站经常有人操纵外机舱内无值班人员。

1.2 各船级社机舱自动化入级符号的比较

各船级社规定的机舱自动化符号尽管形式不同，其含义则相同或相类似，但必须说明它们的自动化具体要求并非完全相同。它们之间仍有一定的差别。现将各船级社的机舱自动化入级符号进行比较。见比较表 9.1.3—1。

表 9.1.3—1 **机舱自动化入级符号比较表**

机舱自动化类别 / 船级社	周期性无人值班机舱	驾驶室遥控主控制站有人值班监控的机舱	机舱集控	驾驶室遥控的有人值班机舱	停泊期无人值班的机舱
ZC(海船)	AUT—O	AUT—1	MCC	BRC —	
ZC(江船)		(3)	(2)	(1)	
ZC(海船)		(1)	(2)	(3)	
LR	UMS	—	CCS	IP	—
ABS	ABCU①	—	—	ACC	—
BV	(AUT)、AUT—OS ④ AUT、AUT—MS	—	—	—	PORT
GL	AUT—h/24 ②	AUT—Z	—	A	H
NV	EO	—	—	—	—
NK	MO—A MO		MC	—	—
PC	A1、A3 ⑤	A2	—	—	—
PRS	A③	—	—	—	—
RINa	I. A. Q—1		I. A. Q—2	—	—

注：①美国船级社的 ABCU 符号是指主机与辅机组合成一体的动力装置的无人机舱，驾驶室遥控系统。表中纳入周期性无人值班机舱栏内。

②h 为无人值班期的时间(h)。

③波兰船舶登记局的机舱自动化符号 A，在设计确定无人值班的时间后，将此时间的小时数加在 A 之后作为注脚，

如 A_{24}、A_{16}等。

④法国巴黎国际船级社的 AUT 及(AUT)符号称为专门标记(Special Marks)，指经 BV 特别检验，满足 BV 规范第 19 章的规定和导则 N1.134 要求，发有专门入级证书的自动化符号。而 AUT—MS 及 AUT—OS 则同样应满足 BV 规范第 19 章，特别是第 19—5 节或 19—6 节的要求，此符号附加在船舶证书上，而不发给专门入级证书。

⑤苏联船舶登记局的 A3 符号，用于主机功率为 1500kW(2040hp)，机械装置至少有一经简化的自动化范围，但是可在无人值班管理的情况下运行的自动化机舱。

2　自动化的适用范围、自动化设备的环境条件和型式试验及装船后试验要求

2.1　适用范围

2.1.1　机舱自动化规范适用于拟取得轮机入级符号的自动化系统或已取得轮机入级符号并拟附加自动化标志的船舶。

2.1.2　下述机舱机、电设备的自动化系统包括控制系统、安全系统和报警系统(包括显示)，为：

1)主推进机械包括为其服务的重要辅机；

2)电站；

3)燃油主锅炉及重要用途的燃油辅锅炉(包括货油加热锅炉)；

4)舱底和压载水系统；

5)可调螺距螺旋桨；

6)防火安全系统；

7)空气压缩机；

8)焚烧炉；

9)操舵装置；

10)倒向推力装置；

11)惰性气体发生器；

12)在危险区域内的货油泵和压载泵；

13)其它。

2.1.3　上述 2.1.1 所涉及的不同自动化等级或程度的船舶应该能适应所有航海情况(包括机动操纵)。

不同自动化等级或程度船舶的安全性，应与机电设备有人值班直接照管的船舶相同。同时尚应设有当自动化系统失效时能保证机电设备进行人工操纵的有效措施。

2.2　自动化设备的环境条件要求

船用自动化设备都应该具有适合在船舶环境下使用的性能，为了保证做到这一点，各国船级社和国际电工委员会船舶电气分委员会(IEC/TC18)都订有相应的规定，现将这些要求列于表 9.1.3—2，供比较参考。

表 9.1.3－2

自动化设备环境条件及型式试验要求比较表

<table>
<tr><th>船级社
项目</th><th>TEC/TC18(国际电工委员会第 18 分委会,92－504 出版物)</th><th>TACS(国际船级社协会)(统一要求 M41)</th><th>ZC(中国船级社)</th><th>LR(英国劳氏船级社)</th></tr>
<tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr>
<tr><td>1. 环境温度(使用温度)及湿度</td>
<td>①一般:0～＋55℃
②对可能出现的极高温度应予特殊考虑。
③装在箱柜内时,应考虑元件散热形成的温升。
④重量功能半民体器件,如 CPU 或存贮器,在 70℃时通电 72h 进行试验。
⑤露天甲板:－25℃应正常工作。
⑥RH:T≤40℃,95±30%;T＞40℃时,70±3%</td>
<td>①高温:＋70±3℃
②低温:－25±3℃(电子设备为＋55℃)
③RH:严酷度 V 级</td>
<td>①一般 0～＋55℃;
②最高＋70℃2h 不损坏;
③驾驶舱及室内－10～＋55℃(有良好保温时 0～＋55℃);机舱内:＋5～＋55℃。
④低温处理－25℃应正常工作。
⑤RH:95%±3% T＜40℃时;
RH:70%±3% T＞40℃时</td>
<td>①一般:0～＋55℃;
②短时间高温:＋70℃
③露天甲板低温:－25℃应正常工作。
④RH:90%～100%,T＝55±2℃。</td></tr>
<tr><td>2. 振动及冲击</td>
<td>①
<table>
<tr><th>频率 Hz</th><th>位移幅值 mm</th><th>如速度幅值刁</th></tr>
<tr><td>2.0～13.2
13.2～100</td><td>±1.0</td><td>
±0.7</td></tr>
<tr><td>*2.0～25.0
*25～100</td><td>±1.0</td><td>
±4.0</td></tr>
</table>
*内燃机、压缩机及舵舱等场所。
②设备、悬架和支架,包括单个零件,其固有频率不应处于 0～100Hz 范围内,不然应加阻尼,以免放大系数 Q＞5
③放大系数 Q 应避免大于 1.5。</td>
<td>一般:
①频率为 2.0～13.2Hz
位移幅值:±1mm
频率为 13.2～80Hz
加速度幅值:±0.7g
②在柴油机、空压机等严重振动条件下:
频率为时 2.0～25Hz
位移幅值±1.6mm;
频率为时 25～100Hz 时
加至度为±4.0g
③质量 m 大于 10kg 的部件应能经得住±40mg 的加至度,加速度量少为 0.7g</td>
<td>①
<table>
<tr><th>频率(Hz)</th><th>位移幅值 mm</th><th>加速度幅值 g</th></tr>
<tr><td>2～13.2</td><td>±1.0</td><td></td></tr>
<tr><td>13.2～100</td><td></td><td>±6.86m/s²</td></tr>
<tr><td colspan="3">最大加速度为 6.86m/s²</td></tr>
<tr><td colspan="3">如设备质量 M 超过 100kg,其加速度幅值为$\pm\frac{686}{M}m/s^2$,但应不小于±3.43m/s²。</td></tr>
</table>
如设备及其悬支架等的自身固有频率如不处在 0～80Hz 以内,则应加阻尼。</td>
<td>①
<table>
<tr><th>频率 Hz</th><th>位移 mm</th><th>如速度 g</th></tr>
<tr><td>2.0～13.2
13.2～80</td><td>±1.0</td><td>
±0.7</td></tr>
<tr><td>*2.0～25.0
*25～100</td><td>±1.6</td><td>
±4.0</td></tr>
</table>
*往复式机器处所
②耐震试验:
按①找共振点,在共振点上试验 2h。如无共振点,以 30Hz,±0.7g(Ag)试验 2h</td></tr>
</table>

续表 1

船级社 项目	TEC/TC18(国际电工委员会第 18 分委会,92－504 出版物)	TACS(国际船级社协会)(统一要求 M41)	ZC(中国船级社)	LR(英国劳氏船级社)
1	2	3	4	5
	④质量 M 大于 10kg 的设备要设计成能承受加速度±(40M)g 最小值为 0.78 ⑤扫描检查共振点、共振点耐振试验 90min,试验时应充分动作。记录每个 Q≥2 的共振频率,如没有 Q≥2 则记录 30Hz 的试验。 ⑥内燃机排气管上安装的设备除上述要求外,尚应考虑其它使用条件。	④无共振时,每一方向作 2h 扫描试验 ⑤每一严重共振频率试验 90min ⑥共振点的放大率应大 5 以下。⑦试验方法按 IEC,68－2－4(1960)出版物 TEST FC 进行	在柴油机、压缩机上及舵机舱内的设备: 2.0～25Hz 为±1.6mm/s² 25.0～100Hz 为±39.2m/s² 最大加速度为 39.2m/s² 如设备质量 M 超过 10kg,共加速度幅值为±392Mm/s², 但应不小于±6.86m/s²	③安装状态的三个轴向均做 ④有防震底座的照原样装配进行试验为宜。 ⑤试验的充分动作,应无显著损伤、精度下降。 ⑥共振点的放大率应在 5 以下。 ⑦严酷振动条件,如排气管等处需另作必要的试验。
3. 倾斜及摇摆	①倾斜:各向 22.5°(米) ②摇摆:各向 22.5°,周期 10s,各向试验 15min ③在线性垂直加速度±1.0g 时应能良好运行。 * 没有运动部件的设备不需做。	①倾斜:各向 15° ②摇摆:各向 22.5°,周期 10s,作运行试验。	①倾斜:各向 22.5° ②摇摆:横摇±22.5°周期 10s,线性垂直加速度±1.0g ③试验方法按 CB* 3225－86 进行	①倾斜:各向 22.5° ②摇摆:各向 22.5° 周期 10s,各向试验 15min
4. 高温及扩大高温	操作条件下为±2℃ 试验 h 在 55°±2℃时,试 16h	70±3℃试 2h,按 IEC68－2－(1974)出版物,试验 B6 进行试验	①55±2℃,保持 16h ②70±2℃保持 1.5h 后接着进行 0.5h 效用试验 试验方法按 CB * 3225－86 进行	①同 IEC92～504 ②70℃保持 16h 最后一小时进行效用试验

续表 1

船级社 项目	TEC/TC18(国际电工委员会第 18 分委会,92－504 出版物)	TACS(国际船级社协会)(统一要求 M41)	ZC(中国船级社)	LR(英国劳氏船级社)
1	2	3	4	5
05. 低温及扩大低温	在－25°±3℃时,试 16h 在＋5°±3℃时试 16h	－25±3℃,试 2h,试验方法按 IEC68－2－11 试验 ka 进行	①0±2℃保持 16h ②按被试设备的低温需要,进行－25℃或－10℃的扩大低温试验 16h 试验方法按 CB＊322－86	－25±3℃,保持 16h 最后一小时测性能
6. 交变湿热试验	①下列相对湿度时充分动作 40℃以下,100%RH。 40℃以上,70%RH。 ②55±2℃ 95%～100% ③使试品带有湿气在 53～57℃之间 1h 内进行 4 次湿度变化	同 IEC92～504,试验进行 2 个周期,其中 1 个周期加负载,1 个周期不加负载。试验程序,见 IEC68－2－4(1960)出版物,试验 D	①在下列相对湿度下充分动作:T＞40℃。 RH 为 70% T≤40℃,RH 为 95%～100% ② 上各的试验进行 2 个循环 ③试验方法,按 CB 米 3225－86。	①90%～100% ② 上述周期连续 2 次 ③试验后 2h 内作性能试验

续表 1

船级社 项目	TEC/TC18(国际电工委员会第 18 分委会,92－504 出版物)	TACS(国际船级社协会)(统一要求 M41)	ZC(中国船级社)	LR(英国劳氏船级社)
1	2	3	4	5
7. 交流电源变化	① <table><tr><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">稳态%</td><td colspan="2">瞬态</td></tr><tr><td>%</td><td>时间</td></tr><tr><td>电压</td><td>±10</td><td>±20</td><td>1.5</td></tr><tr><td>频率</td><td>±5</td><td>±10</td><td>5</td></tr></table>②突加突卸三次均应动作满意;③输入交流电源的谐波含量达 5%时应保持功能的稳定性和精度	急态: ＋6%V,±5%HZ; －10%V∓5%HZ. 瞬态: ＋20%V,＋10%HZ, －20%V. －10%HZ (持续 1.5S)(持续 5S)	稳态: ∓10%V,±5%HZ 瞬态: ±90%V,±10%HZ (恢复时间电压 1.5S) 谐波分量达 5%频率设备应急定工作	①±5%频率变化时±10%电压变化。 ②±10%频率变化时±100%电压暂态变化,暂态恢复时间三 S
8. 畜电池电源变化	＋30%V －25%V 充电时设备不接到畜电池时为±20%	±20V	＋30%V －25%V 充电时设备不接畜电池上者,电压变化为±20%	＋30%V －20%V
9. 气原液压源压力变化	无规定	±20%P	±20%P 1.5P 时设备不应损坏	±20%P
10. 盐需试验	按 IEC 68－2－52 试验 KB 的规定. ①露天及甲板室的设备需依试验,室内一般设备未规定 ②盐水:1±0.02l 的蒸溜水中溶解 50±lg 的盐。 PH:6.5～7.2 ③试验:96h(4 个喷雾周期)35±2℃	同 IEC 的规定	按 CB* 3225－86 进行试验: ①安装在室外露天的整机设备以 26.5Nacl 加 8.01g 其它盐类溶入 1 公斤蒸留水制成盐水,PH 值为 7.5～8.5(20℃时)进行试验。试验 4 个周期共 28 天。 ②安装在室内设备以 Nacl 5±0.1%水溶进行试验,PH:6.5～干2,试 48h	①为特殊试验项目。 ②盐雾:20℃盐水每小时喷雾量设备试验箱容量 1% ③2h 喷雾,后 在 35±2℃次,共 28 天。 ④1 升盐水中 Nacl26.5g. Mgsoa3.3g、Mgcl24g

续表 1

<table>
<tr><th>船级社
项目</th><th>TEC/TC18(国际电工委员会第 18 分委会,92—504 出版物)</th><th>TACS(国际船级社协会)(统一要求 M41)</th><th>ZC(中国船级社)</th><th>LR(英国劳氏船级社)</th></tr>
<tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr>
<tr><td>11. 绝缘电阻</td><td>
<table>
<tr><th rowspan="2">额定值电压</th><th rowspan="2">试验值(DC)</th><th colspan="2">免试电阻 Mn</th></tr>
<tr><th>试验前</th><th>试验</th></tr>
<tr><td>≤65V</td><td>2×输出电压最低 24V</td><td>10</td><td>1</td></tr>
<tr><td>>65V</td><td>500V</td><td>100</td><td>10</td></tr>
</table>
②电源端—接地间
③所有试验完毕后测量</td><td>同 IEC92—504 规定</td><td>同 IEC92—504 规定</td><td>同 IEC92—504 规定</td></tr>
<tr><td>12. 介电强度试验</td><td>①
<table>
<tr><th>额定值$\frac{AC}{DC}$</th><th></th></tr>
<tr><td>60V 以下</td><td>1000V</td></tr>
<tr><td>60～300</td><td>2000</td></tr>
<tr><td>300～660</td><td>2500</td></tr>
<tr><td>660～800</td><td>3000</td></tr>
<tr><td>800～1000</td><td>3500</td></tr>
</table>
②带电—接地同 1min
③对低电压设备,试验设备可降至 AC500V 为好。
④试验电压频率为 45～62Hz</td><td>高电压试验电压机下表:
<table>
<tr><th rowspan="2">操作电压(V)</th><th colspan="2">试验电压(V)</th></tr>
<tr><th>D. C</th><th>A. C</th></tr>
<tr><td>110
1500
2000
2500</td><td>65
110
250
440</td><td>65
125
250
380</td></tr>
</table>
或采用下表:
<table>
<tr><th>额室电压 Un(V)</th><th>试验电压(V)</th></tr>
<tr><td>≤65
66～250
251～500
501～1000
>1000</td><td>2×Un+500
1500
2000
2×Un+1000
3×Un</td></tr>
</table></td><td>按 CB* 3225—86 易求</td><td>同 IEC92—504 的规定</td></tr>
</table>

2.3 自动化设备的试验

2.3.1 自动化设备应经型式试验合格。型式试验要求，参看表9.1.3—2的要求。

2.3.2 自动化设备安装上船以后，或者经过重大改装后应连同被监控的机电设备一起进行系泊和航行试验，以查明自动化设备是否已正确安装和整个系统能否满意地工作。

试验进行前应编订试验大纲。该大纲应经验船部门同意。

3 设计图纸送审范围

希望取得机舱自动化级的船舶，其自动控制和遥控的设计图纸都应该送船级社审查批准。送审图纸的范围各船级社都有规定，但基本上大同小异。

3.1 中国船级社的图纸送审范围

3.1.1 拟附加自动化入级标志的船舶应将下列图纸资料一式三份提交审批。

(1)所有自动控制和遥控系统的组成(注明设备的规格型号)，原理，功能及操作说明；

(2)自动控制的参数(包括控制原理)；

(3)测量显示点；

(4)报警点(包括报警信号显示的控制站、室，报警方式)，报警系统的检查方法和自检功能说明；

(5)安全系统项目，工作原理；

(6)监控点传感器的安装位置及数量；

(7)控制室、站、屏、台的布置及监控功能包括控制转换的说明；

(8)自动化系统的动力源(包括电、气动，液压)系统图；

(9)电子计算机系统(若设有时)的安装位置，组成框图，功能示意图，应用程序的流程图，自检功能说明，操作方法说明及电源配置图；

(10)备件清单；

(11)试验大纲(包括试验设备及试验方法)。

3.1.2 ZCM级轮机装置的自动化系统应将与本节3.1.1条有关的图纸资料一式三份提交审批。

3.2 英国劳氏船级社的图纸送审范围

3.2.1 由3.2.2至3.2.5所要求的图纸，应一式三份提供审查。

3.2.2 用于3.2.3所述的机械或设备的控制、报警和安全系统的下列图纸应提交审查：

附有图解的操作说明书；

控制线路图；

监控点表；

控制点表；

报警点表；

试验大纲，包括试验方法和提供的试验设备。

3.2.3 应送审下列项目的控制、报警和安全系统图纸：

空气压缩机；
舱底和压载系统；
油船的货油泵送系统；
在危险区域的货油泵和压载泵；
可调螺距螺旋桨；
发电装置；
制淡装置或蒸发器；
惰气发生器；
焚烧炉；
升降梯；
主推进机械包括重要辅机；
燃油驳运和储存系统(净油机和燃油加热器)；
含油污水分离器；
蒸汽发生装置(锅炉和附属设备)；
操舵装置；
热流体加热器；
推向推力装置；
其它机械(如控制、报警和安全系统于劳氏规范第六篇以外章节所规定者)；
废热锅炉；
阀门位置指示系统。

3.2.4 报警系统：联系主控制站、辅控制站、驾驶室和起居处所的所有报警系统细节应送审。

3.2.5 电子程序系统：系统框图、流程图、逻辑或梯级图和自检细节，软件质量保证图也应送审。

3.2.6 控制站：控制站的位置及细节，如控制屏和控制台。

3.2.7 火警探测系统：系统的操作图，探头的型式和位置，手动报警点及火灾探测指示器屏应提交审查。

3.2.8 批准过的系统：若采用以前批准过的标准系统，则其图纸不必再送审。

4 控制、报警和安全系统的基本要求

各国船级社对船舶机舱自动化的控制、报警和安全系统的基本要求，都有各自的规定。现将这些要求分成控制、安全、报警(包括显示系统)、控制站(室)、电子计算机系统、传感器及备件七个方面，分别列表进行说明和比较。

4.1 控制系统的基本要求(见表 9.1.3—3)

表 9.1.3—3 **控制系统基本要求**

中国船级社的规定	其他船级社的规定
1)控制系统包括自动控制和遥控系统。控制系统应具有良好的控制品质。控制系统以及被控制的机电设备在其全部运行工况范围内应具有满意的动态特性,即应能稳定工作,不会使机电设备产生热的或机械的过负荷,并具有必要的控制精度	LR 有类似规定
2)控制系统应按故障安全的原则设计,亦即应能使控制设备中出现的某个故障对控制过程产生的危险性降到尽可能低的程度,并且不会使备用的自动和(或)手动控制失效。 故障安全不仅应考虑控制系统和与之有关的机械,而且应考虑整个装置、甚至船舶的安全	LR、NK、ABS 及 PC 有同样规定
3)操纵船舶所必需的所有机电设备,当自动或遥控系统发生故障或失效(包括动力源中断)时,不得危及船舶的安全并应能: (1)发出报警信号; (2)及时更换损坏的部件或投入冗余设备以恢复正常的控制功能(若适用时); (3)转换到就地手动控制;转换控制时推力不应发生严重变化和变向	LR 及 74 安全公约有同样规定
4)控制系统应尽实际可能独立于安全系统(参见本章表 9.1.3—4 第 3 条)和报警系统,当其它系统发生故障时,应不影响控制系统的正常工作	LR、NK、ABS 及 PC 有同样规定
5)主机,锅炉和电站的控制系统应各自独立	NK 有同样规定
6)如果有措施能保证本表第 4 和第 5 条涉及的各系统公用部分的设备能受到有效的监测,且发生故障时能报警,经同意可允许其局部公用。	
7)控制系统的功能应能进行检查。如果控制设备的灵敏度和整定值可以调节,应能使调定的数值易于检查、辨认和锁定	LR 及 PC 有类似规定
8)控制系统的电源应馈自主配电板或应急配电板(若设有时)并应设有备用电源。主电源失电时仍有必要供电的自动控制系统,如电站自动化系统等,应自动转接到备用蓄电池组并发出报警和予以指示。备用蓄电池组的容量应至少能维持半小时供电需要	LR、ABS 及 PC 有类似规定
9)液压控制系统应设备用液压泵。当液压系统压力低于规定值时备用液压泵应能自动起动并投入工作,同时要发出报警。	LR、NK 及 PC 有同样规定
10)气动控制系统应符合下列规定: (1)气动控制用压缩空气可以由主机起动空气瓶或专用空气瓶供给。 (2)供给控制用压缩空气的空气压缩机至少应设置两台,其中一台为备用。每台压缩机应有足够的容量。 (3)当气压低于规定值时,应发出报警,空气压缩机应自动起动并投入工作。 (4)气动控制的供气管路中应设置安全阀。安全阀的开启压力应为额定工作压力的 1.1 倍。 (5)供气管路中应设置减压阀,滤器,分离器和干燥器,以使空气保持干燥,不含杂质和油分。减压阀应并联设置 2 只。滤器和干燥器一般亦应并联设 2 只,如有措施能保证迅速完成上述器件的保养,更换工作而又不影响气动控制系统的正常工作,则允许设置 1 只	NK 及 PC 有类似规定

4.2 安全系统的基本要求(见表 9.1.3—4)

表 9.1.3—4 安全系统基本要求

中国船级社的规定	其他船级社的规定
1)当发生危及主机、锅炉、电站以及其它重要机电设备的严重故障时,安全系统应能按下列三种类型,自动或手动地产生保护性动作,使发生故障的机电设备能: a.立即停止运行,如主机紧急停车,锅炉紧急停油,紧急切断用电设备电源等;而且非经人工复位,该设备不允许再投入运行; b.暂时调节到可以勉强运行的状态,如降低功率或转速等; c.恢复正常的运行,如起动并投入备用设备。 当这三类安全保护动作发生时,均应发出报警	LR、NK、ABS 及 PC 有同样规定
2)安全系统应按故障安全原则设计。当安全系统出故障或失效时,不应危及被保护的设备,甚至船舶的安全	LR、NK 及 PC 有同样规定
3)本表第 1 条中 a 类安全系统应独立于控制系统和报警系统,并应各自独立,使之不受其它系统故障的影响。 但以本表第 1 条中 b、c 类安全系统应尽可能独立于其它系统,否则应经该社同意并应符合表 9.1.3—3 第 6 条,表 9.1.3—5 第 4 条和表 9.1.3—8 第 4 条的规定	LR、NK 及 PC 有类似规定
4)安全系统应能进行定期的测试。如果安全设备的灵敏度和整定值可以调节,应能使调定的数值易于检查、辨认和锁定。一般本表第 1 条 a 类安全保护动作的整定值应能使故障报警先于安全动作发出	LR 及 NK 有类似规定
5)控制过程中,若设有使某一控制程序或某一安全保护功能在短时间内撤消,而强制机电设备继续运行的越控措施时,则对于本表第 1 条 a 类的安全保护动作一般不应该设越控	
6)若设有越控措施时,越控措施应符合下列规定: ①实施越控时,应予以指示; ②越控结束后,安全系统的保护功能应自动恢复; ③越控按钮的布置应设防止误触动的措施	LR 及 NK 有类似规定
7)主推进装置的手动紧急停车按钮和锅炉紧急停油按钮应完全独立于自动化系统设置	NK 及 ABS 有同样规定
8)安全系统的供电应馈自主配电板或应急配电板(若设有时),并应设有备用电源。当主电源失电时,应能自动转接到备用的蓄电池组,并发出报警。蓄电池组的容量应至少能维持半小时供电	LR、NK 及 ABS 有类似规定

4.3 报警系统(包括显示)的基本要求(见表9.1.3—5)

表9.1.3—5 **报警系统基本要求**

中国船级社的规定	其他船级社的规定
1)对被监控的机电设备和监控系统本身的故障应在有关的控制站、室发出报警信号。 所有的报警应同时发出视觉和声响报警信号。视觉信号应清晰可见。声响信号应有足够的响度,并应与火警,电话及其它声信号有明显的区别	LR、NK、ABS、PC及74安全公约有同样规定
2)报警系统应能同时对发生的所有故障发出报警信号对某个故障的报警和/或对报警的应答不应妨碍对其它发生故障的报警和/或应答	LR、NK及74安全公约有同样规定
3)对报警信号应答后,可消除声信号并改变视觉信号(如闪光转为平光),但视觉信号应一直保留到故障消除为止。故障消除后,该报警通道应能自动恢复到正常工作状态。 因瞬时故障所发出的警报,即使故障状况已经消失,但其报警应一直保持在动作状态直到被值班人员应答为止,以便查找原因	LR、ABS、PC及74安全公约有类似规定
4)报警系统应按故障安全原则进行设计,并应尽可能具有自检功能,即对系统本身的故障自动进行检测和报警(或指示)。自检的范围及程度可与维修更换的措施相一致。 报警系统中与控制、安全系统公用的设备必须具有自检功能	LR、ABS、NK、PC及74安全公约有类似规定
5)被监测的机电设备处于正常运行状态时,对报警系统应能进行检测	LR、ABS及PC有相同规定
6)报警系统的任一部分进行人为断开时,应进行指示	LR及PC有相同规定
7)报警设的灵敏度或整定值若可以调节,则调定的数值应易于检查、辨认和锁定	LR有类似规定
8)显示仪表应有适当的精度和良好的照明	
9)报警系统的供电应馈自主配电板或应急配电板(若设有时),并应设有备用电源。当主电源失电时,应能自动转接到备用的蓄电池组,并发出报警。蓄电池组一般应为专用,其容量应至少能维持半小时供电	LR、ABS及74安全公约有相同规定

4.4 控制站(室)的基本要求(见表 9.1.3—6)

表 9.1.3—6　　控制站(室)的基本要求

中国船级社的规定	其他船级社的规定
1)控制站(室)可分为:	
(1)集中控制站(室),系指对机舱进行自动化监控的、集中布置所有显示和操纵设备的监控站(室)。此控制站(室)又可称为主控制站(室)或机舱控制站(室)。	ABS 有类似规定
(2)驾驶室控制站,系指设在驾驶室内对主推进装置及其它设备进行遥控和监视的控制站。此控制站又可称为辅控制站。	ABS 有类似规定
(3)就地控制站,系指位于机、电设备近旁,对设备直接进行手动操纵的控制站。此控制站亦可称为机旁控制站	ABS 有类似规定
2)控制站(室)的布置要求如下: (1)集中控制站(室)一般应设在机器处所内;否则应经该社同意。 (2)集中控制站(室)应尽可能设在振动和噪声较小的地方。 (3)机器处所内的集中控制室应尽量设计成闭式。闭式控制室应具有隔声性能,窗玻璃应采用防碎型,应设有二个尽可能远离的进出口通道。 (4)控制站(室)内监控设备、信号显示位置、操作手柄、开关、按钮等的布置应便于人员的操作。监视和维护。 (5)就地控制站的操纵、监视和信号显示等设备与常规机舱的机旁控制站相同	ABS 及 PC、LR 有类似规定
3)控制的转换	NK 有类似规定
(1)各控制站(室)之间应能对可以共同控制的机电设备在正常运行或发生故障时,实施控制转换。转换时,不允许引起推力的严重变化和变向。	NK 和 ABS 有类似规定
(2)集中控制站(室)与驾驶室控制站之间的控制转换只允许在集中控制站(室)进行;就地控制站与集中控制站(室)或驾驶室控制站之间的控制转换只允许在就地控制站进行。	LR、NK 及 ABS 有相同规定
(3)控制转换应在得到接受控制的站(室)应答后才允许进行。 (4)在所有控制站(室)均应设有指示那个控制站(室)正在进行控制的指示器	LR、ABS、NK 及 74 安全公约有相同规定
(5)可由二个以上控制站(室)进行控制的机电设备,同一时刻只允许由一个控制站(室)控制。 (6)来自驾驶室的推进机械指令应在该机械的控制位置指示出来	LR、NK 及 74 安全公约有类似规定
4)如果从集中控制站(室)通过直接的机械连接机构对主机或其他机电设备进行控制,则允许免设其相应的就地控制站。	

4.5 电子计算机系统的要求(见表 9.1.3—7)

表 9.1.3—7 电子计算机系统的基本要求

中国船级社的规定	其他船级社的规定
1)本节所指的电子计算机系统,系指轮机自动化系统的电子计算机系统,以及以电子计算机为主的自动化监控设备,如可编程序控制器等	
2)本节所指的电子计算机系统可由下列各部分组成: (1)硬件,如中央处理器(CPU),各种存储器等; (2)软件,如应用程序(包括自检程序),操作系统程序等; (3)外部设备,如键盘,显示器,磁盘(带)驱动器,打印机,绘图仪等	
3)电子计算机系统应能实现预定的自动化监控功能。如果因实际情况难以满足其中有些规定(如各系统的互相独立性要求等),应经该社同意	NK 有类似规定
4)使用电子计算机的自动控制和安全系统的设计应考虑故障安全原则。当计算机系统出故障时,不仅应考虑计算机系统的安全,而且还应考虑被计算机控制的机电设备,甚至船舶的安全	NK 有类似规定
5)电子计算机的环境条件要求: (1)电子计算机系统应满足本章第 2 节 2.2 对电子设备的船用环境条件的要求,置于环境条件较好的控制室内的计算机外部设备,如显示器,磁盘(带)驱动器,打印机,绘图仪等,经该社同意,最高环境温度允许为+45℃。 (2)电子计算机系统应具有良好的电磁兼容性。对电磁兼容性的评价不仅应考虑计算机本身,而且应考虑与之相连的传感器,执行器及电源等整个监控系统	
6)电子计算机系统应具有自检功能。自检的范围及程度可与维修更换的措施相一致。计算机(或 CPU)之间的互检可以代替自检。 检出故障后,应以适当的方式指示出故障的位置,并发出报警。 硬件的设计应尽可能模块化,以利于检测和更换。更换模块或部件时,应防止被控机电设备处于不安全状态	
7)人员输入计算机的操作指令的方式应尽可能简单、方便(如采用专用功能硬键和软键) 至少应设有一专用键或采用其它等效方法能在任何时候中断计算机的运行,以便必要时将机电设备的计算机控制转换为就地的人工控制。 键盘和键的设计与布置应能防止因误触动及误操作而影响计算机系统的正常工作	
8)对于具有多种监控功能的计算机,当其中某些功能由人工选择退出时,应予以指示	

中国船级社的规定	其他船级社的规定
9)如果用显示器取代一般的指示灯报警显示,则应满足下列条件; (1)显示器应能清楚地显示出所有同时出现的报警; (2)显示器应以适当的方式显示出故障报警在应答前后的区别,但不允许仅用不同颜色显示这种区别; (3)应配有打印机记录故障内容; (4)至少备有一台备用的显示器; (5)主电源失电时,显示器应仍能正常工作; (6)如果参数显示与报警合用一个显示器时,显示与报警应不互相妨碍	LR、NK、74 安全公约及 IEC92—504 有类似规定
10)软件 (1)软件的设计应符合预定的对机电设备的自动化监控功能以及本表对计算机系统的要求。 (2)检验合格的软件一般不允许改动。如果作重要修改,应经该社同意。 在船上允许对某些数据,如报警极限设定值,时间延迟等进行修改;但这种修改应由专职人员进行,并应注意防止修改操作造成程序和数据不应有的变动。 (3)如果程序和数据的任何一部分存贮在非永久性存储器中,则船上应配有该程序和数据的复制件及重新输入该程序和数据的设备。	LR 及 IEC92—504 有类似规定 LR、NK 及 IEC92—504 有类似规定

4.6 传感器的要求(见表 9.1.3—8)

表 9.1.3—8 **传感器基本要求**

中国船级社的规定	其他船级社的规定
1)传感器应能长期稳定地正常工作,其量程及频率特性(若适用时)应与被测参数的预计的最大变化范围及变化速率相适应,并应具有适当的精度和灵敏度。 2)传感器应在其安装位置对环境条件有良好的适应性。传感器应坚固耐用,具有良好的机械保护,可靠的电气连接和良好的绝缘性能。 3)传感器的安装位置应能真实并尽可能直接反映出被监测参数,并应易于接近,测试和拆装。在难以接近和拆装的位置,则应加装一个备用传感器。 4)如果互相间应独立的监控系统监测同一参数的传感器(包括信号传输电缆)的故障状态能得到有效的监测,则允许合用一个传感器(参见本章表 9.1.3—3 第 6 条,表 9.1.3—4 第 3 条,表 9.1.3—5 第 4 条)。但表 9.1.3—21 备注栏中要求设置 2 只传感器者除外	

原

书

缺

页

原书缺页

续上表

中国船级社的规定	其他船级社的规定
4)集中控制站(室)的要求：	
(1)在集中控制站(室)应能实施本表第3(1)条规定的对推进装置的控制功能和控制转换。此外,还应能对本章表9.1.3—10第4条涉及的所有其余的机电设备进行自动化监控。这种自动化监控应与有人在机器处所对机电设备直接看管同等有效。	74安全公约有相似规定
(2)在集中控制站(室)应设置足够的仪表以指示确保机电设备安全可靠运行所必须的重要参数。要求显示的项目见表9.1.3—21第2栏。	LR、NK及ABS有类似规定
(3)集中控制站(室)内自动化监控设备的布置应考虑对这些设备进行检测、维修的方便。	LR、ABS及74安全公约有类似规定
(4)在集中控制站(室)应对机电设备和自动化监控设备发生的所有故障,包括同时发生的数个故障均能报警。报警的具体项目见表9.1.3—21第3栏。	
(5)集中控制站(室)内的声响报警信号只允许在该站(室)内应答后消除。	LR有类似规定
(6)在集中控制站(室)应设置独立于自动化系统的主机紧急停车按钮和锅炉的紧急停油按钮,该按钮并应具有措施防止误触动。	LR、NK及ABS有同样规定
(7)如果对主机设有越控功能时(见本表第3(5)条),集中控制站(室)应设置越控按钮;并应有措施防止越控按钮被误触动。	LR、NK及ABS有类似规定
(8)集中控制站(室)与其他控制站和轮机员起居处所之间的通讯设备应满足本表第5条的要求	
5)通讯设备 在驾驶室与集中控制站(室)、就地控制站(若适用时)和轮机员起居处所之间应设置一套双向通讯设备;此外,在驾驶室与其他控制站(室)之间还应设置一套通讯设备(如可回复的车钟)、其中一套应独立于主电源	LR、NK、ABS及74安全公约有相同的规定

5.3 主推进机械的自动化要求(见表9.1.3—12)

表9.1.3—12　　主推进机械的自动化要求

中国船级社的规定	其他船级社的规定
1)一般要求	
(1)应能在驾驶室控制站和集中控制站(室)对主机的起动、调速、正倒车换向(包括轴系换向装置),停车进行遥控(包括自动顺序控制)。当控制系统出故障时,应能保证就地控制站对主机由人工进行上述操纵。	LR、NK及74安全公约有类似规定
(2)当存在可能危及主推进机械的状况(如盘车机啮合等)遥控系统应能防止推进机械进行起动	ABS有同样规定
2)对主柴油机的要求 (1)控制系统	
①控制系统应保证主机及轴系在所有操纵状态下不会受到有害的机械的热的过负荷。	LR及NK有同样的规定
②主柴油机的自动顺序控制应设有必要的联锁,以防止机械损坏。	LR及NK有同样规定
③主柴油机连续自动起动的次数不得超过3次,当第三次起动失败后,应停止自动再起动,并发出报警。	LR、NK及74安全公约有同样规定
④控制系统应能自动防止主柴油机长期在振动转速禁区内运转。经本社同意,可采取替代措施,如当转速进入转速禁区内时,应发出报警,以使人员尽快操纵主机越过转速禁区。	LR、NK、ABS及PC有类似规定

续上表

中国船级社的规定	其他船级社的规定
⑤主柴油机运行在各个工况时，表9.1.3—21第4栏中注有“×”符号的参数应自动控制在正常范围内。	LR有类似规定
(2)安全系统 主柴油机安全系统的要求参见表9.1.3—21第5栏。此外，在驾驶室和集中控制站(室)仍应设置独立的紧急停车按钮。	
(3)报警系统(包括显示) ①应在集中控制站(室)显示和报警的项目见表9.1.3—21第2栏和第3栏。	LR、NK、ABS及74安全公约有类似规定
②应在驾驶室控制站的报警项目及报警方式见表9.1.3—21第6栏，显示项目见本章表1.3.5.2第3(2)条。	LR、NK及ABS有类似规定
(4)对于单机功率小于1470kW的主柴油机，表9.1.3—21第一栏不注“*”符号的项目可免设	LR、NK及ABS有类似规定 LR有同样规定
3)对主汽轮机的要求 (1)控制系统	
①主汽轮机应能自动盘车，以防止汽轮机在机动操纵下由于转子停转超过规定时间而产生热变形。	LR、NK及ABS有同样的规定
②控制系统应能自动防止主汽轮机长期在振动转速禁区内运转经该社同意，可采取替代措施，如当转速进入转速禁区内时，应发出报警，以使人员尽快操纵主机越过转速禁区。	LR、PC及ABS有类似规定
③主汽轮机运行在各个工况时，表9.1.3—21第4栏中注有“×”符号的参数应自动控制在正常范围内	LR、PC及ABS有类似规定
(2)安全系统 主汽轮机安全系统的要求，见表9.1.3—21第5栏。	LR、NK、PC及ABS有类似规定
(3)报警系统(包括显示) ①应在集中控制站(室)显示和报警的项目见表9.1.3—21第2栏和第3栏。 ②应在驾驶室控制站的报警项目及报警方式见表9.1.3—21第6栏。显示项目见本章表9.1.3—11第3(2)条	LR、NK、PC及ABS有类似规定

5.4 主锅炉的要求(见表9.1.3—13)

表9.1.3—13 主锅炉自动化要求

中国船级社的规定	其他船级社的规定
1)一般要求 当主汽轮机运行在各个工况时，表9.1.3—21第4栏中注有“×”符号的主锅炉的运行参数应自动控制在正常范围内	LR及ABS有类似规定
2)水位控制 (1)自动控制系统应保证锅炉水位在所有工况下自动保持在规定的范围内。	LR、NK、PC及ABS有同样规定
(2)每台锅炉应设有2个独立的低水位传感器和一个高水位传感器。应防止船舶摇晃使锅炉水位传感器产生误动作信号	LR、NK、PC及ABS有同样规定
3)燃烧控制	

原

书

缺

页

原书缺页

5.7 对辅机的要求(见表 9.1.3—16)

表 9.1.3—16 辅机自动化要求比较表

中国船级社的规定	其他船级社的规定
1)一般要求 (1)此处所述辅机系指驱动发电机的原动机,辅锅炉,为推进装置服务的各种泵以及空气压缩机等。 (2)所有辅机应能在周期无人值班期间自动正常运行	LR 有同样规定
2)发电机的原动机 (1)对发电机组(不包括应急发电机组)原动机应设置的监检项目见表 9.1.3—21 第 7 栏。若原动机单机功率小于 1470kW 时,第 1 栏不注"*"的项目可免设。 应急发电机组的原动机除满足《钢质海船入级与建造规范》第三篇的有关要求外,还应对滑油压力过低,原动机转速过高以及起动动力源(压缩空气或蓄电池组)故障予以报警、显示。 应急发电机组的原动机不应设置紧急停车和降速保护系统	LR 及 NK 有类似规定
3)辅锅炉 (1)辅锅炉应满足《钢质海船入级与建造规范》第三篇第六章的要求。 (2)辅锅炉的燃烧控制应满足本章表 9.1.3—13 第 3 条对其适用要求。 (3)辅锅炉的安全系统应满足本章表 9.1.3—13 第 4 条的要求。 (4)对辅锅炉的自动化监控项目应符合表 9.1.3—21 第 7 栏及备注栏的规定	LR 有类似规定
4)泵 (1)由电机驱动的泵,断电后恢复供电时,应能依次自动起动。备用泵的自动切换要求见表 9.1.3—21 第 5 栏中注"c"的项目	LR 及 74 安全公约有类似规定
5)空气压缩机 (1)空气压缩机应符合本章表 9.1.3—3 第 10 条的有关规定。 (2)对空气压缩机的监控要求见表 9.1.3—21	LR 有类似规定

5.8 对可调螺距螺旋桨等的要求(见表 9.1.3—17)

表 9.1.3—17 可调螺距螺旋桨等的要求

中国船级社的规定	其他船级社的规定
1)可调螺距螺旋桨的要求: (1)对每个独立的调距桨,以及与之相连的自动操作设备均应由一个单一的控制器进行控制。可同时操作的多桨系统可以由一个控制设备控制。 (2)主推进调距桨与主机应用单手柄进行联合控制,以防止主机和轴系过载以及因过载或超速引起的停车。 (3)主推进调距桨的遥控液压系统应设有备用动力源。当液压系统压力低于规定值时。备用液压泵应能自动起动。 (4)调距桨的桨角(或螺距)和桨轴转速应在对其控制的各控制站予以显示。 (5)对调距桨的报警项目见表 9.1.3—21	LR 及 NK 有类似规定
2)侧推器的要求 侧推器(若设有时)的监控要求,见表 9.1.3—21	LR 有类似规定

续上表

中国船级社的规定	其他船级社的规定
3)离合器的要求 离合器(若设有时)的监控要求,见表 9.1.3—21	

5.9 其他设备的要求(见表 9.1.3—18)

表 9.1.3—18 其他设备要求

中国船级社的规定	其他船级社的规定
1)阀的要求 (1)本节所涉及的阀指用于舱底水系统和海水系统的阀 (2)阀执行机构的动力源故障不应使阀处于不安全的位置。 (3)在对阀进行控制的控制站(室)应指示出阀的开度或开、闭状态。 (4)位于可能被水浸没位置的阀的操作机构应当在被浸没时也能进行正常操作。 (5)当遥控或自动控制出故障时,应能对阀进行手动操作。	LR 有类似规定
2)净油机的监控要求,见表 9.1.3—21	LR 有类似规定
3)污油柜的监控要求,见表 9.1.3—21	LR 有类似规定

5.10 无人值班机器处所监控系统的附加要求(见表 9.1.3—19)

表 9.1.3—19 监控系统附加要求

中国船级社的规定	其他船级社的规定
1)所有被监控机电设备的安全系统应按本章表 9.1.3—4 第 1 条的规定自动产生保护性动作	LR 及 NK 有同样的规定
2)在集中控制站(室)应设置故障和重要参数的自动记录设备	
3)所有故障报警均应组合延伸到轮机员起居处所,在机器处所(包括集中控制室)外对报警的应答不应消除在机器处所(包括集中控制室)内的声响和视觉报警信号。 如果一个警报在一定时间内于机器处所内未被应答,则应自动在值班轮机员起居处所发出清晰的声响警报	LR、NK、PC 及 74 安全公约有类似规定
4)报警系统应具有自检功能。自检的范围与程度可与维修更换的措施相一致。自检出故障时,应发出报警	LR 及 NK 有同样的规定
5)控制系统、安全系统和报警系统的互相独立性应满足本章表 9.1.3—3 第 4 条、表 9.1.3—4 第 3 条、表 9.1.3—5 第 4 条及表 9.1.3—8 第 4 条的要求	LR、NK 有同样的规定
6)日用燃油柜的容量应与无人值班的周期相适应,并至少增加 10%的容量。日用燃油柜应设置低油位报警	LR 及 NK 有类似规定
7)如果日用燃油柜采用遥控或自动加油方式,则应有防止溢油的措施,并设置高、低油位报警;本表第 6 条的容量要求可以免除	LR 及 NK 有类似规定

原书缺页

原

书

缺

页

续上表

项目	集中控制站(室)		自动控制的参数	安全系统动作类别	驾驶室控制站报警方式	作辅机时要求的项目	备注
	显示	极限报警					
1	2	3	4	5	6	7	8
* 气缸冷却水出口温度	温度	高	×		(Y)	×	各缸冷却系统分开时，每缸设置
		过高		b	(R)		对低速机
				a	(R)		对中、高速机
活塞冷却液进口压力或流量	压力或流量	低	—	b,c	(R)	—	活塞冷却若为独立的系统时
* 活塞冷却液出口压力或流量	压力或流量	低	—	—	(Y)	—	活塞冷却分开时，每缸设置
* 活塞冷却液出口温度	温度	高	×	b	(R)	×	
喷油器冷却液压力	压力	低	—	c	(R)	—	喷油器冷却为独立系统时要求
喷油器冷却液温度	温度	高	×	—	(Y)	—	
海水冷却水压力	压力	低	—	—	(Y)	—	
冷却水膨胀水箱水位	—	低	—	—	(Y)	—	
重燃油油温或粘度	温度或粘度	低或大	×	—	(Y)	—	
燃油日用及沉淀柜加热温度	—	高	—	—	(Y)	—	
燃油日用及沉淀柜油位	—	低	—	—	(Y)	×	自动加油时，加设高油位报警
燃油低压油泵出口压力	压力	低	—	c	(R)	—	
扫气温度(或火警)	温度	高	—	b	S	×	二冲程柴油机，每缸设置
* 排气温度	温度	高	—	b	(R)	×	低速机每缸设置；中高速机在排气总管设置
* 增压器压气机空气出口温度	温度	高和低	—	—	(Y)	—	四冲程中高速柴油机设置
推力轴承温度或滑油出口温度	—	高	—	—	(Y)	—	
曲轴箱油雾浓度或柴油机主轴承温度	—	高	—	b	(R)	—	当①对主机进机滑油过低时的自动停车设置越控时；或②主机功率≥2250kW时；或③缸径>300mm时要求
* 柴油机转速或桨轴转速	转速	超速时	—	a	(R)	×	设置2只传感器
	—	在转速禁区	—	—	S	—	若能自动越过转速禁区，可免设

项　　目	集中控制站（室）		自动控制的参数	安全系统动作类别	驾驶室控制站报警方式	作辅机时要求的项目	备　　注
	显示	极限报警					
1	2	3	4	5	6	7	8
* 主机第三次自动起动失败	—	停止再起动时	—	—	S	×	当备用发电机组自动起动失败时，应予以报警
* 起动空气压力	压力	低	—	—	S	×	在驾驶室控制站显示。对辅机，起动空气瓶单独设置时有要求
* 起动用蓄电池组电压	电压	低	—	—	S	×	
* 监控系统的动力源（电力，气动，液压）	电压，气压，液压	失压时	—	—	S	×	电压可由指示灯代替
二、主汽轮机							
滑油进汽轮机及减速齿轮箱压力	压力	低 过低	—	c a	(R)	×	设置 2 只传感器
滑油进汽轮机及减速齿轮箱温度	温度	高	×		(Y)	×	
滑油滤器前后压差	—	大	—	—	(Y)	—	
重力滑油柜油位	—	低	—	—	(Y)	—	
滑油循环柜油位	—	低	—	—	(Y)	—	
汽轮机和减速齿轮的轴承温度或轴承滑油出口温度	温度	高	—	—	(Y)	—	
推力轴承温度或滑油出口温度	—	高	—	—	(Y)	—	
倒车汽轮机排汽温度	温度	高	—	—	(Y)	—	
汽轮机机动操纵阀前蒸汽温度	温度	高及低	—	—	(Y)	—	
汽轮机机动操纵阀前蒸汽压力	压力	低	—	—	(Y)	—	
汽封蒸汽压力	压力	高及低	×	—	(Y)	—	
海水循环水压力或流量	压力或流量	低	—	c	(Y)	—	
凝水泵出口压力	压力	低	—	c	(Y)	—	
主冷凝器真空	真空度	低	—	b	(R)	×	
主冷凝器凝水水位	—	高	×	b	(R)	×	
汽轮机振动	—	过度	—	b	(R)	×	
汽轮机转子轴向位移	—	过大	—	a	(R)	×	

续上表

项目	集中控制站(室)		自动控制的参数	安全系统动作类别	驾驶室控制站报警方式	作辅机时要求的项目	备注
	显示	极限报警					
1	2	3	4	5	6	7	8
汽轮机超速	—	超速时	—	a	(R)	×	
轴系转速及转向	转速及转向	在转速禁区	—	—	S	—	若能自动越过转速禁区，可免设。在驾驶室显示
操纵状态下汽轮机转子停转时间	—	过长	—	—	(Y)	—	一般不超过 2～3min
给水除氧器水柜水位	水位	低	—	—	(Y)	—	
监控系统的动力源(电力、气动、液压)	电压，气压，液压	失压时	—	—	S	×	电压可由指示灯代替
三、主锅炉							
汽鼓或过热器蒸汽出口压力	压力	高及低	×	—	(R)	×	辅锅炉不要求装低压报警，如果辅锅炉不用于驱动发电用蒸汽轮机时，不要求对第4栏规定的参数自动控制
蒸汽出过热器温度	温度	高	×	—	(R)	—	
减热器蒸汽出口温度	温度	高	×	—	(R)	—	
锅炉水位	水位	高	×	—	(R)	—	驱动发电机的辅汽轮机锅炉要设置高水位报警至少设置2只传感器
		低		—	(R)	×	
		过低	—	a	(R)	×	
各燃烧器的燃油粘度或温度	粘度或温度	大或低	×	—	(Y)	—	仅对重油要求
各燃烧器的燃油压力	压力	低	—	c	(Y)	×	
重油油柜加热温度		高	×	—	(Y)		若自动加油时，加设高油位报警
重油燃油日用柜油位		低	—	—	(Y)	—	
进入锅炉空气压力	压力	失压	—	a	(R)	×	对主锅炉设置2只传感器
燃烧器火焰和点火		熄灭/点火失败	—	a	(R)	×	
燃油雾化蒸汽(空气)压力	压力	高及低	—	—	(Y)	—	
给水泵出水压力或流量	压力或流量	低	—	c	(R)	×	
强制循环锅水流量	流量	低	—	c	(R)	×	仅对强制循环锅炉的要求

续上表

项目	集中控制站(室)		自动控制的参数	安全系统动作类别	驾驶室控制站报警方式	作辅机时要求的项目	备注
	显示	极限报警					
1	2	3	4	5	6	7	8
给水盐度	—	高	—	—	(Y)	—	
锅炉供气管		火警					
排烟温度	—	高	—	—	(Y)	—	当经济器和(或)空气预热器与锅炉组成一个整体时,排气管(上升烟道)应设操火报警
除氧器水位	—	高及低	—	—	(Y)	—	
监控系统动力源(电力,气动,液压)	电压,气压,液压	失压时	—	—	S	×	电压可由指示灯代替
四、主燃气轮机							
滑油进燃气轮机和减速齿轮压力	压力	低/过低	—	c/a	(R)	×	设置2只传感器
滑油进燃气轮机和减速齿轮箱温度	温度	高	×	—	(Y)	—	
滑油出燃气轮机和减速齿轮箱温度	温度	高	—	—	(Y)	—	
滑油循环柜油位	—	低	—	—	(Y)	—	
燃油温度或粘度	温度或粘度	低/大	×		(Y)		仅对重油
燃油压力或流量	压力或流量	低	—	c	(Y)	—	
燃油日用柜油位	—	低	—	—	(Y)	—	自动加油时,加设高油位报警
进涡轮机的燃气进口温度或排气温度	温度	高	—	a	(R)	×	
压气机的进口空气压力	压力	—	—	—	—	—	
压气机的进口空气温度	温度	高	—	—	(Y)	—	
主燃气轮机起动失败	—	起动失败时	—	a	(R)	×	
主燃气轮机燃烧室火焰熄灭	—	熄灭时	—	a	(R)	×	
主燃气轮机振动	—	过度	—	a	(R)	×	
主燃气轮机转速	—	超速	—	a	(R)	×	

续上表

项目	集中控制站(室)		自动控制的参数	安全系统动作类别	驾驶室控制站报警方式	作辅机时要求的项目	备注
	显示	极限报警					
1	2	3	4	5	6	7	8
轴系转速及转向	转速及转向	在转速禁区	—	—	S	—	若能自动越过转速禁区,可免设
燃气轮机箱装体内火警	—	着火时	—	—	S	×	
监控系统的动力源(电力,气动,液压)	电压,气压,液压	失压时	—	—	S	×	电压可由指示灯代替
五、发电机							
电压	电压	高和低	×	—	(Y)	—	
频率	频率	高和低	×	—	(Y)	—	
自动卸载	—	动作时	—	—	(R)	—	
自动合闸	—	失败	—	—	(R)	—	
主开关自动脱扣	—	脱扣时	—	—	(R)	—	
对地绝缘	—	绝缘电阻低	—	—	(Y)	—	
应急蓄电池组向临时应急照明供电	指示	供电时	—	—	S	—	
六、调距桨、侧推器							
调距桨螺距或桨角	螺距或桨角	—	—	—	—	—	驾驶室显示
桨轴转速	转速	—	—	—	—	—	
螺距控制的液压系统压力	压力	低	—	c	S	—	
电液控制系统的电力	指示	失电时	—	—	S	—	
液压油油柜油位	—	低	—	—	(Y)	—	主机功率小于1470kW时,可免设
液压油温度(当装油冷却器时)	—	高	—	—	(Y)	—	
侧推器侧推方向或螺距	方向或螺距	—	—	—	—	—	驾驶室显示
侧推方向可变的角度	角度	—	—	—	—	—	
侧推器驱动电机负载	—	过载时	—	—	(Y)	—	
侧推器液压控制系统压力	压力	低			(Y)		驾驶室显示

续上表

项目	集中控制站（室）		自动控制的参数	安全系统动作类别	驾驶室控制站报警方式	作辅机时要求的项目	备注
	显示	极限报警					
1	2	3	4	5	6	7	8
七、离合器							
离合器位置	位置	—	—	—	—	—	
离合器控制动力源（电压，气压，液压）	电压，气压，液压	失压	—	—	S	—	驾驶室控制站显示
八、尾管轴承							
油润滑的尾管轴承温度	—	高	—	—	(Y)	—	
尾管滑油柜油位	—	低	—	—	(Y)	—	
九、空气压缩机							
空气压缩机滑油压力	—	低	—	a	(R)	—	
压缩空气排出温度	—	高	—	—	(Y)	—	
驱动空压机电机	—	空气压力低	—	—	—	—	自动起动
十、其它设备							
1.净油机							
净油机水封	—	破坏	—	—	(Y)	—	
净油机进油温度	—	高	—	—	(Y)	—	
2.污油柜							
污油柜油位	—	高	—	—	(Y)	—	
3.舱底水							
舱底水位	—	高	×	—	S	—	
舱底水泵（自动控制时）	运行指示	运行时间过长等	—	—	(Y)	—	
4.防火、探火							
有失火征兆或失火时	—	火警	—	—	火警		
柴油机高压燃油管	—	漏油时	—		(Y)		
5.其它							
越控功能	—	执行时	—		S	—	
自动化系统	—	出故障时			S		
电子计算机系统		出故障时			S		

6 有人值班机器处所的自动化要求

有人值班机器处所是指机舱，包括集中控制站（室）需安排人员进行值班。它可以为具有AUT—1、MCC 及 BRC 这三种附加符号的船舶。

附加上述三种符号的船舶，同样应该满足本章第 1 节 1.1.1 款、第 2 节及第 3 节 3.1 条的要求。

所安装的自动化系统应能保证本章第 5 节表 9.1.3—10 中第 4 条所述的机电设备在人员值班照管程度降低的情况下能连续正常运行，并应保证船舶的安全程度与机舱有人值班的船舶相同。

6.1 附加 AUT—1 符号的自动化机舱的要求，见表 9.1.3—22。

表 9.1.3—22 **AUT—1 自动化机舱要求**

中国船级社的要求	其他船级社的规定
1)附加 AUT—1 标志的船舶应设置驾驶室控制站，机舱集控站（室）和就地控制站。机电设备正常运行时，集中控制站（室）连续有人值班，机器处所（不包括机舱集控站、室）一般无人值班。	LR 及 NK 均无一人值班机舱自动化的规定 PC 有类似规定
2)驾驶室控制站的监控功能应满足本章 5.3 节、5.8 节以及表 9.1.3—11 第 3(3)条的要求。但表 9.1.3—21 中第 6 栏注有(Y)符号的组合报警项目可以免设。	
3)机舱集控站（室）的监控功能一般应满足本章表 9.1.3—11 第 4 条的要求。 4)对本章表 9.1.3—10 第 4 条涉及的机电设备的自动控制和遥控功能一般应满足本章 5.3 节至 5.9 节的要求。但是，允许人员在机舱集控站（室）内介入与人员能力相适应的某些控制过程 5)安全系统中本章表 9.1.3—4 第 1 条 a 类保护动作应能自动进行；b、c 两类保护动作可以自动，也可以在机舱集控站（室）内和驾驶室控制站（若适用时）遥控	
6)在驾驶室与集中控制站（室）、就地控制站（若适用时）应设置一套双向通讯设备；此外，在驾驶室与其它控制站（室）之间还应设置一套通讯设备（如可回复的车钟）。其中一套应独立于主电源	
7)机器处所的消防要求，若集中控制站（室）设在机器处所外时，应符合本章表 9.1.3—20 第 1 条的规定；否则，应尽量符合表 9.1.3—20 第 1 条的规定。	
8)建议设置舱底水报警。若集中控制站（室）设在机器处所外时，防浸水要求应满足本章表 9.1.3—20第 2 条的要求	

6.2 附加MCC符号的集控机舱的要求，见表9.1.3－23

表9.1.3－23 MCC集控机舱要求

中国船级社的规定	其他船级社的规定
1)具有MCC附加标志的船舶应设置集中控制站(室)和就地控制站。机电设备正常运行时，集中控制站(室)连续有人值班，机器处所(不包括集中控制站、室)一般无人值班。 2)集中控制站(室)的监控功能一般应满足本章表9.1.3－11第4条的要求。 3)对本章表9.1.3－11第4条涉及的机电设备可以自动控制，也可以在集中控制站(室)内遥控。个别不须经常操作的设备，经该社同意允许就地手动操作。 4)安全系统应满足本章表9.1.3－22第5条的要求。 5)机器处所的消防要求见本章表9.1.3－22第7条。 6)防浸水要求见本章表9.1.3－22第8条	LR有类似规定

6.3 附加BRC符号的自动化要求，见表9.1.3－24

表9.1.3－24 BRC符号的船舶自动化要求

中国船级社的规定	其他船级社的规定
1)具有BRC附加标志的船舶应设置驾驶室控制站对主推进装置和侧推器等(若设有时)进行遥控。机器处所连续有人值班；一般适用于主机总功率小于1470kW的船舶。 2)驾驶室控制站的监控功能应满足本章表9.1.3－22第2条的要求。 3)除本表第2条外，还应在驾驶室控制站或就地控制站设置按表9.1.3－21第3栏对推进装置(如主机，离合器调距桨，侧推器等)要求在集中控制站显示、报警的项目。 4)应对本章表9.1.3－10第4条涉及的所有机电设备设置本章表9.1.3－4第1条a类安全系统，而且保护动作应自动进行；b、c两类保护动作可以自动、遥控，也可以就地手动。 5)驾驶室控制站与机器处所之间应设置2套双向通讯设备，其中一套应独立于主电源	

7 具有ZCM级轮机装置设置某些自动化系统的要求

某些入级船舶其动力装置的机电设备中，有一些设有自动控制或遥控系统，但又不具备授予自动化附加符号的条件。对于这些船舶具有下列原则规定，见表9.1.3－25

表9.1.3－25 有ZCM符号的轮机装置设置个别自动化系统的规定表

中国船级社的规定	其他船级社的规定
1)适用范围 (1)本章适用于ZCM级轮机装置，但不拟附加任何自动化标志的自动化系统。 (2)对本章表9.1.3－10第4条涉及的推进装置，重要辅机及其它机电设备，如果设置自动控制和/或遥控系统、安全系统和报警系统(包括显示)。均应符合本章的规定。 2)一般要求 (1)自动化系统应能保证船舶的安全程度与机电设备有人直接看管的船舶相同。 (2)自动化系统应考虑故障安全的原则。 (3)自动化系统应符合本章第1节1.1.1，第2节及第3节适用的有关规定。 (4)如果自动化系统能使被监控的机电设备在机旁无人看管的情况下正常运行，则该设备的自动化系统除本章的规定外，还应满足本章第5节适用的有关要求。	无规定

第2篇　自动化仪表及控制器件

第1章　概　　述

船舶自动化仪表是实现机舱自动控制和计算机控制不可缺少的部分。

自动化仪表在机舱自动化系统中起着“眼”、“脑”和“手”的作用。其中，用各种传感器或变送器来监测各种状态参数；用各种调节器或控制器进行比例、积分或微分等控制规律的运算和逻辑判断；最后通过各种执行器或电磁阀完成监控任务。总之，随着机舱自动化程度的提高，船用自动化仪表已经是不可缺少的部分，而且在精度和可靠性方面要求愈来愈高。

1　误差与精度的概念

1.1　误差的概念

仪表既能完成变换、放大、比较、显示诸功能的综合作用，又能实现对比、示差、平衡、读数的比较过程。由于种种因素的影响，仪表的示值与被测量的真值之间必然存在着差异。通常把示值 M 与被测量真值 T 之间的差值 Δ 称为误差。

从理论上说真值是无法知道的。在实践中往往这样定义真值：真值是指测量次数无限多时所求得的平均值。表 9.2.1—1 示出仪表误差的各种描述方法。

表 9.2.1—1　　仪表误差的各种描述方法

	绝对误差　Δ	相对误差　r	系统误差
误差的描述方法	用示值 M 与真值 T 之间的代数差表示： $\pm\Delta=M-T$ 绝对误差不能作为同类仪表（不同量程）或不同类仪表之间测量精度的比较尺度	用绝对误差 Δ 与真值 T 的比值百分数表示： $r=\frac{\Delta}{T}\times100\%$ 工程上常用仪表的示值来代替真值进行相对误差的计算	指服从一定规律的仪表误差 产生系统误差的原因：仪表作用原理不完善；仪表本身材质、工艺、零部件存在的缺陷；使用测试仪表的方法不正确；测量者本身读数不准 总之，系统误差可以归结为一个或几个因素的函数若对其规律和因素进行研究是可以掌握的，可以校正的，也是可以消除的它的大小关系到测量的准确度

续上表

	随机误差 Δ	基本误差 r	附加误差
误差的描述方法	指服从统计规律的仪表误差。 产生随机误差的原因可以归结为许多复杂因素微小变化的总和。如摩擦引起的误差属于均匀分布规律;正弦干扰电压引起的误差属于反正弦分布规律。但多数的随机误差属于正态分布规律。 随机误差不能用校正方法加以消除。但它的大小与测量次数 n 有关,随 n 增加而减小。它的大小还关系到测量的精密度	指仪表在标准条件下使用时所产生的误差。 标准条件是指影响测量的各种因素所作的人为规定,通常由企业标准或国家标准规定。如指仪表在标定刻度时所保持的工作条件:电源电压、环境温度、相对湿度等等。 仪表的基本误差通常按仪表输出信号的实测值和标准值之差与仪表输出信号满量程的百分数表示	指仪表在非标准条件下工作时,除基本误差外所产生的误差。 如环境温度超出标准温度(20±5℃)时出现的温度附加误差。 这种附加误差往往分别给出规定的数值,测量时再按具体条件分别叠加在基本误差上

1.2 精度的概念

精度是衡量仪表测量结果的精密度与准确度的综合反映。

精密度是指在测量过程中所测数值重复一致的程度(即分散性大小)。它表明某一测量过程,在同一条件下进行重复测量时,所得结果彼此之间符合的程度。随机误差的大小是精密度的标志。

准确度是指测量结果偏离真值的程度。系统误差的大小是准确度的标志。应指出准确不一定精密。

在工程上,精度用最大基本误差值表示。精度等级用最大基本误差值中去掉百分数符号后所剩下的数字表示。

自动化仪表的精度等级有:0.02、0.05、0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、4.0 等。

2 仪表的抗干扰措施

2.1 干 扰 源

实践证明,仪表的干扰问题是不容忽视的,应采取相应措施,以防后患。

在现场,各类干扰信号往往是通过不同途径与仪表电路耦合。不同频带的仪表,对各种频带的干扰信号有不同的反应。机舱自动化仪表多在低频范围内工作,为此重点说明低频干扰问题。表 9.2.1—2 示出各种干扰的概念。

表 9.2.1—2　　　　　　　　　**各种干扰的概念**

外部干扰	内部干扰
凡能在空间产生电磁场的电器设备都可看成是来自外部的干扰源。如输配电源线；电源变压器；发电机；电焊机等 如果干扰源为低电压、大电流，则此电磁场干扰是以磁场为主 如果干扰源为高电压、小电流，则此电磁场干扰是以电场为主	凡由仪表内部引起的干扰都可看成是来自内部的干扰源。如仪表内部电磁元件产生的电磁场；仪表内部接地点不合理产生的级间干扰；仪表本身工艺不佳产生的虚焊、引线似断非断；仪表元部件质量不佳
图 a)为横向干扰电压 U_G 与正常信号叠加引起的干扰。它主要来源于空间电磁场 横向干扰 a)	图 d)为系统中各仪表接地点电位不同而引起的跨步电压干扰 d)
图 b)为纵向干扰。它是通过漏电阻 R 引起的平行干扰，主要来自高电平设备 b)	图 e)为仪表内部接地点电位不同而引起的跨步电压 U_G 对放大器输入信号的干扰 e)
图 c)为通过电源产生的干扰。因为电源存在内阻 R_0，输电线路存在阻抗 Z，所以在电流 i 变化时影响正常供电电压 c)	

上述诸干扰信号往往通过电容、电感耦合并以导线或公共阻抗直接传送。为此在解决干扰问题时，先要分清是内部还是外部干扰？干扰源是什么？干扰的传输途径等一系列问题。

表 9.2.2—41

气体含氧浓度传感器原理和主要性能

转子磁力机械式	热　磁　式	氧　化　锆
其原理是：物体(如空心球)处于强非均匀磁场中，若含有氧的气体通入测量室，则物体受磁力的作用，被磁场吸引或排斥。其作用力的大小与物体磁化率 K_1 及周围介质(如氧气)的磁化率 K_0 有关。最后通过测量电路输出氧含量的电信号	它是利用氧的顺磁性质制成的。也就是利用在具有磁场梯度和温度梯度的空间形成含氧分子的气体热磁对流性质。 这是因为在各种气体中，氧气比其余气体的磁化率高，气体磁化率与绝对温度的平方根成反比。最后通过热磁对流检测环室和桥路输出氧含量的电信号	它是利用氧化锆差浓电池的作用。氧化锆在高温下，由于存在氧离子导电性。这样一来，氧化锆两侧附有电极的表面(在一定的温度条件下)，若和两侧电极接触的气体含氧量不同，则电荷积累所形成的浓差电池也不同。所以，该浓差电池的电势与氧化锆两侧的含氧浓度有关。最后通过测量电路输出氧含量的电信号。多用于测量高温气体中的氧含量
1—两个空心玻璃球制成的转子；2—磁极；3—反射镜和石英丝；4—光源和透镜组；5—放大器；6—光电池；7—三棱镜	测量范围：0～5%O_2　0～10%O_2　精度：±2.5%～5%　反应时间＜10s　工作压力：0～0.4MPa　环境温度：5～50℃	测量范围：0～10%O_2　线性刻度　0.1%～10%O_2　对数刻度　精度：实际读数的±5%　气体温度：20～600℃　气体压力：－2500～＋2500pa

2.2 抑制干扰的措施

抑制干扰的途径不外乎是：从干扰源上想办法，抑制干扰源的输出等；从传输途径上想办法，抑制通道的有效传输值；从仪表本身上想办法，使仪表对干扰信号不敏感。表9.2.1—3示出抑制干扰的具体措施。

3 仪表的品质指标

工程上常用下述品质指标来衡量自动化仪表的质量。

1)基本误差

2)精度等级

3)变差

变差指仪表用同一输入信号，测得的正行程基本误差与反行程基本误差之差的绝对值，为实测的来回变差。仪表的变差不允许超过仪表的精度等级。

4)灵敏度

灵敏度S指仪表指针的位移与引起该位移的输入信号变化量之比

$$S=\frac{\Delta\alpha}{\Delta A}$$

式中：$\Delta\alpha$——指针的位移；

ΔA——输入信号的变化量。

5)输出值的稳定性

输出值的稳定性是指仪表输出值在各点的抖动不允许超过某一数值。

6)反应时间

反应时间是指在某一特定条件下，给仪表的输入端加一阶跃信号，当输出信号变化到前、后两个稳态值之差为63.2%时，所需要的时间。

4 仪表的校验

校验的目的是为了检查仪表的机械和电气性能是否完善，并根据控制系统或现场生产的要求，调整各参数的实际整定值，使仪表能正常的工作。

仪表的一般校验步骤如下所述。

4.1 一般性检查的要求

1)结构检查，如检查各机械部件的连接是否牢固、传动系统是否灵活、有无卡住现象等。

2)仪表的绝缘性能检查，如检查电源接线端的对地电阻值；电源接线端对各输入、输出端的电阻值；各输入、输出端的对地电阻值及输入端对输出端的电阻值等都应符合规定。

3)通气或通电检查各部分工作是否正常。

4.2 对各仪表进行校验的要求

1)压力或温度变送器必须进行零位和量程范围的校验、精度校验及其有关参数的调整，如

过载保护装置的调整、静压调整、限位调整和迁移调整等。

2)调节器必须进行零位与开环放大倍数的校验,比例带、积分时间、微分时间和内给定校验,以及跟踪误差校验等。

3)微分器必须进行零位校验,微分增益和微分时间调整,最大残余电流测定等。

4)执行器必须分别对伺服放大器、阀门定位器和系统进行校验。

对于各种不同类型的仪表所进行的具体校验方法,参照仪表说明书或有关规定进行。

5 仪表检修的一般方法

5.1 一般步骤

自动化仪表的类型和品种繁多,即使是同一台仪表也会出现许多不同的故障,要具体写出一套解决各类故障的方法是非常繁琐的。

检修一台仪表,首先要了解仪表的工作原理,以便对各种复杂的故障现象进行理论分析。其次应有正确的逻辑推理能力,在理论分析的基础上,按客观规律有步骤地、有效地寻找故障点。第三要有一套实际的检修经验。下面予以原则说明。

5.1.1 了解故障现象及原因

对于要求检修的仪表,首先要了解故障发生的现象,根据现象来分析产生该故障有哪些原因,需要用什么方法进行检查。拆开仪表后,应先对仪表进行仔细地观察,有些故障,通过观察就能发现是断线、脱焊、元器件烧坏等。若无这些明显的故障时,再进行预定的检修。

未找到故障点时,切勿忙于变动仪表内部早已整定好的参数。若确有必要调整时,应先作好标记,以便复原,一旦变动后,必须进行重新校验。

分析故障原因时,需要运用有关的基础知识,根据已知的现象进行必要的分析,多分析几种可能性,多问几个“为什么”以及参照原理图进行必要的逻辑推理。

5.1.2 有针对性的测试,确定故障点

分析几种“可能”后,再对判断的“可能故障点”进行必要的测试。

通过测试能验证判断的正确与否。一旦几种“可能”都被否定后,尤要冷静,并再进行反复分析和有针对性的测试有关电路各点电压、电流或波形。绝不要草率动用烙铁把元件烫下来,以免损坏元件和印刷电路板等。若必须烫下某元件时,应在检查之后马上复位,以免事后出现焊错接头等现象。

上述两步往往需要反复交叉进行,直至找到真正的故障原因为止。

5.1.3 排除故障

更换元件时,注意元件的规格,焊接前要对元件进行测试,确认无误后才能焊上。焊接点应无虚焊、元件排列整齐、清除焊剂、灰尘、旋紧螺丝及装好外壳等工作。

5.1.4 校验

检修后的仪表必须进行校验(具体方法参照说明书进行),通过校验把各电位器转在整定位置,使仪表处于正常备用状态。

5.2 寻找故障的几种方法

5.2.1 观察法

对仪表的外部旋钮、表头指针及内部的每一个元件、部件进行仔细观察，往往可以发现一些明显的故障。例如脱焊、元件烧损、漏气等。但这些现象并不一定是故障发生的真正原因，有可能在更换了新的元件后，该元件又被损坏，针对这些现象，多问几个“为什么?”。排除故障后，再给仪表通电或通气调试，并注意观察，如有异常及时断电或停气。

5.2.2 测试法

分析出故障产生的几种可能性之后，用测试仪表进行针对性测试，如检查有关元件两端、电路某两点之间的电压、波形或气压，也可逐级逐点测试。一般不采取烫开元件方法测量电流。其中，三极管的集电极、基极、与方框图输入及输出信号相对应的电路输入、输出端，都是经常测试的部位。在测试元件的通断或阻值时，由于印刷板上有其它元件与之并联，往往要求烫开一端后进行测试。

5.2.3 分割法

对于线路复杂的仪表，往往根据方框图把线路分成若干部分，然后按故障现象和基本原理，首先确定正常部分，找出故障部分并缩小待查部分，以便集中力量，重点解决。如某仪表无输出电流，可以先检查各级电源电压是否正常，然后检查电路中跟方框图相对应的各级输入信号与输出信号，通常可以找出异常部分。

5.2.4 信号寻迹法

这种方法是在输入端加入一个正常信号，并使这个外加信号由小变大，再用示波器由前至后(或由后至前)逐级观察波形及幅值的变化。这种方法检查多级放大器的故障特别有效。

5.2.5 替代法

这是用正常的、相同的元部件去替代所怀疑的部分，如果替代后故障消失，说明所替代的元部件就是发生故障的部分。

5.2.6 比较法

有实践经验的管理人员，都了解仪表中有关各点的正常值。检修时将所测数据与正常数据比较，能很快地找出故障。若不了解仪表各点的正常值，可用待修表与正常表进行比较，找出相异的地方，再进行深入的分析。

为了做好检修工作，要求平时多积累资料，多观察现象，除了解各点正常值外，应对仪表中某些元件的亮度、温度、声音等做到心中有数，这点非常重要。

总之，对于具体问题必须作具体的分析，以上方法不是唯一完善的，要在实际工作中不断摸索、总结、提高。

6 自动化仪表的日常维护管理

维护管理的目的是使仪表能长期的正常工作，并符合规定的技术特性。通常包括：

1)定期观察仪表的工作状态，出现故障后应及时修复。

2)定期检修仪表，使之符合规定的技术特性。使用备用仪表时，要进行校验，在确认无误后才允许用于生产现场。

3)按时更换记录纸、墨汁及规定的易损件等。

4)保持仪表内、外部清洁。若空气湿度大时，应更换防潮剂和检查密封件是否完好等等。

第2章 传 感 器

1 概 述

在机舱自动化和其它领域，传感器的应用是极其广泛的。传感器是实现测试与自动控制的首要环节。如果没有传感器对原始信息进行准确可靠的捕获与转换，那么可想而知，一切准确的测试与控制将无法实现。机舱自动化主要依靠各种传感器来监视和控制动力装置运行过程中的各个参数，使设备和系统正常运行。

传感器在现代科学技术中的重要作用已为人们充分认识，对传感器的研究将进入一个崭新的阶段。

传感器(Transducer 或 Sensor)又称换能器、变换器。广义的说法，传感器是将被测的某一物理量(或信号)，按一定规律转换为与其对应的另一种(或同种)物理量(或信号)输出的装置。目前对传感器的定义，普遍的认识仍局限于非电物理量与电量的转换。有时还把测试系统中的传感器部分称为一次仪表，而把其余部分称为二次仪表。作为一次仪表的传感器通常由敏感元件(如弹性元件)和转换元件(如压电晶体、热电偶等)组成。前者把被测非电量预先变换为另一种易于变换成电量的非电量，后者将感受到的非电量直接转换为电量的器件。应该指出，并不是所有的传感器都包括有敏感元件和转换元件。如热敏电阻、光电器件等。

传感器的分类方法较多。按被测物理量(即用途)分类，机舱自动化常用的有：温度、压力、液位、转速、流量、燃油粘度、水中含油量、水中含盐量、二氧化碳含量、氧含量和转矩等。按工作原理分类有：应变式、压电式、电容式、涡流式和差动变压器式等。按能量的传递方式分类有：有源传感器和无源传感器。前者是一种能量变换器，它将非电能量转换成电能量，如压电式、电动式、电磁式、热电偶、光电式、磁致伸缩式、静电式和电化学式等。后者本身并不是一个换能器，被测非电量仅对传感器中的能量起控制或调制作用。所以，它必须具有辅助能源，如电阻式、电容式、电感式、热敏电阻式、光敏电阻式、磁敏电阻式、湿敏电阻式和放射性吸收式等。按所用辅助能源分类有：机械式、气动式和电动式三种。下面介绍机舱自动化中常用的传感器。

2 温度传感器

2.1 概 述

在船舶动力装置运行过程中，温度是随时需要监视和控制的主要参数之一。通常占机舱监视参数的50%左右。因此，温度传感器的性能和正确使用维护管理尤为重要。

自然界的许多物质，其物理性质如长度、容积、电导率、热电势和辐射能等都与温度有关。因此，可以利用物质的这些性质制造出各种类型的检测温度的传感器。如利用金属热膨胀与温度的关系；利用金属或半导体电阻与温度的关系等。表 9.2.2-1 示出温度传感器的原理和特

性。表 9.2.2—2 示出各种温度传感器的检测范围。

表 9.2.2 1 **温度传感器的原理和特性**

检测方式	检测原理		传感器名称	精度等级	线性	响应
接触式	体积或压力变化	固体热膨胀	双金属	1～2.5	中	迟
		气体热膨胀	压力式	1～2.5	差	一般
		液体热膨胀	压力式	1～2.5	中	一般
	电阻变化	金属热电阻	铂、铜热电阻	0.5～3	好	一般
			镍铁热电阻	0.5～3	中	一般
		半导体热敏电阻	锗、碳、金属氧化物等	1～3	差	快
	热电势变化	金属热电偶	铜—康铜、镍铬—镍硅	1	好	快
			铂铑—铂、铂铑—铂铑	0.5	好	快
		难熔金属热电偶	钨—铼、钨—钼			
		非金属热电偶	碳化物—硼化物			
非接触式	辐射测温	辐射法	辐射式	1.5	差	快
		比色法	比色式	1～1.5	差	快

表 9.2.2 2 **各种温度传感器的检测范围**

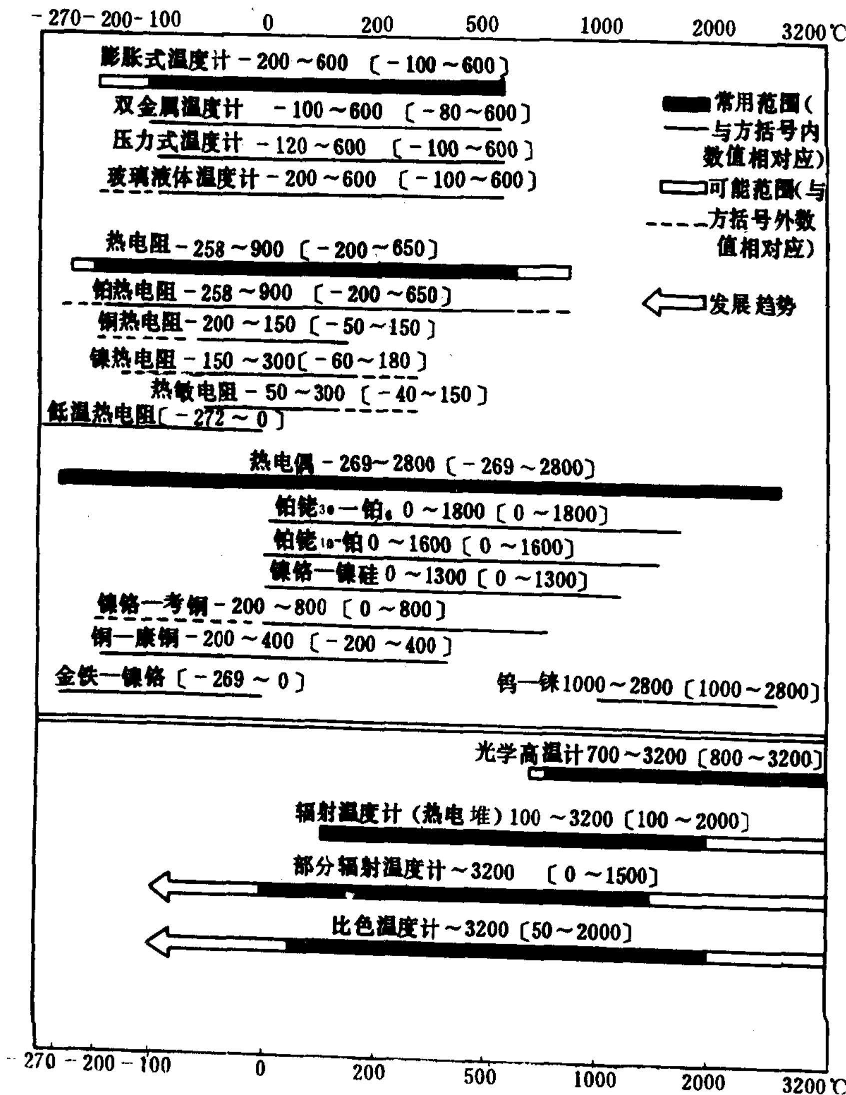


图9.2.2—1　热电偶的工作原理

2.2　热　电　偶

2.2.1　工作原理

热电偶是利用热电效应原理制成的。它由两种不同材料的导体A和B组成一个封闭回路，如图9.2.2—1所示。如果两端结点温度不同，则回路中产生某一确定的热电势，其值与两种导体材料性质及结点温度有关。其中，A和B两端连接在一起的一端称为测量端t，并置于温度为t的被测介质中；另一端称为参比端或冷端t_0，并置于恒定的温度t_0中。

当热电偶的两端（测量端与参比端）存在温差时，其热电势是两端温度函数之差

$$E_t = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0)$$

式中：　E_t——热电偶的热电势；

$e_{AB}(t)$——温度为t时的热电势；

$e_{AB}(t_0)$——温度为t_0时的热电势。

若参比端的温度恒定时，热电势仅与温度呈单值函数关系。

若热电偶采用相同的两种导体材料，而两端温度不同时；若热电偶两结点温度相同，而两种导体材料不同时，则回路中的总热电势仍然为零。

热电势的大小只与材料和结点温度有关，与热电偶的尺寸、形状及沿热电极的温度分布无关。

在热电偶回路中，若接入第三种材料的导线，只要第三种导线的两端温度相同，则第三种导线的引入不影响热电偶的热电势，即$E_{ABC}(t、t_0) = E_{AB}(t、t_0)$。该性质称为中间导体定律。基于这个性质，才允许在热电偶回路中引进各种测量仪表和连接导线。

2.2.2　分类与特性

按照热电偶的材料分有：

廉金属——铁－康铜、铜－康铜、镍铬－考铜、镍铬－镍硅等；

贵金属——铂铑－铂、铂铑－铂铑以及铂铑系、铱铑系等；

难熔金属——钨铼系、钨钼系、铌钛系等；

非金属——二碳化钨－二碳化钼、石墨－碳化物等。

按照用途和结构分有：普通工业用热电偶－直形、角形、锥形，其中还包括无固定装置、螺纹固定装置和法兰固定装

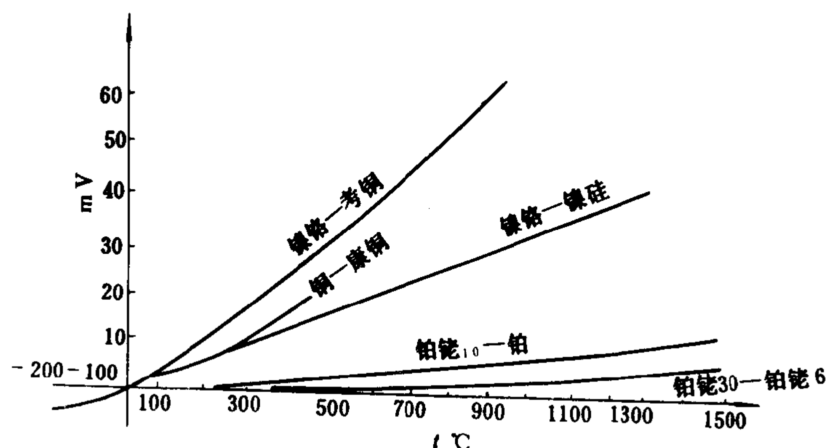


图9.2.2—2　热电势与温度关系曲线

置；专用热电偶－多点式热电偶、微型热电偶、薄膜热电偶、表面热电偶和浸入式热电偶等。

热电势与温度的关系特性

当热电偶的参比温度为0℃时，其热电势与测量端的温度关系是单值函数，通常用下式表示

$$E_t = a + bt + ct^2 + dt^3 + \cdots\cdots$$

式中：　E_t ——测量端温度为t时的热电势mV；

a、b、c、d ——分度常数；

t ——测量端的温度℃。

图9.2.2－2示出各种热电偶的热电势与温度的关系曲线。

下面介绍热电偶的基本技术特性。

热电偶热电势的允许偏差

热电偶类别	型号	分度号	热电势允许偏差		附　注
铂铑$_{30}$－铂铑$_{6}$	WRLL	LL—2	0～600℃ ±3℃	＞600℃ ±0.5％t	式中：t为感温元件实测温度值（℃）
铂铑$_{10}$－铂	WRLB	LB—3	0～600℃ ±2.4℃	＞600℃ ±0.4％t	
镍铬－镍硅	WREU	EU—2	0～400℃ ±4℃	＞400℃ ±1％t	
镍铬－考铜	WREA	EA—2	0～400℃ ±4℃	＞400℃ ±1％t	

热电偶时间常数：通常在10s～4min范围内。

热电偶最小插入深度：通常不小于保护套管外径的8～10倍。

热电偶的绝缘电阻：在常温、常湿的条件下，热电偶的热电极与保护管之间以及双支热电偶之间的绝缘电阻，应不小于5MΩ；热电偶工作在600～1000℃时，其每米的绝缘电阻为(70～5)×10^3Ω。

2.2.3 常用热电偶

表9.2.2－3示出常用热电偶的材料成分、特点和用途。

表9.2.2－3　**常用热电偶的材料成分、特点和用途**

名　称	材料成分		特　　点	用　　途
	正极＋	负极－		
铂铑$_{10}$－铂	铂　铑 Pt90％＋ Rh10％	纯铂	1. 测量精度高、稳定性好、多用于精密测量和作为标准热电偶，特性近线性 2. 抗氧化性能好 3. 在还原性介质工作易遭损坏；热电势小；平均灵敏度为0.009mV/℃左右	1. 经挑选、分度后可作标准热电偶 2. 适用0～1600℃高温测量

续上表

名 称	材料成分		特 点	用 途
	正极＋	负极－		
镍铬—镍硅	镍铬 Ni89%＋Cr10%＋Fe1%	镍硅 Ni97%＋Si2.5%＋Mn0.5%	1. 高温抗氧化性好，热电势稳定且灵敏度高，平均灵敏度为 0.04mV/℃左右，特性近线性 2. 测量范围为 0～1300℃ 3. 在含硫介质中工作易脆断	1. 可代替一部分铂铑$_{10}$—铂热电偶 2. 适用于 0～1300℃的温度测量
镍铬—考铜	镍铬 Ni90%＋Cr10%	考铜 Cu56%＋Ni44%	1. 热电势大、灵敏度高，且平均灵敏度为 0.078mV/℃，特性近线性 2. 适用于还原性和中性介质工作 3. 能向低温区延伸到－200℃ 4. 价格低	1. 适用于－200～＋800℃范围内 2. 因为热电势大，可配简易仪表 3. 经低温分度后，可用于低温
铜—康铜	纯铜（在 0℃以下变为负极）	康铜 Cu60%＋Ni40%（在 0℃以下变为正极）	1. 稳定性和均匀性好 2. 铜容易提纯且价格低 3. 铜易氧化	1. 适用于－200～＋300℃范围内 2. 经挑选分度后，可作为标准热电偶

表 9.2.2—4～9.2.2—7 示出 WRLL、WRLB、WREU 和 WREA 型热电偶分度特性表。

WRLL 型热电偶分度特性表

表 9.2.2—4　　分度号 LL—2：热电偶参比端温度为 0℃

测量端温度(℃)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	热电动势 (mV)									
0	0.000	－0.001	－0.002	－0.002	0.000	0.003	0.007	0.012	0.018	0.025
100	0.034	0.043	0.054	0.065	0.078	0.092	0.107	0.123	0.141	0.159
200	0.178	0.199	0.220	0.243	0.267	0.291	0.317	0.344	0.372	0.401
300	0.431	0.462	0.494	0.527	0.561	0.596	0.632	0.670	0.708	0.747
400	0.787	0.828	0.870	0.913	0.957	1.002	1.048	1.096	1.143	1.192
500	1.242	1.293	1.345	1.397	1.451	1.505	1.560	1.617	1.674	1.732
600	1.791	1.851	1.912	1.973	2.036	2.099	2.164	2.229	2.295	2.362
700	2.429	2.498	2.567	2.638	2.709	2.781	2.853	2.927	3.001	3.076
800	3.152	3.229	3.307	3.385	3.464	3.544	3.624	3.706	3.788	3.871
900	3.955	4.039	4.124	4.211	4.297	4.385	4.473	4.562	4.651	4.741
1000	4.832	4.924	5.016	5.109	5.203	5.297	5.393	5.488	5.585	5.683
1100	5.780	5.879	5.978	6.078	6.178	6.279	6.380	6.482	6.585	6.688
1200	6.792	6.896	7.001	7.106	7.212	7.319	7.426	7.533	7.641	7.749
1300	7.858	7.967	8.076	8.186	8.297	8.408	8.519	8.630	8.742	8.854
1400	8.967	9.080	9.193	9.307	9.420	9.534	9.649	9.763	9.878	9.993

续上表

测量端温度(℃)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	热电动势 (mV)									
1500	10.108	10.224	10.339	10.455	10.571	10.687	10.803	10.919	11.035	11.151
1600	11.268	11.384	11.501	11.617	11.734	11.850	11.966	12.083	12.199	12.315
1700	12.431	12.547	12.663	12.778	12.894	13.009	12.124	13.239	13.354	13.468
1800	13.582									

WRLB 型热电偶分度特性表

表 9.2.2—5　　分度号 LB—3;热电偶参比端温度为 0℃

测量端温度(℃)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	热电动势 (mV)									
0	0.000	0.056	0.113	0.173	0.235	0.299	0.364	0.431	0.500	0.571
100	0.643	0.717	0.792	0.869	0.946	1.025	1.106	1.187	1.269	1.352
200	1.436	1.521	1.607	1.693	1.780	1.867	1.955	2.044	2.134	2.224
300	2.315	2.407	2.498	2.591	2.684	2.777	2.871	2.965	3.060	3.155
400	3.250	3.346	3.441	3.538	3.634	3.731	3.828	3.925	4.023	4.121
500	4.220	4.318	4.418	4.517	4.617	4.717	4.817	4.918	5.019	5.121
600	5.222	5.324	5.427	5.530	5.633	5.735	5.839	5.943	6.046	6.151
700	6.256	6.361	6.466	6.572	6.677	6.784	6.891	6.999	7.105	7.213
800	7.322	7.430	7.539	7.648	7.757	7.867	7.978	8.088	8.199	8.310
900	8.421	8.534	8.646	8.758	8.871	8.985	9.098	9.212	9.326	9.441
1000	9.556	9.671	9.787	9.902	10.019	10.136	10.252	10.370	10.488	10.605
1100	10.723	10.842	10.961	11.080	11.198	11.317	11.437	11.556	11.676	11.795
1200	11.915	12.035	12.155	12.275	12.395	12.515	12.636	12.756	12.875	12.996
1300	13.116	13.236	13.356	13.475	13.595	13.715	13.835	13.955	14.074	14.193
1400	14.313	14.433	14.552	14.671	14.790	14.910	15.029	15.148	15.266	15.385
1500	15.504	15.623	15.742	15.860	15.979	16.097	16.216	16.334	16.451	16.569
1600	16.688									

WREU 型热电偶分度特性表

表 9.2.2—6　　分度号 EU—2;热电偶参比端温度为 0℃

测量端温度(℃)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	热电动势 (mV)									
−0	−0.0[illegible]	−0.39	−0.77	−1.14	−1.50	−1.86				
0	0.00	0.40	0.80	1.20	1.61	2.02	2.43	2.85	3.26	3.68
100	4.10	4.51	4.92	5.33	5.73	6.13	6.53	6.93	7.33	7.73
200	8.13	8.53	8.93	9.34	9.74	10.15	10.56	10.97	11.38	11.80
300	12.21	12.62	13.04	13.45	13.87	14.30	14.72	15.14	15.56	15.99
400	16.40	16.83	17.25	17.67	18.09	18.51	18.94	19.37	19.79	20.22

续上表

测量端温度(℃)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	热电动势 (mV)									
500	20.65	21.08	21.50	21.93	22.35	22.78	23.21	23.63	24.05	24.48
600	24.90	25.32	25.75	26.18	26.60	27.03	27.45	27.87	28.29	28.71
700	29.13	29.55	29.97	30.39	30.81	31.22	31.64	32.06	32.46	32.87
800	33.29	33.69	34.10	34.51	34.91	35.32	35.72	36.13	36.53	36.93
900	37.33	37.73	38.13	38.53	38.93	39.32	39.72	40.10	40.49	40.88
1000	41.27	41.66	42.04	42.43	42.83	43.21	43.59	43.97	44.34	44.72
1100	45.10	45.48	45.85	46.23	46.60	46.97	47.34	47.71	48.08	48.44
1200	48.81	49.17	49.53	49.89	50.25	50.61	50.96	51.32	51.67	52.02
1300	52.37									

WREA 型热电偶分度特性表

表 9.2.2—7　　分度号 EA—2;热电偶参比端温度为 0℃

测量端温度(℃)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	热电动势 (mV)									
−0	−0.00	−0.64	−1.27	−1.89	−2.50	−3.11				
0	0.00	0.65	1.31	1.98	2.66	3.35	4.05	4.76	5.48	6.21
100	6.95	7.69	8.43	9.18	9.93	10.69	11.46	12.24	13.03	13.84
200	14.66	15.48	16.30	17.12	17.95	18.76	19.59	20.42	21.24	22.07
300	22.90	23.74	24.59	25.44	26.30	27.15	28.01	28.88	29.75	30.61
400	31.48	32.34	33.21	34.07	34.94	35.81	36.67	37.54	38.41	39.28
500	40.15	41.02	41.90	42.78	43.67	44.55	45.44	46.33	47.22	48.11
600	49.01	49.89	50.76	51.64	52.51	53.39	54.26	55.12	56.00	56.87
700	57.74	58.57	59.47	60.33	61.20	62.06	62.92	63.78	64.64	65.50
800	66.36									

2.2.4 特殊热电偶

表 9.2.2—8 示出特殊热电偶的特点和用途。

表 9.2.2—8　　**特殊热电偶的特点和用途**

名称	特点与用途
铠装热电偶	1. 它是 60 年代出现的新型热电偶，由金属套管、陶瓷绝缘材料和热电极组合加工制成的； 2. 外径尺寸可以做得很小(最小为 0.2mm)，因此时间常数小，反应速度快； 3. 具有良好的机械性能，耐振和抗冲击； 4. 可挠性好，适用于复杂结构装置的要求； 5. 不易受有害介质的腐蚀、寿命长； 6. 广泛用于工业和科学研究中的温度测量

续上表

名称	特点与用途
薄膜热电偶	1. 通常用真空蒸镀(或化学涂层、电泳等)将热电偶的材料沉积在绝缘基板上而制成的； 2. 热容量小、反应速度快、时间常数小(可达到微秒级)； 3. 测量端既小又薄，厚度可达 0.01～0.1μm； 4. 按测量端外形结构可分：片状热电偶和针状热电偶； 5. 广泛用于测量各种表面(如轴承、轧辊、汽轮机叶片等)温度
采样热电偶	它一般由两支热电偶组成，其中一支作温度指示，另一支作控制信号用，多用于控制系统

2.2.5 补偿导线

补偿导线是用来把热电偶的参比端延伸到远离热源及环境温度较恒定的场所，并与显示仪表相连接的一种导线。它不能消除参比端不为 0℃的影响。为此，要求在 100℃范围内补偿导线的热电特性与所配热电偶的热电特性相一致，且价格又便宜的一种导线，如表 9.2.2—9 所示。

表 9.2.2—9　　**常用热电偶的补偿导线**

名　称	补偿导线				测量端为 100℃，参比端为 0℃时的标准热电势 mV
	正　极		负　极		
	材料	颜色	材料	颜色	
铂铑$_{10}$—铂	铜	红	镍铜	绿	0.64±0.03
镍铬—镍硅	铜	红	康铜	蓝	4.10±0.15
镍铬—考铜	镍铬	红	考铜	黄	6.95±0.30
铜—康铜	铜	红	康铜	白	4.10±0.15
钨铼$_5$—钨铼$_{20}$	铜	红	铜 1.7%～1.8%镍	蓝	1.337±0.045

2.2.6 热电偶参比端温度补偿

热电偶的输出热电势是热电偶两结点温度的函数差。为了保持输出热电势是被测温度的单一函数，要求保持一个结点温度恒定。在制作热电偶或检定热电偶时，参比端维持在 0℃，而使用时，因环境和现场条件所限，参比端难以维持 0℃，故对热电偶参比端温度进行某些必要的修正。表 9.2.2—10 示出常用的几种补偿方法。表 9.2.2—11 示出几种常用的参比端温度补偿器。

表 9.2.2—10　　**常用的参比端温度补偿方法**

补偿方法	基　本　原　理	简　　图
参比端温度校正法	因热电偶的标度是在参比端为 0℃时确定的。故使用时，应按参比端恒定为 t_0℃时进行修正，其修正式为 $E(t,0)=E(t,t_0)+E(t_0,0)$	

续上表

补偿方法	基本原理	简图
采用补偿热电偶	它是把与工作热电偶热电特性一致的补偿热电偶同相串联起来。这时把补偿热电偶的工作端置于温度恒定的 t_0 处，若 $t_0=0℃$，可全补偿；若 $t_0\neq0℃$时，可用上述修正法修正。它多用于多点温度监测	mV；A +；B −；t_n；t；t_0；B −；A +
电位补偿法	它是在热电偶回路中串联一个自动补偿电势，如图所示。W 为工作热电偶，冷端放在补偿器 K 中，R_t 为正温度系数热敏电阻。当冷端温度为恒定 t_n，且 $t_n\neq0℃$时，由 A 点供给热电偶回路一个不变的修正电势 $E(t_n,0)$。这时 A 点电位随参比端温度 t_n 变化，达到补偿热电偶热电势的变化	+U；R_1；R_2；K；V_A；A；铜；R_3；R_t；t_n；t；W；铜；$E(t,t_0)$
电桥补偿法	它是用不平衡电桥输出补偿电势方法，如图所示。用这个补偿电势(电压)串联在测量回路并补偿温度变化带来的误差。国产参比端温度补偿器就是用电桥补偿法设计的	R_t；R_0；R_1；R_3；R_2；E；直流 4 V

表 9.2.2—11　**常用参比端温度补偿器**

型　号	配用热电偶	电桥平衡温度 ℃	补偿范围 ℃	电源 V	内阻 Ω	消耗	补偿误差 mV
WBC—01	铂铑—铂	20	0～50	～220	1	<8W	±0.045
WBC—02	镍铬—镍硅 镍铬—镍铝						±0.16
WBC—03	镍铬—考铜						±0.18
WBC—57—LB	铂铑—铂	20	0～40	4	1	4～60mA	±(0.015×0.0015t)
WBC—57—EU	镍铬—镍硅 镍铬—镍铝						±(0.04×0.004t)
WBC—57—EA	镍铬—考铜						±(0.065×0.0065t)

2.2.7 热电偶的选择与安装方式

热电偶能在氧化性介质中稳定的工作。根据测量范围和对象，选择热电偶及热电偶保护套管材料的规格，并确定合适的冷端温度补偿方法。

热电偶的安装地点，应避免装在炉门旁边或有强磁场之处。热电偶的安装位置应尽可能保持垂直（图 9.2.2—3a)），防止保护管在高温下产生变形。在有流速的介质中，必须倾斜安装（图 9.2.2—3b)），如有可能最好安装在管道的弯曲处（图 9.2.2—3c)）。热电偶的测量端应位于被测流体的中部，且面对被测流体的流动方向。倘若不能达到上述要求，水平安装时，应装有用耐火粘土或耐热金属制成的支架，予以支撑（图 9.2.2—3d)）。

测量表面温度的热电偶，必须使感温元件部分与被测物体紧密地接触，且应保持被测表面的净洁。

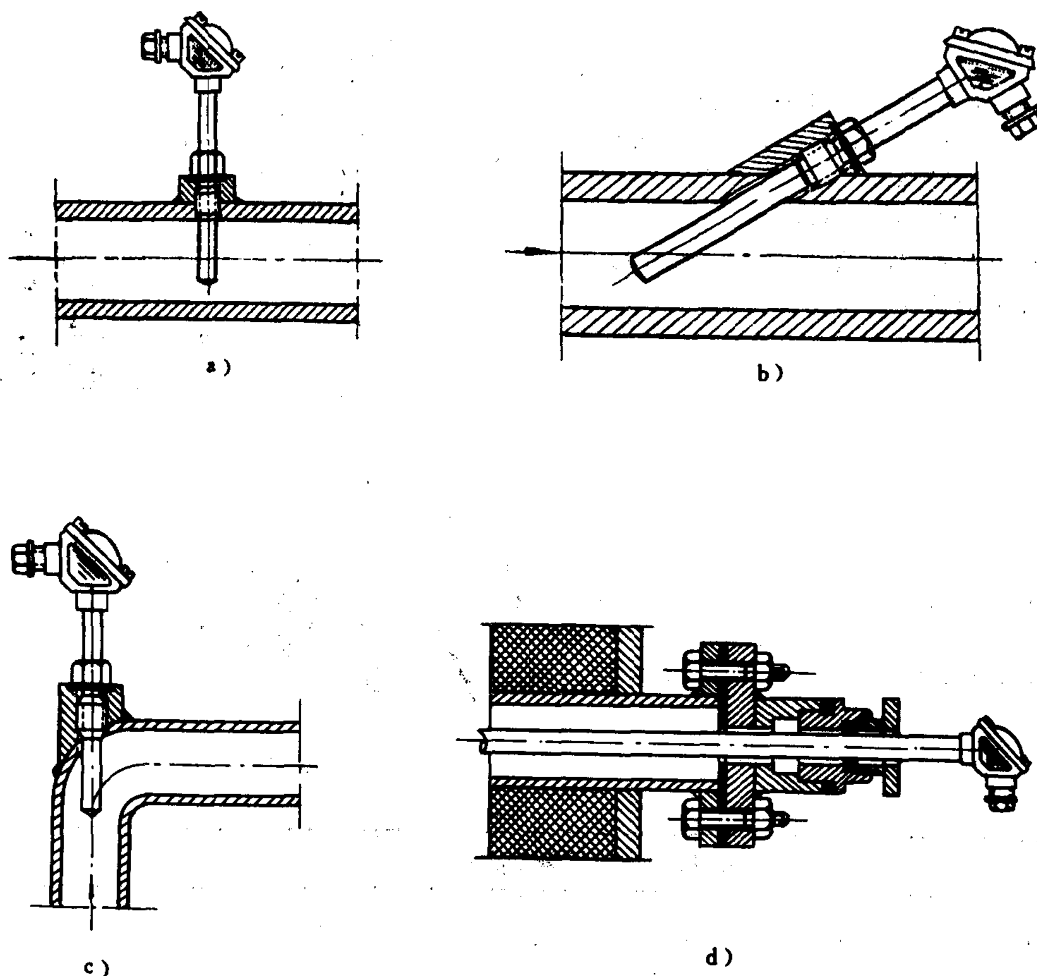


图 9.2.2—3 热电偶的安装位置

a)垂直管道轴线的安装法；b)倾斜管道轴线的安装法；c)在弯曲管道上的安装法；d)锅炉烟道中的密封安装法

2.2.8 热电偶的故障分析

序号	故障现象	原　　因	排除方法
1	热电势比实际的小（测量值偏低）	1. 热电偶内部电极漏电（短路） 2. 热电偶内部潮湿 3. 补偿导线短路 4. 补偿导线与热电偶配置有误 5. 补偿导线与热电极的极性接反 6. 热电偶安装位置或受热长度不当	1. 取出热电极，检查漏电原因并排除 2. 烘干或更换保护套管 3. 将短路处重新绝缘或更换 4. 重新选择补偿导线 5. 重新改接 6. 改变安装位置或方法以及插入深度
2	测量仪表的示值不稳定（仪表本身正常）	1. 热电偶接线柱和热电极接触不良 2. 热电偶有断续短路或断续接地现象 3. 热电极似断非断	1. 清洁并重新接好 2. 取出热电极，找出断续短路或接地点并排除 3. 重新焊接并检查特性
3	热电势比实际的大（测量仪表示值偏高）	1. 热电偶种类用错，与测量仪表不符 2. 补偿导线与热电偶种类不符 3. 热电偶安装方法、位置或插入深度不当	1. 更换热电偶及补偿导线，使之与测量仪表相符 2. 换成与热电偶种类相符的补偿导线 3. 改变热电偶安装方法、位置或插入深度

2.3 热　电　阻

2.3.1 概述

热电阻温度传感器是利用某些金属导体或半导体的电阻值与温度呈某一确定函数性质制成的。图 9.2.2—4 示出的感温元件是以直径为 0.05mm 的纯铂丝，绕在锯齿形的云母骨架上，并用直径为 0.5mm 的银丝为引出线与显示仪表连接。

按感温元件的材料分有金属导体和半导体两大类。前者有铂、铜、镍；后者有锗、碳和热敏电阻。

按用途分有普通工业用和专用热电阻。

图 9.2.2—5 示出常用热电阻的电阻与温度的关系。

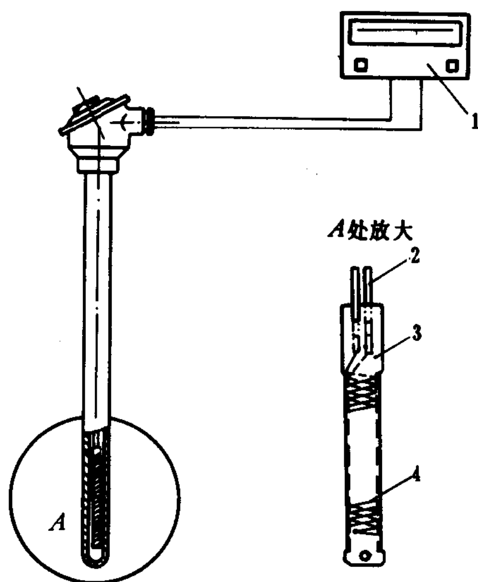


图 9.2.2—4　铂热电阻的作用原理

1—显示仪表；2—引出线；3—云母骨架；4—铂丝

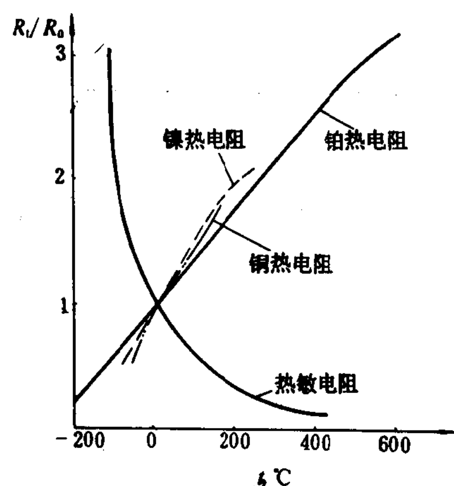


图 9.2.2—5　热电阻的电阻与温度关系曲线

2.3.2 热电阻的特性

常用热电阻的基本技术特性如下：

热电阻的精度等级：WZB 型为Ⅱ级；WZG 型为Ⅲ级。

热电阻感温元件在 0℃时的电阻值 R_0 及其与在 100℃时的电阻 R_{100} 之比值 $\frac{R_{100}}{R_0}$：

分度号 BA_1　　$R_0=46\pm0.046\Omega$，$\frac{R_{100}}{R_0}=1.391\pm0.001$　}Ⅱ级

分度号 BA_2　　$R_0=100\pm0.1\Omega$，$\frac{R_{100}}{R_0}=1.391\pm0.001$　}Ⅱ级

分度号 G　　$R_0=53\pm0.053\Omega$，$\frac{R_{100}}{R_0}=1.425\pm0.002$　}Ⅲ级

热电阻感温元件的电阻与温度的关系 $R=f(t)$，对于所给定分度表的允许偏差 Δt，应不超过下表公式计算值：

热电阻类别	精度等级	温度间隔℃	允许偏差 Δt(℃)	附　注
WZB 型铂热电阻	Ⅱ级	0～+500 −200～0	$\pm(0.30+4.5\times10^{-3}t)$ $\pm(0.30+6.0\times10^{-3}t)$	式中：t 为感温元件的实测温度值(℃)
WZG 型铜热电阻	Ⅲ级	−50～+100	$\pm(0.30+6.0\times10^{-3}t)$	

允许电流：通过热电阻的测量电流，最大不超过 5mA。

时间常数：通常在 10s～4min 之间。

最小插入深度：通常不小于保护套管外径的 8～10 倍。

绝缘电阻：在常温、常湿条件下，热电阻感温元件与保护管之间以及双支感温元件之间的绝缘电阻，不小于 20MΩ。

表 9.2.2−12 示出铂和铜电阻的特性。表 9.2.2−13～9.2.2−15 示出铂和铜电阻的分度简表。

表 9.2.2−12　　**常用热电阻的特性**

名称	特　　性
铂热电阻	1. 物理化学性质极为稳定、复现性好、精度高，且可用于还原性介质 2. 铂热电阻的特性公式，在−200～0℃范围内 $R_t=R_0[(1+At+Bt^2+Ct^3(t-100)]$ 在 0～650℃范围内 $R_t=R_0(1+At+Bt^2)$ 式中：R_0——0℃时的电阻值；B——常数($-5.847\times10^{-7}1/℃^2$)； R_t——t℃时的电阻值；C——常数($-4.22\times10^{-12}1/℃^4$)； A——常数($3.96847\times10^{-3}1/℃$)。 3. 因 R_0 为 46Ω 和 100Ω 两种，所以有两种 R_t～t 分度表

续上表

名称	特性
铜热电阻	1. 除具有铂热电阻特性外，电阻温度系数大，灵敏度较高，且价格低 2. 铜的比电阻小，使体积大、热惯性大以及存在易氧化等缺点。 3. 铜的热电阻特性公式 $R_t=R_0(1+At+Bt^2+Ct^3)$ 式中： A——常数($4.28899\times10^{-3}1/℃$)； B——常数($-2.133\times10^{-7}1/℃^2$)； C——常数($1.233\times10^{-9}1/℃^3$)。 4. 因 R_0 为 50Ω 和 100Ω 两种，所以有两种 $R_t\sim t$ 分度表

工业铂热电阻分度表

表 9.2.2—13 $R_0=100\Omega$ 分度号 BA_2

测量端温度℃	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	电阻值(Ω)									
−200	17.28	——	——	——	——	——	——	——	——	——
−100	59.65	55.52	51.38	47.21	43.02	38.80	34.56	30.29	25.98	21.65
−0	100.00	96.03	92.04	88.04	84.03	80.00	75.96	71.91	67.84	66.75
0	100.00	103.96	107.91	111.85	115.78	119.70	123.60	127.49	134.37	135.24
100	139.10	142.95	146.78	150.60	154.41	157.21	162.00	165.38	169.54	173.29
200	177.03	180.76	184.48	188.18	191.88	195.56	199.23	202.89	206.53	210.17
300	213.79	217.40	221.00	224.59	228.17	231.73	235.29	238.83	242.36	245.88
400	249.38	252.38	256.36	259.83	263.29	266.74	270.18	273.60	277.01	280.41
500	283.80									

工业铂热电阻分度表

表 9.2.2—14 $R_0=46\Omega$ 分度号 BA_1

测量端温度℃	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	电阻值(Ω)									
−200	7.95	——	——	——	——	——	——	——	——	——
−100	27.44	25.54	23.63	21.72	19.79	17.85	15.90	13.93	11.95	9.96
−0	46.00	44.11	42.34	40.50	38.65	36.80	34.94	33.08	31.21	29.33
+0	46.00	47.82	49.64	51.45	53.26	55.06	56.86	58.65	60.43	62.21
100	63.99	65.76	67.52	69.28	71.03	72.78	74.52	76.28	77.99	79.71
200	81.42	83.15	84.86	86.56	88.26	89.96	91.64	93.33	95.00	96.68
300	98.34	100.01	101.66	103.31	104.96	106.60	108.23	109.86	111.48	113.10
400	114.72	116.32	117.93	119.52	121.11	122.70	124.28	125.86	127.43	128.99
500	130.55									

工业铜热电阻分度表

表 9.2.2－15　　　　$R_0=50\Omega$　　分度号 C50

$A=4.28899\times10^{-3}/C=B=-2133\times10^{-7}/C$　　$C=1233\times10^{-9}/C$

测量端温度℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	电阻值(Ω)									
−50	39.24	—	—	—	—	—	—	—	—	—
−40	41.40	41.18	40.97	40.75	40.54	40.32	40.10	39.89	39.67	39.46
−30	43.55	43.34	43.12	42.91	42.69	42.48	42.27	42.05	41.83	41.61
−20	45.70	45.59	45.27	45.06	44.84	44.63	44.41	44.20	43.98	43.77
−10	47.85	47.64	47.42	47.21	46.99	46.78	46.56	46.35	46.13	45.92
−0	50.00	49.78	49.57	49.35	49.14	48.92	48.71	48.50	48.28	48.07
0	50.00	50.21	50.43	50.64	50.86	51.07	51.28	51.50	51.71	51.93
10	52.14	52.36	52.57	52.78	53.00	53.21	53.43	53.64	53.36	54.07
20	54.28	54.50	54.71	54.92	55.14	55.34	55.57	55.78	56.00	56.21
30	56.42	56.64	56.85	57.07	57.28	57.49	57.71	57.92	58.14	58.35
40	58.56	58.78	58.99	59.20	59.42	59.63	59.85	60.06	60.27	60.49
50	60.70	60.92	61.13	61.34	61.56	61.77	61.98	62.20	62.41	62.63
60	62.84	63.05	63.27	63.48	63.70	63.91	64.12	64.34	64.55	64.76
70	64.98	65.19	65.41	65.62	65.83	66.05	66.26	66.48	66.69	66.90
80	67.12	67.33	67.54	67.76	67.97	68.19	68.40	68.62	68.83	69.04
90	69.26	69.47	68.68	69.90	70.11	70.33	70.54	70.76	70.97	71.18
100	71.40	71.61	71.83	72.04	72.25	72.47	72.68	72.90	73.11	73.33
110	73.54	73.75	73.97	74.18	74.40	74.61	74.83	75.04	75.26	75.47
120	75.68	75.90	76.11	76.33	76.54	76.76	76.97	77.19	77.40	77.62
130	77.83	78.05	78.26	78.48	78.69	78.91	79.12	79.34	79.55	79.77
140	79.98	80.20	80.41	80.63	80.34	81.06	81.27	81.49	81.79	81.97
150	82.13	—	—	—	—	—	—	—	—	—

2.3.3 半导体热敏电阻

半导体热敏电阻常用来测量－100～300℃范围内的温度。它与金属电阻相比较，有如下特点：

1)负温度系数大，约为 3%～6%，所以灵敏度高；

2)比电阻大，所以结构简单、体积小，可测量点温度；

3)因目前的产品特性存在差异，所以互换性差；

4)电阻与温度的关系特性呈非线性，其特性式为：

$$R_t=Ae^{\frac{B}{T}}$$

式中：A、B——常数。

5)使用时应串联限流电阻，作为保护措施；同时，不能并联使用，因特性的微小差异都能造成电流的不均匀分布，使元件过载。

半导体热敏电阻通常用锰、镍、钴、铜和铁的氧化物作原料烧结成型。多制成珠状、杆状、圆

片状或垫圈状结构。表 9.2.2—16 示出测温用热敏电阻。表 9.2.2—17 示出热敏电阻的用途及线路。

表 9.2.2—16 **温度用热敏电阻**

型　　号	主要用途	标称阻值	额定功率 W	测量功率 mW	时间常数 s
MF_{-11}	温度补偿	10Ω～15kΩ	0.5	0.13	≤60
$MF_{12-0.25}$		1kΩ～1MΩ	0.25	0.04	≤15
$MF_{12-0.5}$		0.1kΩ～1.2MΩ	0.5	0.47	≤35
MF_{12-1}		56Ω～5.6kΩ	1	0.2	≤80
MF_{13}		820Ω～300kΩ	0.25	0.1	≤85
MF_{14}		880Ω～330kΩ	0.5	0.2	≤115
MF_{15}		10kΩ～1000kΩ	0.5	0.1	≤85
MF_{16}		10kΩ～1000kΩ	0.5	0.1	≤115
RRC_2	测温和控温	6.8kΩ～1000kΩ	0.4	0.1	≤20
RRC_5		8.2kΩ～1000kΩ	0.6	0.05	≤20
RRC_{7B}		3kΩ～100kΩ	0.03		≤0.5
RRW_2	稳定振幅	6.8kΩ～500kΩ	0.03		≤0.5

表 9.2.2—17 **热敏电阻的用途及线路**

用　　途	线　　路
温度测量： 它能测量液体、气体、固体、海洋和气象等方面的温度，其范围为－10～300℃。 线路图中：R_t 为热敏电阻；R_2、R_3 为平衡电阻；R 为起始电阻；R_4 为满刻度电阻；R_7～R_9 为分压电阻；R_5、R_6 为 μA 表修正值保护电阻。 精度可达 0.1℃	R_1 R_t $t°$ R_4 R_5 μA R_2 R_6 R_3 R_8 R_9 R_7 测温电路
温度补偿： 因金属电阻一般为正温度系数，所以可用负温度系数的热敏电阻进行温度补偿。	R_t $t°$ 被补偿元件 锰铜丝电阻 仪表温度补偿电路

续上表

用途	线路
	晶体管电路中的温度补偿电路

2.3.4 特殊结构的热电阻

表 9.2.2—18 示出特殊结构热电阻的特点。

表 9.2.2—18 **特殊结构热电阻的特点**

名称	特点
铠装热电阻	1. 它是感温元件与金属管、绝缘材料经组合加工制成的组合体，其寿命长 2. 外径尺寸可以做得很小，且时间常数小，反应快 3. 有良好的机械性能，能任意弯曲成各种形状
轴承测温热电阻	1. 其结构特点为感温元件采用漆包铜线或漆包铂线，双线密绕在云母绝缘的金属骨架上 2. 测温范围为－50～＋150℃，时间常数小于 4s，热电阻直径为∅＝6.8mm
薄片形铂热电阻	1. 其结构特点为用铂丝绕在很薄的云母片骨架上 2. 用于测量物体表面温度，测温范围为 0～500℃，时间常数小于 15s，厚度为 0.5mm

2.3.5 热电阻的选择与安装方式

参阅 2.2.7 热电偶的选择与安装方式。

2.3.6 热电阻的故障分析

序号	故障现象	原因	排除方法
1	仪表指示值比实际值低或示值不稳定	1. 保护套管内有水或接线盒上有金属屑、灰尘 2. 热电阻短路	1. 倒出水并烘干；清除灰尘及金属屑 2. 检查并消除
2	仪表指示值无限大	热电阻断路	检查断路部位并消除若是连接导线断路，应更换
3	仪表指针指向反向标尺下限值	1. 热电阻短路 2. 仪表接线错误	1. 检查短路部位并消除 2. 重新连接导线

2.4 热膨胀式温度传感器

热膨胀式温度传感器是指常用的双金属和压力式两大类型。其中，双金属式温度传感器是利用固体受热膨胀的性质制成的。它由两种不同膨胀系数，彼此牢固结合作为感温元件。压力式温度传感器是利用气体、液体或蒸汽的体积或压力随温度变化的性质制成的。

按双金属式感温元件形状分有：杆形、平螺旋形和直螺旋形三种。

按压力式感温元件温包内充注的物质分有：充气式（如氮气）；充低沸点液体式（如氯甲烷、氯乙烷或丙酮）；充液体式（如二甲苯、甲醇、甘油等）。

双金属感温元件的自由端偏转角度 α，可用下式计算。它是在温度由 t_0 变化到 t 时，无外力作用且另一端是固定的情况下。

$$\alpha = K\frac{(t-t_0)L360}{\pi\delta}$$

式中：K——比弯曲 1/℃；

t ——测温上限值℃；

t_0——测温下限值℃；

L——双金属的有效展开长度 mm；

δ——双金属的厚度 mm。

表 9.2.2—19 给出热膨胀式温度传感器的主要参数。

表 9.2.2—19　　　　**热膨胀式温度传感器的主要参数**

名称 性能及特点	双金属式	压力式		
		充气式	充低沸点液体式	充液体式
测温范围	−80～+600℃	−100～+400℃	−50～+400℃	−40～+600℃
精度等级	1.0、1.5、2.5	1.5、2.5	1.5、2.5	1.0、1.5
时间常数	<30～60s	80s	40s	20s
温包尺寸		大	小	中等
环境温度影响		有(可补偿)	无	有(可补偿)
特点	耐振动、抗冲击、结构简单、使用方便、容易维修	在温度超过 180℃时，压力与温度呈非线性关系	饱和蒸汽压力与温度呈非线性关系	液体的体膨胀使弹簧管的位移与温度呈线性关系
用途	适用于测量对双金属无腐蚀作用的气体、液体等介质的温度	适用于测量对温包无腐蚀作用的液体、蒸汽和气体等介质的温度	同充气式	同充气式
材料	高膨胀侧：Cu—Zn，Ni—Mn—Fe，Mn—Ni—Cu 等合金 低膨胀侧：Ni—Fe 合金	温包和毛细管用黄铜、紫铜、不锈钢	同充气式	同充气式

3 压力传感器

3.1 概　　述

在动力装置运行过程中，压力测量的准确与否直接关系到动力装置的安全运行和操作人员的人身安全，它是一个非常重要的参数。

为了在推行国际单位制的同时，能兼顾习惯用法，表 9.2.2－20 给出各种压力单位的换算关系。

表 9.2.2－20　　**各种压力单位的换算关系**

压力单位	公斤力/厘米² kgf/cm^2	毫米水柱 mmH_2O	毫米水银柱 mmHg	毫　巴 mbar	标准大气压 atm	磅力/英寸² $1bF/in^2$	帕 Pa N/m^2
$1kgf/cm^2$	1	10^4	735.56	980.6	0.9678	1.4224×10	9.806×10^4
$1mmH_2O$	10^4	1	7.356×10^{-2}	9.806×10^{-2}	0.9678×10^{-4}	1.422×10^{-3}	9.806
1mmHg	13.6×10^4	13.6	1	1.333	1.316×10^{-4}	1.934×10^{-2}	133.3
1mbar	0.102×10^{-2}	10.2	0.7501	1	9.87×10^{-4}	1.45×10^{-2}	100
1atm	1.033	1.033×10^4	760	1013	1	1.4696×10	10.13×10^4
$1bF/in^2$	7.031×10^{-2}	7.031×10^2	51.72	0.6895×10^2	6.805	1	0.6895×10^4
1Pa	1.02×10^{-5}	0.102	7.501×10^{-3}	10^{-2}	9.87×10^{-2}	1.4504×10^{-4}	1

压力传感器的作用是把压力信号检测出来并转换成电信号输出。其测量范围为 7×10^{-9}～5×10^4Pa，精度可达到 0.2%。

按作用原理压力传感器分有：电位式、应变式、电感式、电容式、霍尔式、压电式、压阻式和振频式等。表 9.2.2－21 给出各种压力传感器的性能比较。压力传感器多用于远传、监测和控制。

表 9.2.2－22 给出常用弹性元件的技术性能。

表 9.2.2－21　　**常用压力传感器的性能比较**

类别			精度等级	测量范围	输出信号	温度影响	抗振、抗冲击性能	体积	安装维护
电位器式			1.5	低中压	电阻	小	差	大	方便
应变式	粘贴式	膜片式	0.2	中压	20mV	大	好	小	方便
		弹性梁式	0.3	负压及中压	24mV	小	好	较大	方便
		应变筒式	1	中高压	12mV	小	好	小	方便
	非粘贴式	张丝式	0.5	低压	10mV	小	好	小	方便
霍尔式			1.5	低中压	30mV	大	差	大	方便
电感式	自感式		0.5	低中压	200mV	大	较好	小	复杂
	差动变压器式		1	低中压	10mA(30mV)	小	差	大	方便
压电式			0.2	微低压	1～5V	小	较好	小	方便
压阻式			0.2	低中压	100mV	大	好	小	方便
电容式			1	微低压	1～3V (20mA)	大	好	较大	复杂
振频式			0.5	低中高压	频率	大	差	小	复杂

表 9.2.2—22　　**常用弹性元件的技术性能**

名称＼参数＼项目	型号	规格 Pa	圈数(圈)	转角刚度 Pa/(°)	最大转角 (°)	最大线性误差%	管内径 mm
螺旋弹簧管	压力式 LT1	$0\sim1568\times10^4$	$6\frac{3}{4}$	$1.3\times10^4\sim38.3\times10^4$	45	0.6	35

名称＼参数＼项目	型号	外径 mm	内径 mm	最大波数	波纹部分长度 mm	有效面积 cm^2	壁厚 mm
单层黄铜波纹管	H 系列	28～100	18～75	9～16	30.1～51.6	4.15～60.32	0.1～0.20
单层锡磷青铜波纹管	L 系列	10～100	6.2～75	9～16	11.65～51.6	0.52～60.32	0.1～0.2
单层铍青铜波纹管	P 系列	10～51	6.2～35.6	12～16	11.65～50.0	0.52～14.72	0.1～0.14
单层不锈钢波纹管	G 系列	10～100	6.2～75	9～16	11.65～51.6	0.52～60.32	0.1～0.2

名称＼参数＼项目	型号	工作直径 mm	硬芯直径 mm	最大外径 mm	测量范围 mmH_2O	最大工作压力 Pa	最大位移量 mm
膜盒	MOQ3MOQ4	40～68	12～20	60～83	600～20000	627.2×10^4	0.4～1.0
	MOD2	140	56	160	200～600	245×10^4	0.9～1.3
	MOD3～MOD5	40～90	20～95	60～110	600～25000	627.2×10^4	0.4～1.0

名称＼参数＼项目	型号	工作压力	位移 mm	%	外径 mm	工作直径 mm	料厚 mm
金属膜片	MP 系列	0～300mmHg $0\sim343\times10^4$Pa	0.3～1.1	1～1.5	15～64	12～60	0.05～0.18

3.2 电位器式压力传感器

电位器式压力传感器是用弹性元件感受压力。它把被测压力变化转换成弹性元件的位移，经传递放大后推动电位器上的电刷移动，并改变电阻值或电阻值的百分比，最后通过测量电路输出与被测压力相应的电压或电流信号。表 9.2.2—23 给出常用电位器结构原理图、典型测量电路和主要技术性能。

因电位器的电阻丝材质关系到它的精度与寿命，为此对电阻丝提出几点技术要求：电阻率为 $0.4\sim1.3\mu\Omega\cdot m$；电阻的温度系数为 0.002%～0.01%/℃；线径均匀阻值稳定；电阻丝与电刷材料间的接触热电势尽可能小；电阻丝材料的焊接工艺性能好等。

电阻丝常用材料有：康铜合金、镍铬合金、镍铬铁合金、铂铱合金和铂铍合金等。

电位器式压力传感器的维护保养，除随时清洁电位器滑轨外，应防止过载造成电刷脱离滑轨。

表 9.2.2—23 常用电位器结构、电路和性能

结构原理图	a) b) c) d)	1. 除图 a、b 外，传感器的电阻值是有级变化 2. 对于图 a、b，若传感器输出环节的输入电阻与传感器本身电阻相比很大时，输出电阻与输入位移呈线性关系
典型电路	a) b) c) d)	1. 对于图 a(用电流表)和图 b(用电压表，若电压表内阻远远大于传感器电阻时)来说，输出与输入呈线性关系 2. 图 d 为电压表桥形接法，灵敏度比图 b 大一倍；图 c 桥形接法，灵敏度比图 d 大两倍
主要技术性能	可远距离显示，抗冲击和耐振能力较差 电刷触点存在摩擦力，且影响精度 精度：1.5 级 测量范围：$-7452 \sim 0$Pa $0 \sim 5880 \times 10^4$Pa 输出总阻值：为$(300 \sim 1000) \pm 10\%\Omega$	

3.3 电感式压力传感器

电感式压力传感器是用弹性元件感受压力。它把压力变化转换成位移，经电感变换元件把位移转换成线圈的电感(即自感或互感)输出，最后由测量电路输出相应的电压或电流信号，完成压力监视任务。

电感式压力传感器的结构类型较多，常用的有自感式和互感式两大类。

表 9.2.2—24 给出常用电感式压力传感器的原理和主要技术性能

表 9.2.2—24　**电感式压力传感器的原理和性能**

名称	基 本 原 理	主要技术性能
自感式	螺管式： 它是通过弹性元件感受压力变化，经弹性元件位移变化来改变线圈泄漏路径中磁阻的变化，引起线圈电感变化并经测量电路输出一个与被测压力相对应的电信号。它具有灵敏度低，示值范围大，自由行程大，结构简单特点 1—线圈；2—动铁芯 差动螺管式： 它属于差动自感式。基本原理同螺管式，但与螺管式相比，能改善非线性和提高灵敏度 1—线圈；2—动铁芯	精度：0.5 级 测量范围：$5\sim1000\times10^4$Pa 输出灵敏度：30～50mV/Pa 环境温度：－30～＋80℃

名称	基本原理	主要技术性能
互感式	差动变压器式： 它是利用弹性元件的位移变化来改变铁芯位置，使差动变压器的两个次级绕组（绕成对称并反向串联连接）失去平衡，输出一个与被测压力成正比的电压信号。它具有灵敏度高，线性范围大特点 u_1 u_{21} u_{22} u_2	精度：1级 测量范围：0～0.06MPa　0～60MPa 输出信号：0～10mA 负载电阻：0～1.5kΩ 环境温度：－10～＋55℃

3.4　电容式压力传感器

电容式压力传感器用弹性元件感受压力，并把弹性元件的位移量转换成电容量的变化，再输出反映压力变化的电信号。

通常用改变间隙、截面积和电介质三种方式来改变电容量。在结构上有单端式和差动式两种。其中差动式比单端式总电容量的变化大一倍。表 9.2.2—25 给出电容式压力传感器的工作原理和主要技术性能。

电容式压力传感器具有灵敏度高、响应快、抗冲击振动、结构简单等优点。近几年得到广泛的发展，由精密位移测量发展到压力、液位以及成分测量等方面。它在安装使用时，传输导线的电容不能过大，最好采用同轴电缆。

表 9.2.2—25　**电容式压力传感器原理和性能**

名称	原理	主要技术性能
变间隙式	当被测介质压力（或差压）作用于测量膜片（该膜片往往是电容器的动片）并产生位移时，电容器的电容量发生变化，经测量桥路和放大器转换成相应的电信号输出。 1 2 3 4 a) 电极I d_1 d_2 C_1 C_2 b) 电极II a)单端式；b)差动式 图 a)：1—动膜片；2—陶瓷碗；3—定片；4—云母片	测量范围：-19×10^4～0Pa 0～4200×10^4Pa 输出信号：4～20mADC 环境温度：－40～104℃ 精度：包括线性、变差和重复性在内的综合误差为量程的±0.25% 稳定性：六个月内为最高测量范围的±0.25%

续上表

名称	原　　理	主 要 技 术 性 能
变极板面积式	当被测介质压力作用于弹性元件并产生位移时，使电容器的极板面积变化，改变电容量，输出相应电信号 a)单端式；b)差动式	

3.5 霍尔式压力传感器

霍尔压力传感器是用半导体材料的霍尔效应制成的。所谓霍尔效应是将一块半导体元件垂直置于磁场B中(见表9.2.2－26(a))，在垂直于磁场方向的1、2端通以恒定的控制电流，于是在半导体两侧产生一个大小与控制电流和磁场强度乘积成比例的霍尔电势，并由3、4端输出。其现象称为霍尔效应，其半导体元件称为霍尔元件。

霍尔压力传感器用弹簧管感受压力并产生位移，使固定在弹簧管末端的霍尔元件在磁场中移动，即改变磁感应强度，使输出的霍尔电势与被测压力有关。

霍尔元件除检测压力外，还可检测力、液位和速度，常用的霍尔元件有锗、锑化铟和砷化铟等。

霍尔压力传感器除具有非接触、寿命长、灵敏度高等特点外，还存在转换效率低、温度影响大等缺点。表9.2.2－26给出霍尔压力传感器的结构和主要技术性能。

表9.2.2－26　**霍尔压力传感器结构原理和性能**

结 构 原 理	主要技术性能
a)原理图；b)结构原理 1—弹簧管；2—霍尔元件；3—永久磁钢；4—稳压电源	精度：1.5级 测量范围：0～10×10⁴Pa至0～6000×10⁴Pa 环境温度：－10～＋45℃ 输出信号：0～30mVDC

3.6　应变式压力传感器

应变式压力传感器是利用电阻应变原理制成的。当被测介质压力传递到粘贴有电阻应变片(丝式和箔式膜片)或应变筒后,使其产生变形。最后经电阻应变片组成的测量桥路输出相应的电信号。

它具有精度高、体积小、重量轻、测量范围广、固有频率高等优点,同时抗振、抗冲击性能好。表 9.2.2—27 给出应变式压力传感器结构、特点和主要性能。

表 9.2.2—27　**应变式压力传感器结构、特点及性能**

	膜片式	应变筒式
特点及主要技术性能	特点: 1. 灵敏度高、散热条件好,可制成任意形状 2. 箔式组合应变片除具有电阻丝应变片的性能外,还具有通导电流大特性 3. 适用于气体或液体介质的缓慢变化的压力测量 性能: 测量范围:3～35MPa 精度:0.2 输出灵敏度: 环境温度:−10～+50℃	特点: 1. 它可以在压力入口处焊接一个膜片来防腐、耐酸。可测中、高压力 2. 既可在应变筒上粘贴应变片,还可绕精密电阻丝作应变片使用 3. 工作在 180℃以内时,用空气冷却;在 1100℃以内时,用水冷却 4. 抗振性能好 性能: 测量范围:0～500MPa 精度:1.0 输出灵敏度:0.5～1.0mV/V 过载能力:120%
结构简图	1—测量筒体;2—应变片; 3—电桥;4—放大器或显示仪表	应变片

3.7　压阻式压力传感器

压阻式压力传感器就是利用单晶硅材料的压阻效应制成的。单晶硅材料受到力的作用后,

其电阻率发生变化，这种现象称为压阻效应。硅的压阻效应与晶体的取向有关，即电阻率随硅晶体的取向不同而异。

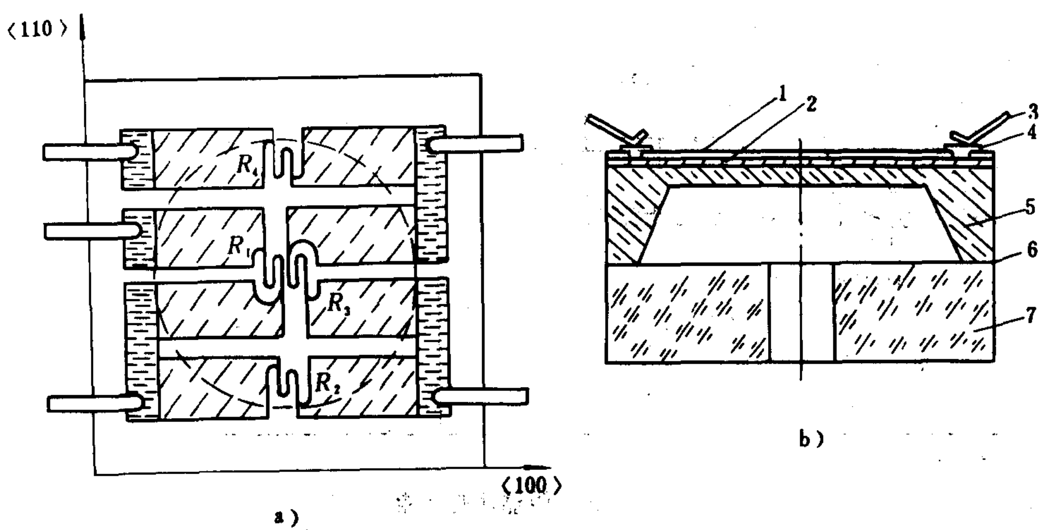


图 9.2.2－6　N 型扩散硅膜片

a)应变电阻分布；b)一种硅膜片外形图

1－二氧化硅；2－应变片；3－金属引线；4－铝电极；5－N 型硅半导体；6－玻璃结合面；7－晶化玻璃

特别是近十几年，由于集成电路技术的发展，扩散硅压阻器件就是一个由四个扩散电阻构成的惠斯登电桥，作为变换元件。在单晶硅膜片上利用集成电路工艺，并在单晶面的特定方向扩散一组等值应变电阻，且接成桥路(图 9.2.2－6 示出 N 型打散硅膜片)。若把单晶硅片置于传感器 腔内，当压力变化时，单晶硅产生应变，破坏桥路的平衡状态，输出与被测压力相对应的电信号。它具有灵敏度高、动态响应快、测量精度高、稳定性好、工作温度范围宽、易于小型化和使用方便等特点。广泛用于国防、石油、机械、航海、生物医学、航空等领域。表 9.2.2－28 给出压阻式压力传感器的结构简图和主要技术性能。表 9.2.2－29 给出常用硅压阻器件的性能。

表 9.2.2－28　**压阻式压力传感器的结构和性能**

结　构　简　图	主要技术性能
1　2　3　4　5 9　8　7　6 D522 型压力传感器 1—膜片；2—绝缘体；3—硅柱； 4—密封圈；5—电缆；6—压紧对； 7—壳体；8—补偿件；9—绝缘块	D522 型压力传感器多用于油管压力测量。 测量范围：0～58.8MPa 总精度：0.3～0.5％FS 灵敏度：≥27mV/V

续上表

结构简图	主要技术性能
DYC型动态压力传感器 1—补偿电阻;2—金丝;3—芯片; 4—硼硅玻璃;5—硅凝胶;6—接线柱; 7—调零电阻;8—通气管;9—电缆	DYC型动态压力传感器多用于测量动压力，如爆发压力。 测量范围:0～5.88MPa 总精度:<0.8%FS 满量程输出:>60mV

表 9.2.2—29 **常用硅压阻器件的性能**

型号	PBD7—1K型	PBD6—350型	PBD7—120型	KSN—6—350—E3—23	KSP—3—F2—11	MS105—350
材料	P型单晶硅	P型单晶硅	P型单晶硅	N型单晶硅	N型+P型单晶硅	P型单晶硅
电阻值Ω	1000±5%	350±5%	120±5%	350	120	350
灵敏系数	140±5%	150±5%	120±5%	−110	210	127
基底材料	酚醛树脂	酚醛树脂	酚醛树脂	酚醛树脂	酚醛树脂	环氧树脂
灵敏度温度系数 1/℃	<0.3%	<0.28%	<0.17%			
极限工作温度℃	100	100	100			
允许电流 mA	15	15	25			
制造国别	中国	中国	中国	日本	日本	美国

3.8 压电式压力传感器

压电式压力传感器是利用压电晶体(如石英晶体或铁电陶瓷材料等)的压电效应而制成的。压电效应是指某些电介质物质，在沿一定方向对其施加压力或拉力使之变形时，其表面产生电荷。当外力去掉后，它又重新恢复为不带电的性质。

当被测压力通过膜片传递到压电晶体时，晶体表面电荷与被测压力成正比。其中一部分电荷向电容器充电，并转换成电压输出。如图 9.2.2—7 所示。这种传感器具有体积小、灵敏度高和响应快优点，但对振动、温度和电磁场非常敏感。多用于检测动态压力或高频瞬时压力。

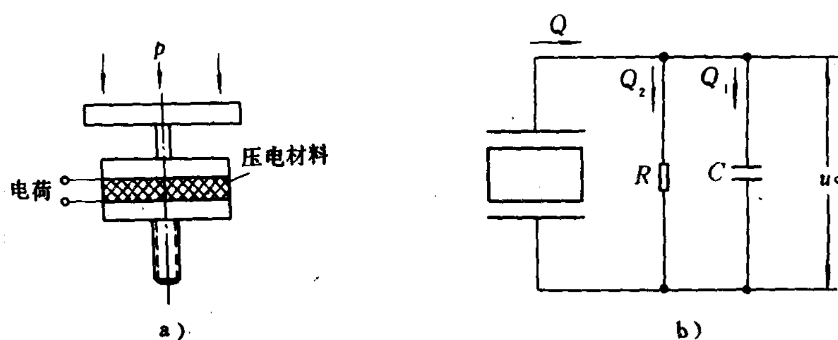


图 9.2.2—7 压电式压力传感器原理图

a)结构原理;b)测量原理图

4 液位传感器

4.1 概 述

液位的监视和控制在机舱自动化过程中极为重要。通过它能正确地获知容器内所储存物质的体积和重量。监视和控制液位能保证动力装置安全可靠地运行。如锅炉和油舱的液位监测和控制。

液位传感器的类型繁多,按其工作原理可分浮力式、静压式、电阻式、电感式、电容式和声波式等。这些传感器都是利用被测介质的物理性质而制成的。表 9.2.2—30 给出常用液位传感器的分类和主要性能。

表 9.2.2—30 **常用液位传感器的分类和性能**

分类名称 / 性能 / 项目	静压式			浮力式		电学式			声学式
	吹气式	压力式	差压式	带钢丝绳浮子式	杠杆浮球式	电阻式	电感式	电容式	液介式
测量范围(m)			20	0～40	0.008～1	0.2～5	0～1.5	25	10
精度			±1%	±30～50 mm	±1.5%	±10mm	±10mm	±2%	±5mm
可动部件	无	无	无	有	有	无	无	无	无
是否与被测介质接触	是	否	是	是	是	是	否	是	否
连续测量或定点控制	连	连	连	连	连、定	定	定	连、定	连
介质工作压力	常压	常压		常压	160 $\times 10^4$Pa	50 $\times 10^4$Pa	640 $\times 10^4$Pa	320 $\times 10^4$Pa	
介质工作温度			−20～+200℃	−5～+40℃	<150℃	<100℃	100℃	−200～+200℃	
操作条件		远显控制	远显记录控制	远显	报警	定点报警控制	报警控制	指示	远显

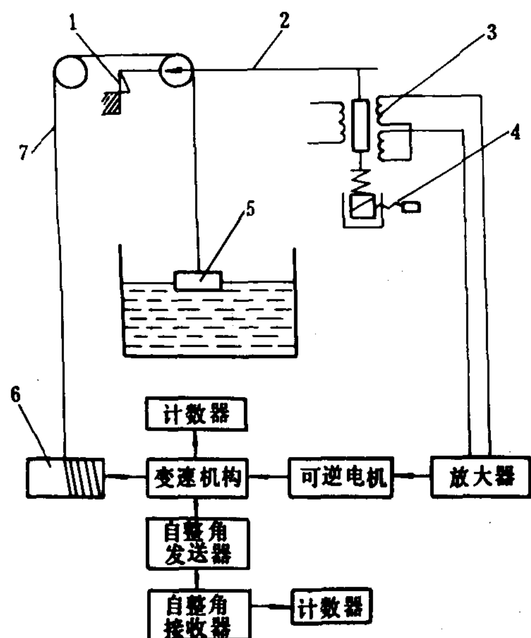


图 9.2.2—8　钢丝绳式浮子液位计

1—弹性支承；2—平衡杠杆；3—差动变压器；4—调零机构；5—浮子；6—卷线鼓轮；7—钢丝绳

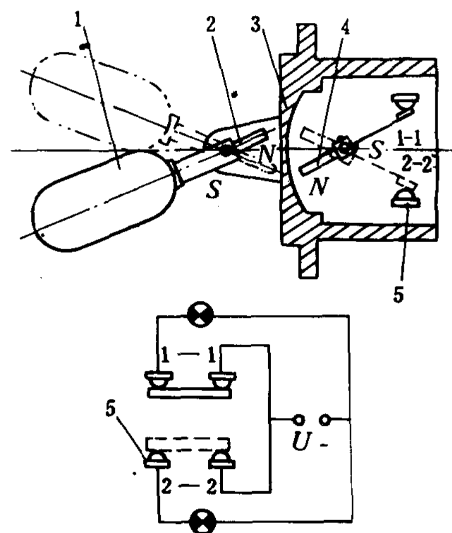


图 9.2.2—9　杠杆浮球式液位传感器

1—浮球；2、4—磁钢；3—壳体；5—触点

4.2　浮子式液位传感器

浮子式液位传感器是用漂浮在液面上的浮子随液位变化的性质制成的。它具有结构简单、使用方便和可动部件易受摩擦、腐蚀和污垢卡住等特点。

钢丝绳（或钢带）式浮子液位计是利用力矩平衡原理的，如图 9.2.2—8 所示。它能通过自整角机实现连续远传，多用于监视油舱的油位。

杠杆浮球式液位传感器是用浮球感受液位的变化，通过杠杆、磁钢和触点输出液位监视信号，如图 9.2.2—9 所示。

4.3　静压式液位传感器

静压式液位传感器用被测容器某定点的静液柱随液位变化而变化的性质。它具有安装方便、检测部分无可动部件、便于与通用型远传变送器相配合等特点。表 9.2.2—31 给出常用静压式液位传感器的原理及简图。

表 9.2.2—31　　常用静压式液位传感器原理及简图

吹气式液位传感器	压力式液位变送器	差压式液位变送器
它把吹气导管插入被测容器中，当管口有少量气泡（约每分钟 150 个）逸出时，导管内静压与容器液位静压相等，最后由指示仪表示出或由压力变送器输出电或气信号。恒差压继动器用来保持吹气的流量恒定，并由转子流量计读出	压力式液位变送器把容器液位的静压转换成电或气信号输出。适用于各种介质开口容器的液位测量	差压式液位变送器把密闭容器液位的静压转换成电或气信号输出。适用于各种介质的密闭容器的液位监测

续上表

吹气式液位传感器	压力式液位变送器	差压式液位变送器
1—容器;2—吹气导管;3—显示仪表;4—压力变送器;5—恒压差继动器;6—转子流量计	1—容器;2—变送器取压法兰;3—变送器	a) b)

4.4 电学式液位传感器

电学式液位传感器能直接把液位变化转换成电信号输出。它具有信号转换和传输方便的特点,但应重视解决仪表防爆问题。表 9.2.2—32 给出常用电学式液位传感器的原理。

表 9.2.2—32　　**常用电学式液位传感器原理**

电阻式液位传感器	电感式液位传感器
它把导电液位的变化转换成电极间的电阻变化,并输出电信号。若装多个电极时,可进行连续测量。如果装设三个电极,当液位低于最长电极时,给出下限报警;高于最短电极时,给出上限报警。它的最大缺点是电极表面易结垢、生锈、介质极化层等影响传感器精度	它把液位变化转换成电感线圈的感应电流变化,并输出电信号。 通常用导磁浮子随液位的变化来反映液位的高低。当导磁浮子进入上、下限电感线圈时,使线圈输出感应电势,并给出液位变化的电信号输出
1—容器;2—电极; 3—测量旁通室;H—控制范围	1—下限线圈;2—浮子;3—上限线圈

5 流量传感器

5.1 概 述

在机舱自动化系统中，流量监视的作用愈来愈重要，如燃油流量监测。

流量指单位时间内通过管道有效截面输送的流体数量。其中，把一段时间内的流量称为累计流量；把用体积表示的流量称为体积流量 m^3/h；把用质量表示的流量称为质量流量 T/h。

基于管道内流体流动速度分布对流量测量的影响，要求在流量测量点的前面有足够长度的直管段或加装流量导直管，保持测量点的前面流速分布稳定。

表 9.2.2—33 给出常用流量传感器的性能比较。

表 9.2.2—33 **常用流量传感器的性能比较**

名称 \ 项目参数	被测介质	管径 mm	流量范围 m^3/h	工作温度 ℃	工作压力 Pa	精度 %	量程比	安装要求
节流孔板	液体、气体、蒸汽	50～1000	1.5～9000 16～10^5	500	2000×10^4	±1～2	3：1	直管段
转子流量计（金属）	液体、气体	15～150	0.012～100 0.4～3000	150	640×10^4	±2	10：1	垂直安装
涡轮流量变送器	液体、气体	4～500(液) 10～50(气)	0.04～6000 2～200	120	640×10^4	±2.5～1.5	10：1	直管段及安装滤器
靶式流量变送器	液体、气体、蒸汽	15～200	0.8～400	200	640×10^4	±4	3：1	直管段
椭圆流量传感器	液体	15～300	0.05～300	60	160～1000×10^4	±0.5～1	10：1	装过滤器
腰轮流量传感器	液体、气体	15～100	0.6～2700	60	640×10^4	±0.2～0.5	10：1	装过滤器
旋涡流量计	液体、气体、蒸汽	25～150	0.35～48000	−40～+80	−10～1000×10^4	±1～1.5		直管段

5.2 节流式流量传感器

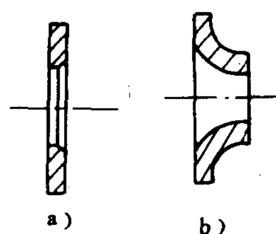


图 9.2.2—10 节流装置的基本型式
a）标准孔板；b）标准喷嘴

节流式流量传感器是由节流装置和差压计两部分组成。它在流量测量中应用非常广泛，各工业发达的国家都有本国标准。它是利用充满圆管的单相流体，流经节流装置前后的压力差来反映通过圆管的流体流量。

常用的节流装置有孔板、喷嘴和文丘利管。常用的差压计有双膜盒差压变送器、双波纹管差压变送器和力平衡式差压变送器。图 9.2.2—10 示出节流装置的基本型式。表 9.2.2—34 给出各种差压计的性能和特点。

这种节流装置的特点：结构简单、寿命长、适应性广；孔板和喷嘴已标准化，有可靠的试验数据，精度可达到±0.5%。但不适于测量管径低于 50mm 和低雷诺数的流体。

表 9.2.2—34　　　　　　　　　　**常用差压计的性能和特点**

名　　称	压差测量上限 Pa	工作压力 Pa	工作温度 C	精度	特　　点
双膜盒差压变送器	1600～6×10⁴	640×10⁴， 1600×10⁴	5～50	2.5	1. 时滞小、性能稳定 2. 精度较低、有静压误差 3. 可承受偶然发生的单向过载
双波纹管差压变送器	中压差 6000 ～60000 高压差 4×10⁴， ～40×10⁴	640×10⁴ 1600×10⁴ 4000×10⁴	−30～+90	1	1. 可用于高静压流体测量，无静压误差 2. 通过改变量程弹簧，可改变压差范围 3. 精度较高 4. 有单向过载保护 5. 适用温度范围宽 6. 结构较复杂
力平衡式差压变送器	低压差 1000～6000 中压差 6000～40000 高压差 40000 ～25×10⁴	250×10⁴ 250×10⁴ 640×10⁴ 1600×10⁴ 3200×10⁴	−20 ～+120	1	1. 测量范围宽、静压误差较大 2. 精度高 3. 量程范围可调 4. 有迁移装置，可扩大刻度范围 5. 一定要与其它单元配套，才能指示、记录、积算和调节

5.3　转子式流量传感器

它属于定压降式流量传感元件。并由铝或不锈钢制的浮子和锥管组成。浮子在垂直安装的锥管中形成一个环形流通截面的节流作用，使浮子稳定平衡后上下面的稳定静压差随流量变化，并间接反映流量大小。若在浮子连杆上装有磁钢，通过磁性耦合器能转换成电或气信号输出。它具有结构简单、工作可靠、压力损失小且恒定，适用于测量小流量等特点。表 9.2.2—35 给出转子流量传感器的结构原理和性能。

表 9.2.2—35　　　　　　　　**转子流量传感器结构原理和主要性能**

结构原理		气动远传转子流量计	电动远传转子流量
LZQ	型号	LZQ	LZD
1	公称通径 mm	15～150	15～150
2	流量上限空气 Nm^3/h	5～300	5～300
3	水 m^3/h	0.06～100	0.06～100
4	量程比	1∶5	1∶5
	介质温度℃	−40～+150	−40～+150
	公称压力 MPa	1.6～6.4	1.6～6.4
	精度	2	2.5
1—转换器；2—浮子； 3—金属锥管；4—导向环	输出信号	2×10^4～10×10^4Pa	0～10mADC

5.4 涡轮流量传感器

它属于速度式流量变送器。当被测介质通过涡轮流量变送器时，推动涡轮旋转，在规定的流量范围内和一定的流体粘度下，转速与流速成线性关系。因涡轮用导磁材料制成的，所以旋转后能周期地切割壳体上永久磁铁产生的磁力线，使电磁感应系统中磁阻周期变化并经线圈感应出交流电信号，即流量与频率成正比的脉冲电信号输出。

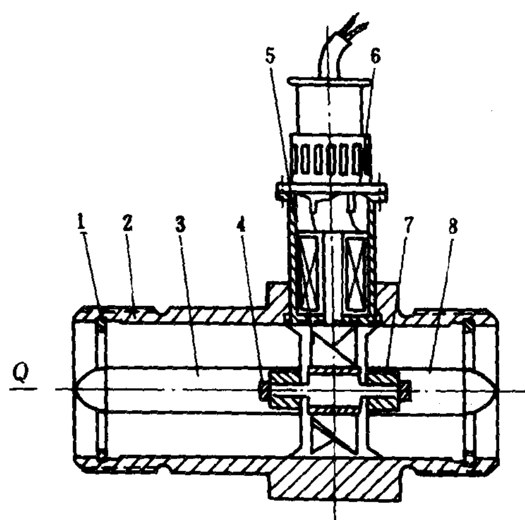


图 9.2.2－11　涡轮流量变送器
1－紧固环；2－壳体；3－前导流件；
4－止推片；5－叶轮；6－磁电转换器；
7－轴承；8－后导流件

涡轮流量变送器必须水平安装，仪表前应装过滤器，仪表后必须有 15 倍变送器公称直径长度的直管段和流体导流器。但涡轮易磨损、且使用寿命短。图 9.2.2－11 示出涡轮流量变送器结构原理。

5.5 容积式流量传感器

它是利用被测流体充满一定容积的测量室，靠流体的流速推动齿轮、腰轮、活塞等旋转，使被测流体从出口排出，经传动机构给出相应的电信号输出。其中，常用的有椭圆齿轮和腰轮流量传感器。它除能测量液体和气体外，并具有被测流体粘度影响小和不要求有直管段的特点，但要求被测流体干净。图 9.2.2－12 示出椭圆和腰轮流量传感器原理。表 9.2.2－36 给出椭圆和腰轮流量传感器的主要性能。

表 9.2.2－36　**椭圆和腰轮流量传感器的主要性能**

项目 \ 数据 \ 型号	椭圆齿轮 LCG 型	椭圆齿轮 TOKICO	腰轮 LL 型
流量范围　m^3/h	0.002～0.04	1～1000	2.5～1000
工作压力　Pa	2.45～49	98～617	98～617
工作温度　℃	－10～＋55	－30～＋300	0～120
精度　%	±1	±0.2～0.5	±0.2～0.5
输出方式	脉冲信号	计数、远传	计数、远传

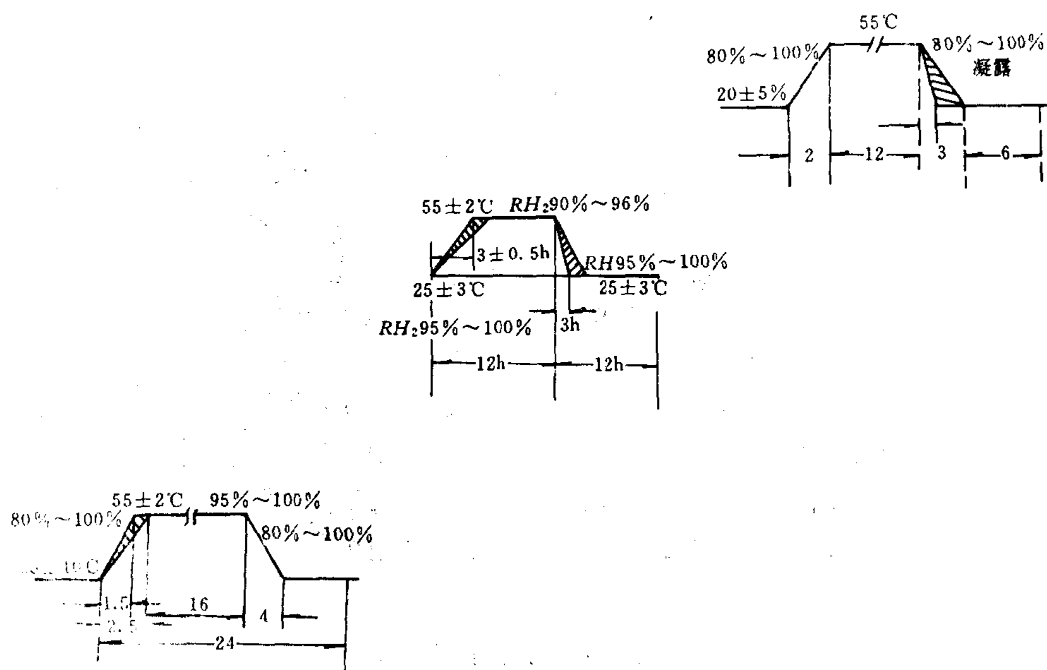


图9.2.2—12 椭圆和腰轮流量传感器原理

6 转速传感器

在机舱自动化系统中，转速检测极为重要。常用的转速传感器有：离心式（机械式）转速传感器、电磁感应式转速传感器和光电式转速传感器。其中，转速大小用单位时间内的转数表示，工程上多用每分钟的转数作为转速单位（r/min）；角速度用弧度/秒单位（rad/s）。表9.2.2—37给出常用的转速传感器原理和主要性能。

表 9.2.2—37　**常用转速传感器原理和性能**

测速发电机	磁电脉冲式	光电脉冲式
它是利用导体切割磁力线并输出感应电势的发电机原理制成的。其输出信号与转速成正比。 测速发电机分交流和直流两种 测量范围：0～3500 r/min 精度：1.5 环境温度：－25～＋60℃ 相对湿度＜98％	它是利用电磁感应原理将转速信号转换成脉冲个数输出。由随主轴旋转的齿轮与固定安装的铁芯线圈组成磁感应系统。当齿顶对准铁芯时，磁通增大输出一个较大的电流，反之输出一个较小电流，形成一个脉冲 1—主轴；2—齿轮；3—线圈；4—铁芯；5—机架 测量范围：50～5000Hz 输出波形：近似正弦 输出幅值：在 50r/min 时　≥300mV 环境温度：－20～＋60℃	它是利用光电元件感光计数原理。光电元件感受固定光源的次数与随主轴旋转的圆盘转速成比例。 椭圆盘缝隙个数的增加能提高其精度。它具有分辨率高、易识别转向等特点 1—光源；2—透镜；3—读数盘；4—测量盘；5—光电元件 测量范围：0～999r/min 精度：±1r/min 环境温度：－25～＋45℃ 相对湿度：95±3％

7　燃油粘度传感器

燃油粘度传感器是使燃油在恒定流量下，以层流流动状态通过圆形截面的毛细管时，毛细管前后的压力差与燃油粘度成正比的理论来测定粘度的。其绝对粘度用下式表示：

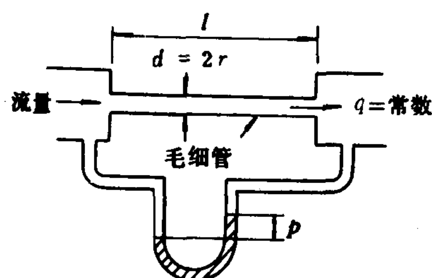


图 9.2.2—13　毛细管式粘度传感器

$$\eta=\frac{\pi r^4 P}{8LQ}$$

式中：η——绝对粘度 Pas；

r——毛细管内圆半径 m；

L——毛细管的长度 m；

Q——通过毛细管的流量 m^3/s；

P——毛细管前后的压力差 N/m^2(Pa)。

这种传感器的性能为：测量范围较宽 0～25 泊，最高可达 15000 泊；精度较高，可达 1％。使用时要求燃油内不含固体粉料、尘埃等，防止堵塞毛细管。图 9.2.2—13 示出毛细管式燃油粘度传感器原理。

8　水中含油浓度传感器

水中含油浓度传感器主要用于监视机舱污水中的含油量。国际海事协商组织规定，在离岸 12n mile 范围内，船舶排出污水的含油浓度不允许超过 15PPm。

常用的水中含油浓度传感器有：浊度式、光散射式、红外线吸收式和紫外线吸收式。表 9.

2.2—38 给出常用水中含油浓度传感器原理。下面给出 FOCAS—1500A 型水中含油浓度传感器的主要技术性能：

测量方式：浊度法，用双超声乳化测量；

操作方式：自动进行，检测液压大于 0.03MPa；

测量周期：约 17s

测量范围：0～30PPm

精度：小于±5PPm

检测液温度：2～45℃

环境温度：0～50℃

表 9.2.2—38　**水中含油浓度传感器原理**

浊　度　式	光　散　射　式
它是通过检测液体的乳化混浊程度（透光程度）来反映检测液中的含油浓度。随着水中含油量的增加，则混浊度提高，光电元件输出高含油浓度信号。当超出规定值时，输出报警信号。通过两次不同频率的超声乳化检测液，能消除检测液中悬浮物的影响。用恒压阀保持检测液的压力，能消除检测液中气泡的影响	它是利用光的散射原理制成的。在恒定光源的前提下，用散射光强度 I_s 与直射光强度 I_0 之比值来反映水中含油浓度
1—滤器；2、8—电磁阀；3—光源；4—检测室；5—光电元件；6—转换电路；7—指示表；9—超声装置；10—恒压阀	1—点光源；2—透镜组；3—玻璃管；4、11—硅光电池；5—直射光运算放大器；6—除法器；7—指示表；8、10—散射光运算放大器；9—调零电路；12—光栅

9　水中含盐浓度传感器

水中含盐浓度传感器是通过放在检测液中一对电极形成的电导池，则两电极间溶液的导电度呈现为纯电阻，其电阻值与检测液含盐浓度有关。在忽略电极极化和双电极电容的影响时，可用下式表示：

$$c=\frac{\delta K}{\lambda_t R}10^6$$

式中：c——检测液含盐浓度 mg/l；

δ——每克当量的电解质克数 $g.mol^{-1}$；

K——电导池常数 Cm^{-1}；

λ_t——温度为 t 时当量电导 $\Omega^{-1}.cm^2.mol^{-1}$；

R——电极间检测液呈现的等效电阻 Ω。

通常借助桥路或分压电路输出检测液含盐浓度信号。它多用于监视锅炉水质和制淡装置的水质。表 9.2.2—39 给出测量电路和主要性能。

表 9.2.2—39 **测量电路和主要性能**

测量电路	主要性能
1—测量电桥；2—隔离变压器；3—放大器；4—电机；5—蜂鸣器；6—报警指示灯；R_x——两个电极间电阻	测量范围：0～5mg/L 0～50mg/L 0～5000mg/L 精度：≤满量程的 4% 输出：0～10mA 0～100mV 检测液温度：20±10℃ 环境温度：5～50℃

10 湿度传感器

湿度是指物质中水分的含量。在空气调节中常用相对湿度表示。它指在某一温度下，每立方米气体所含水蒸汽的重量与同温度下每立方米气体所能含有的最大水蒸汽重量之比，用百分数表示。最早采用的湿度传感器是利用脱脂毛发束吸湿后伸长的特性制成的。表 9.2.2—40 给出目前常用的湿度传感器原理和主要性能。

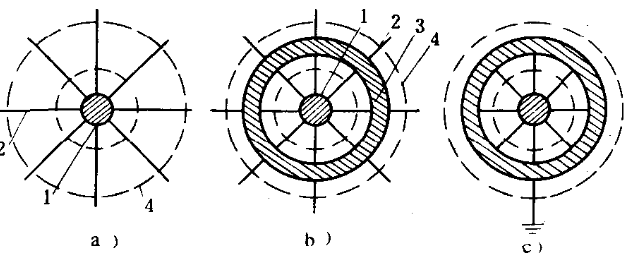
表 9.2.2—40 **湿度传感器原理和性能**

名称	原理	测量范围	精度	输出
氯化锂湿度传感器	它利用两个铂丝电极间涂有氯化锂溶液的湿敏元件的吸湿和放湿变化来改变两个电极间电导的性质。 注意不能用手摸湿敏元件	15%～100% RH	±2%	
金属氧化物湿度传感器	它利用 $MgCr_2O_4$—TiO_2 半导体陶瓷感湿材料制成的湿敏元件。它具有电阻值随湿度变化而变化的性质	1%～100% RH	±4%	8mV ～7V. AC
氧化铝湿度传感器	它利用氧化铝薄层湿敏元件吸湿后电容量变化的性质。由于吸湿后介电常数变化，使电容量跟着改变。可制成电容式氧化铝湿度传感器 同理，利用吸湿后电阻值随着变化性质，可制成电阻式氧化铝湿度传感器	0.001 ～2000μg/l	0.5～2℃ (露点)	

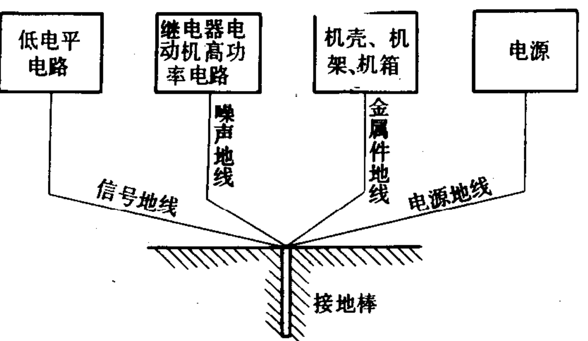
表 9.2.1 3

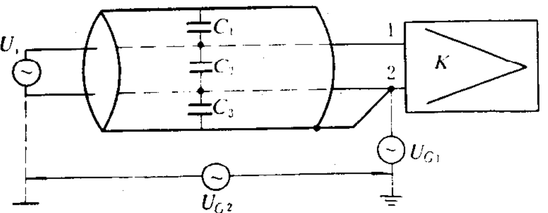
抑制干扰的具体措施

屏　　蔽	接　　地	平　　衡	隔　　离	滤波与去耦
屏蔽措施是为了防止电磁场干扰。 屏蔽层的外层接地，对电场有作用，对磁场效果差。 用一定厚度的高导磁材料(如坡莫合金)作为屏蔽层，对低频磁场屏蔽效果好。 热电偶补偿导线绞合后穿过铁管(铁管接地)能大大地减少外磁场对补偿导线的干扰。 仪表罩在铁壳内能防止磁场干扰。 应指出，屏蔽必须与接地相配合，才能有效地抑制电磁场干扰	要求接地可靠、接地电阻小、接地线尽量短等。 选择接地点时，要求避免电流流经公共地线之阻抗所产生的干扰电压。 重视系统接地问题，要求低电平电路的信号地线、噪声电路(包括继电器等)的噪声地线、机壳与机架组成的金属件地线应与电源地线分开，最后通过一个接地点	利用电路上的平衡关系，使两根传输信号导线具有相同干扰电压，且干扰电压在这两根导线的负载上自行抵销，能有效地抑制外电路的电磁场干扰。如用双绞线或加屏蔽的双绞线。 在仪表测量回路中，用通过实验配制的一些电阻，使某一部分电路处于平衡，能减少外部干扰	隔离的目的是不让干扰信号构成回路。 用隔离变压器把输入部分与输出部分；反馈部分与输出部分隔离开	滤波器接在信号输入回路中，能抑制横向干扰电压。 去耦电路接在直流电源的输出端，能防止各级间通过电源而引起的干扰



1—带电导体；2—电场；3—屏蔽层；4—磁场





11 气体中含氧浓度传感器

含氧浓度传感器多用于监视锅炉烟气中含氧量和油船封舱惰性气体中含氧量,监测锅炉的燃烧效果和防止封舱气体出现爆炸事故。表9.2.2—41给出含氧浓度传感器原理和性能。

12 二氧化碳浓度传感器

二氧化碳浓度传感器多用于监视锅炉燃烧和冷藏舱内蔬菜及水果腐烂变质情况。表9.2.2—42给出常用二氧化碳浓度传感器原理和主要性能。

表9.2.2—42 **二氧化碳浓度传感器原理和主要性能**

热导式	红外线式
它是利用气体导热系数的差异(纯空气导热系数远远小于二氧化碳导热系数)来反映气体中二氧化碳的浓度。当被测气体通入热导池小室时,由于导热系数变化,使热导池小室内的电阻丝热平衡温度变化,即电阻丝的阻值随之发生变化,最后经测量电桥输出二氧化碳浓度的电信号	它是利用气体不同成分吸收红外光的能力差异来反映被测气体的二氧化碳含量。为此,将红外光源分别通过测量室(充入被测气体)和参比室(充入非吸收氮气),借助两个室接受到的光辐射能量的差异来反映被测气体的含量,最后经测量电路输出电信号
1—测量气室;2—指示表;3—标准气室;4—铂丝 RD—002型	1—光源;2—切光板;3—滤波器;4—测量室;5—参比室;6—检测器;7—放大器;8—显示器
测量范围:0～20%;0～40%CO_2 精度:±2.5%(满刻度) 反应时间:≤160s	测量范围:0～1至0～100%CO 0～0.5至0～100%CO_2 基本误差:不超过测量上限的±3% 稳定性:每周指示漂移小于测量上限的±3%

13 气体浊度传感器

浊度传感器在船上多用于监视锅炉排烟的浊度和柴油机曲柄箱内油雾浊度(浓度)。表9.2.2—43示出浊度传感器的原理。

表 9.2.2　43　**浊度传感器的原理**

烟气浊度传感器	油雾浊度传感器
它是基于比较方法。用恒定光源分别通过烟气室和空气室(或称标准室),并照射在两个光敏电阻上,使光敏电阻的阻值随烟气浊度变化。这样一来,两个光敏电阻产生的光电流之差与烟气浊度成比例	它是基于比较方法,用恒定光源分别通过测量管和标准管(或平均管)并照射在两个光电池上,则光电池的输出随油雾浊度变化。这样一来,两个光电池输出的电势差与油雾浊度成比例
1—电光源;2—指示表;3—控制箱	1—反射镜;2—光源;3—聚光镜;4—平均管;5—光电池;6—选择阀;7—控制电路;8—报警器;9—测量管;10—抽风机

14　位移传感器

机械位移传感器在船上多用于监测阀门位移、柴油机油泵齿条位移、推力轴位移等。常用的位移传感器有:电位器式、电感式、电容式和差动变压器式等。表 9.2.2—44 示出它的原理和主要性能。

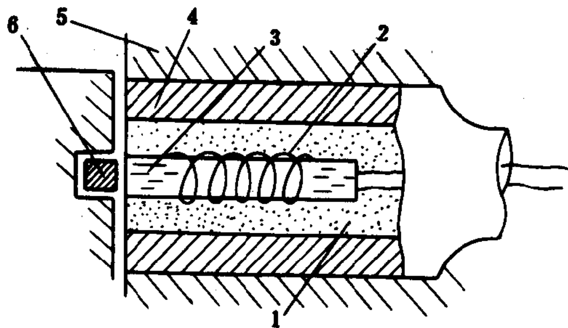


图 9.2.2—14　活塞环断裂传感器

1—绝缘层;2—线圈;3—铁芯;4—外套;5—气缸壁;6—活塞环

柴油机活塞环断裂检测就是利用电感式位移传感器,如图 9.2.2—14 所示。当活塞上下运动时,活塞环与铁芯的端部相遇,使线圈磁通变化并输出电脉冲信号。在活塞环断裂或变形或卡死时,传感器与活塞之间的间隙加大,磁阻增加,线圈输出的电脉冲信号变小。为此,可判断活塞环是否断裂。

气缸套磨损检测是利用电阻式位移传感器来进行的，如图 9.2.2－15 所示。当气缸套出现异常磨损时，则装在缸套内薄膜电阻的阻值发生较大变化，经测量电路输出电信号。

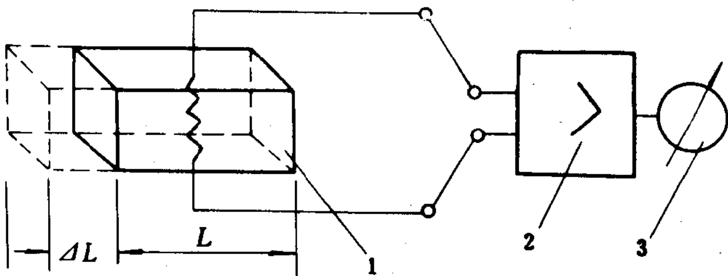


图 9.2.2－15　气缸套磨损传感器

1－薄膜电阻；2－放大器；3－显示仪表；

L－薄膜电阻长度；ΔL－气缸套磨损量

表 9.2.2－44

位移传感器原理和主要性能

电位器式	差动变压器式
它是利用具有一定电阻率和一定截面积的金属电阻丝（如锰铜和铜镍合金）的电阻值随位移变化而变化的性质。 要求选用电阻温度系数小、电阻率高、耐磨的金属丝。它具有结构简单、使用方便、易受环境温度变化的影响	螺管形差动变压器式是利用电磁感应原理，把可动铁芯的位移变化转换成次级线圈中感应电势的变化。它具有结构简单、灵敏度高等特点
1－骨架；2－电阻丝；3－导电片；4－触点；5－输入轴 测量范围：几到几十毫米 精度：0.5%～1.0% 响应速度：较慢	a）单线圈形　　b）差动形 技术性能详见表 9.2.2－45
电感式	**电容式**
它是利用电磁感应原理，把位移变化转换成线圈电感量变化。其中，可动铁芯式位移传感器是把导磁率为 μ 的铁芯插入线圈 L 中，使线圈电感量随铁芯插入深度而变化。 它具有结构简单、灵敏度高、输出功率大、精度较高等特点。 而气隙式位移传感器的测量范围小，多在 100 μm 之内	它是通过改变电容器极板间距或截面积引起电容量变化的关系，把位移或角位移变化转换成电信号输出。其中，极板间距变化比截面变化范围小，故测量范围亦相应小。 圆筒形差动电容式位移传感器是通过改变极板覆盖面积来反映位移的变化。其特点是线性范围宽、灵敏度在测量范围内不变

续上表

电感式	电容式
测量范围：1～600mm 精度：±0.5% 环境温度：－10～＋80℃	测量范围：1～30mm 精度：0.5%～0.2%

表 9.2.2－45　**差动变压器式位移传感器的性能**

项目 \ 技术条件 \ 系列名称	GH 系列	SL 系列	R40A	FX63、73、83 系列	E 系列
测量范围(mm)	±1～±10	±2.5～±25	±60°(角度)	±5～±40	±2.5～±300
满量程输出 mV/3kHz	95～210	50～600		±1～±2V	35～380
线性度	0.5%	0.5%	±0.5%	0.1%～0.2%	0.5%
温度范围℃	0～80	0～90	0～90	－25～＋55	0～150
最大输入电流 mA	10	10	20	50	20
输入电压 V	1～10	1～10	20	9～15	1～10
标定负载 kΩ				20	

摘自阜新传感器厂产品的技术条件

15　扭矩传感器

扭矩传感器多用于监测发动机的功率。常用的有光电式、相位差式和磁桥式三种，其工作原理和主要性能，如表 9.2.2—46 所示。

扭矩传感器原理和主要性能

光电式	相位差式	磁桥式
光电式扭矩传感器是利用轴扭转角与作用在扭轴上的转矩成正比原理制成的。 它将两个光栅盘分别固定在扭轴上，且光栅的条数相等。当扭矩为零时，两个光栅缝隙错开，光电池感受不到光照；当扭矩不为零时，两个光栅开始重合，其重合程度取决于扭矩大小，使光电池感受的光变强，最后经测量电路输出的脉冲宽增加，依此反映轴的扭矩	相位差式扭矩传感器是利用轴扭转角与转矩成正比原理制成的。 它将两个铁磁性材料制作的齿轮圆盘，分别固定在扭轴上，并在齿顶上方装磁阻式线圈。当扭矩为零时，齿顶和线圈铁芯位置重合，磁阻变小；在扭矩增大时，齿顶和线圈铁芯位置错开，改变磁阻值。于是两组磁阻线圈输出信号存在相位差，依此相位差反映扭矩的大小	磁桥式扭矩传感器是利用扭轴（由铁磁材料制成的）受到被测转矩作用时，轴内产生方向性应力，并呈现出磁的各向异性。 它由两个相互垂直的磁路组成的。一个磁路绕初级线圈，且线圈匝数相等；另一个磁路绕次级线圈，且线圈匝数也相等。当扭矩为零时，磁阻相等，且磁桥平衡，无输出；若扭矩不为零时，则磁阻不同，在感应线圈中产生与磁阻成正比的感应电势输出
测量范围：100～6000r/min 精度：±1%	1—齿轮圆盘；2—主轴；3—电磁线圈；4—铁芯；5—扭矩指示仪；6—控制电路 测量范围：0.2～120000N.m 精度：0.5%～1% 过载能力：120%额定扭矩	1—磁极；2—次级线圈；3—初级线圈；4—主轴；5—指示仪表； R_1、R_2、R_3、R_4—磁阻

16　火灾探测器

16.1　概　述

按照国际海事协商组织（IMCO）和国际电工委员会（IEC）的规定，对于客船、货船、油船和专业船舶，特别是无人值班的机舱，船员舱室和公共场所等，应装有火灾探测器，以便及时探知火情，这对扑灭火灾于初始阶段有非常重要的作用。

船上常用的火灾探测方法有:热探测、烟雾探测和光探测三种方法。表 9.2.2—47 示出各种探测器的安装高度和监视的面积。

表 9.2.2 47　　各种探测器的安装高度和监视面积

	探测器	安装高度 m	监视面积 m^2
热探测	机械差温式	4~8	30~40
	电子差温式	4~8	30~40
	机械定温式	4~8	15~40
	电子定温式	4~8	15~40
烟雾探测	离子式	4~8	70~75
光探测		20 以内	半径为 15

如果探测器的结构和性能是好的,安装位置正确并能进行定期维护保养时,则火灾探测的误报次数将会减少很多。

16.2 火灾探测器原理

16.2.1 热探测的原理

热探测是利用火灾前兆的热效应。选取对温度和温升变化率敏感的元件作为热探测元件。目前常用的有:JW—jC 型机械差温探测器、JW—jD 型机械定温探测器、JW—DC 型电子差温探测器和 JW—DD 型电子定温探测器四种,其原理和技术性能如表 9.2.2—48 所示。

16.2.2 烟雾探测原理

烟雾探测是利用火灾前兆的烟雾浓度变化来探测的。常用的有:烟管感烟探测器和离子感烟探测器二种。

烟管感烟探测器,如图 9.2.2—16 所示。它是利用两组光电池所感受的透光强弱来反映气样中是否有烟雾,再通过电桥和放大器输出火灾报警信号。它适用于监视舱室容积较大的货舱。

表 9.2.2—48　　常用热探测器的原理和主要性能

机械差温式	电子差温式	机械定温式	电子定温式
它是利用密闭气室内空气热膨胀和低熔点合金易熔性质制成的。如遇火灾时,温升速率超过 15°/分时,则气室内空气来不及由排气阀排出,使室内压力升高,波纹膜片鼓起,接通报警触点,给出报警信号。当温度达到规定的定温(如 70℃)时,易熔合金熔化,通过弹簧片,接通报警触点,给出报警信号。它具有差温和定温两种功能,能克服温升缓慢不报的缺点	它具有差温和定温两种功能。它是利用热敏电阻的阻值随温度升高而下降的性质,在温差速率较大时,由热敏电阻 R_1、R_2 组成的电位器,使 A 点电位降低,最后由监视电路给出报警信号。在温度升高到标定温度(如 70℃)时,热敏电阻 R_5 的阻值降低,给出定温报警信号	它只有定温部分,其原理同机械差温式。它适用于温度变化比较大的场合,如锅炉房,但不能用在室内最高温度接近标定温度的场所,要求比标定温度低 30℃的场所。 标定温度为 70℃或 90℃	它具有定温的功能,其原理同电子差温式

机械差温式	电子差温式	机械定温式	电子定温式
主要性能 使用环境：－25～＋25℃	－25～＋25℃短时为＋80℃	－25～＋25℃	－25～＋25℃ 短时为＋80℃
安装方式：天花板，定点	外露型	外露型	外露型
保护面积：高度＜4m 为 45m²	高度＜4m 为 35m²	高度＜4m 为 35m²	高度＜4m 为 35m²
灵敏度：Ⅰ级温升速率 2℃/min Ⅱ级温升速率 3℃/min 反应时间≤30s	同机械差温式	室温为 20℃时，反应时间 Ⅰ级＜107s Ⅱ级＜251s	同机械定温式
工作电压	18±0.5V·DC		18±0.5V·DC
工作电流：	静态＜3mA，报警＜6mA		静态＜3mA， 报警＜6mA

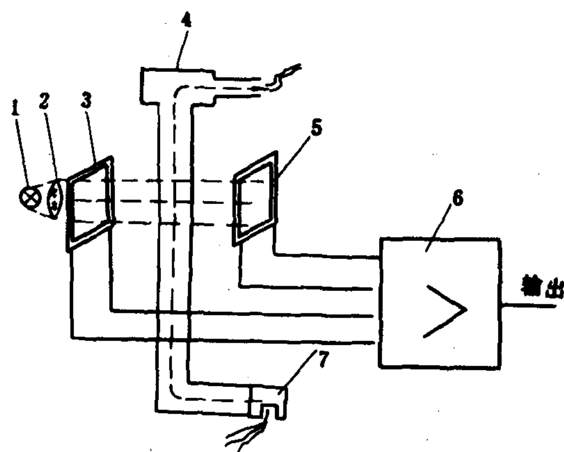


图 9.2.2—16 烟管感烟探测器

1—光源；2—聚光透镜；3—光电池；4—抽风箱；
5—光电池；6—放大器；7—集烟管

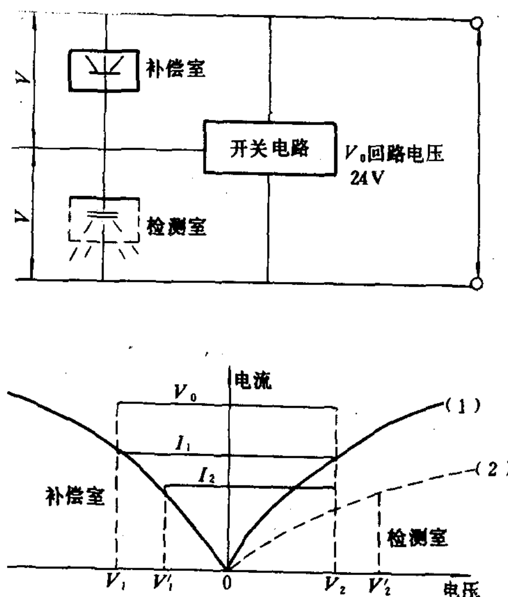


图 9.2.2—17 离子感烟探测器原理图

离子感烟探测器，如图 9.2.2—17 所示。它是利用一个可以进烟的流气式电离室，并在电离室中放一片同位素镅[241]作为放射源。电离室在镅[241]的作用下，使电离室中的空气电离，即电离室内产生很多带电的离子，通过一个收集极可以收集离子并产生相应的电离电流。当火灾产生的烟进到电离室后，因为烟雾中有很多带电离子，它使电离室中的空气电离状态发生变化，再通过阻抗变换及放大电路，输出报警信号。

在具体结构上，将进烟的检测电离室与不进烟的补偿电离室相串联，无烟时，电离室 V—A 特性为曲线 1；当出现火灾时，烟进入检测电离室，使电离电荷迁移速度降低，电离电流减少，检测电离室的等效电阻增加，其 V—A 特性为曲线 2。而补偿电离室，因无烟进入，电离室阻抗不变，于是引起电离室分压比发生变化。最后控制开关电路输出报警信号。

16.2.3 光探测原理

光探测是利用缓慢燃烧过程产生的红外光线和紫外光线进行探测。

第3章 调节仪表

1 概 述

调节仪表是组成机舱自动化系统的核心部分，它通常包括变送器和调节器两大部分。

调节仪表按所用的辅助能源分：有气动调节仪表和电动调节仪表两大类型；按其结构和功能又可分为自力式调节器、基地式调节仪表、单元组合式调节仪表、组装式综合控制装置和智能调节仪表等。

自力式调节器是以被调介质本身的能源或经简单的转换直接带动调节阀，实现自动控制。船上常用的有浮球式液位控制器、温包式温度控制器和压力控制器等。它适用于对控制系统要求低的简单控制系统。限于篇幅，在此从略。

基地式调节仪表通常包括指示、记录和调节三部分功能。下面重点介绍气动单元组合仪表、电动单元组合仪表、组装式仪表和智能仪表的基本原理。

2 气动调节仪表

2.1 QDZ型气动单元组合仪表

2.1.1 概述

2.1.1.1 分类

1)变送单元：将温度、压力、差压和液位等参数转换成0.02～0.1MPa的标准气压信号并传送给其余单元。

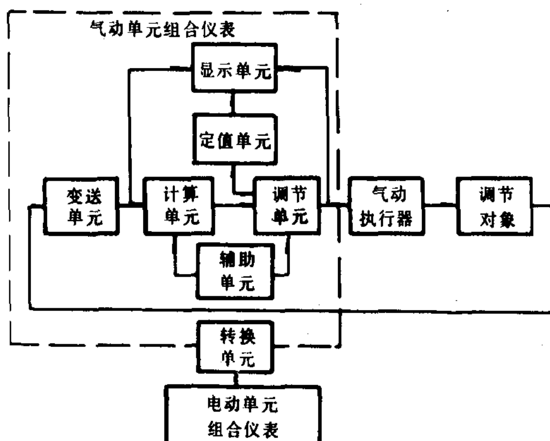


图9.2.3-1 各单元及其相互关系

2)调节单元：按被调参数的测量值与给定值的偏差及规定的调节规律(如P.I.D等)输出0.02～0.1MPa的标准气压信号。

3)定值单元：用于提供调节单元的给定值，实现系统的定值调节和程序调节等。

4)显示单元：用于指示、记录或积算被测量。

5)计算单元：用于实现多种代数运算，如加、减、乘、除和开方等。

6)转换单元：用于实现电—气信号转换，如将0～10mA或4～20mA信号转换成0.02～0.1MPa的标准气压信号。

7)辅助单元:指切换和手操等其余单元。

以上各单元及其相互关系如图 9.2.3—1 所示。

2.1.1.2 特点

由于采用力或力矩平衡原理,使仪表可动部分的位移极小,无机械摩擦,提高了仪表的精度、灵敏度和可靠性。同时与基地式调节仪表相比,便于实现集中控制;与电动仪表相比,有防爆、防火等优点。

2.1.1.3 主要技术性能

气源压力:0.14MPa;

单元间的传递信号:0.02～0.1MPa;

基本精度:±0.5%～±1.5%;

灵敏限:0.05%～0.2%;

环境条件:温度为－20～60℃

相对湿度小于 95%

2.1.2 变送单元

2.1.2.1 气动变送器的基本原理

气动变送器由测量和转换两部分组成。测量部分是把被测量(如压力、差压、温度和液位)转换成相应的力,并作用在转换部分;而转换部分是把相应的力转换成标准气压信号。所以,在同一种转换部分上配备不同的测量装置可实现压力、差压、温度和液位的变送任务,并构成相应的变送器(如压力变送器、差压变送器等),把相应的参数按比例转换成标准气压信号。

图 9.2.3—2 双杠杆气动差压变送器结构原理图

1—敏感元件;2—主杠杆;3—密封膜片;4—放大器;5—喷嘴;6—挡板;7—迁移弹簧;8—静压调整轮;9—副杠杆;10—量程调整螺母;11—反馈波纹管;12—调零弹簧

在变送单元中,常用的转换部分有:单杠杆式、双杠杆式和矢量式三种,如表 9.2.3—1 所示。图 9.2.3—2 示出双杠杆气动差压变送器结构原理图。

表 9.2.3—1 **转换部分原理**

	工作原理	示意图
单杠杆式	单杠杆式是按力矩平衡原理工作的。它接受测量部分输出的力(P)作用后,在主杠杆上产生测量力矩,使主杠杆绕支点转动,改变喷嘴与挡板距离,喷嘴背压变化,经功率放大器放大后,输出按比例转换的标准气压信号。同时,把输出信号送入反馈波纹管,又在主杠杆上形成一个反馈力矩,并与测量力矩相比较,直到平衡后,输出稳定。移动反馈波纹管可改变量程	

	工 作 原 理	示 意 图
双杠杆式	双杠杆式与单杠杆的区别就在于增加了一个副杠杆，支点可在副杠杆上移动。主、副杠杆在顶部固结在一起。当测量部分输出力作用在主杠杆时，改变喷嘴与挡板距离，喷嘴背压变化，经放大后，输出一个按比例变化的气压信号。同时，又送入反馈波纹管，在副杠杆上形成一个反馈力矩，并与测量力矩相比较，直到平衡后，使输出稳定。 它比单杠杆测量范围大，使用方便。移动反馈波纹管或副杠杆支点均可改变量程。	
矢量式	矢量式是把测量力 P 传递给主杠杆，使主杠杆绕支点 A 顺时针转动。主杠杆顶端力 F_1，通过矢量机构在副杠杆的端点 D 产生力 F_3，它使副杠杆绕 E 点逆时针转动，改变喷嘴与挡板距离，喷嘴背压经放大后输出。同时送入反馈波纹管，使其产生的推力作用在副杠杆的 C 点，使绕 E 点顺时针转动，直到反馈力矩与测量力矩相平衡为止，输出才稳定。调整矢量机构的支点，可改变量程	

2.1.2.2 变送单元的迁移原理

变送器通常设有迁移机构，其实质是一个附加的弹簧力，它使变送器的特性沿着测量信号 P_i 的轴向平移，如图 9.2.3—3 所示。

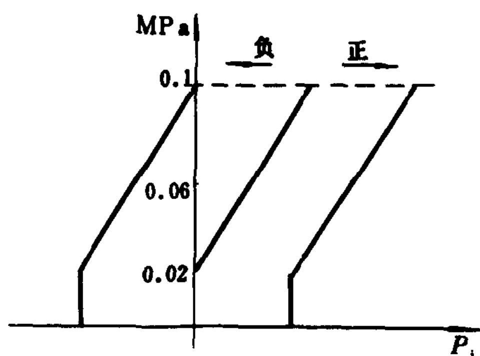


图 9.2.3—3 迁移特性

变送器在下述两种情况下应设置迁移机构

1）变送器开始工作时，其测量信号 P_i 不是从零开始，而是预先承受一个负荷（正或负），因此要求用迁移机构事先进行补偿。

2）为了提高仪表的测量精度，缩小测量范围，也往往用迁移机构预先进行补偿。

沿着测量信号 P_i 正方向迁移的称正迁移；反之，往负方向迁移的称负迁移。

其中，实际的迁称量只能在一定的范围内调整，并称为允许的迁移范围。它除受几何尺寸（杠杆长度）影响外，还取决于测量部分允许的位移量。迁移后变送器所承受的最大测量值 P_{imax}

应小于该变送器的最大测量范围。

2.1.3 调节单元

调节单元是按力或力矩平衡原理工作的。它没有大的机械位移和可动部分的摩擦，工作可靠，精度高。

调节单元是由比较杠杆或气室、放大器和反馈部分组成。当测量值变动时，破坏调节单元的平衡状态，使它按测量值与给定值的偏差，改变喷嘴与挡板的距离，经放大器放大后，再按规定的变化规律输出标准的气压信号。同时，输出信号通过反馈部分的正、负反馈作用，使调节单元重新处于平衡状态，输出稳定。其中，P.I.D 调节规律是通过反馈部分的节流通室或节流盲室实现的。

通过比例阀、积分阀和微分阀来调整调节单元的比例带、积分时间和微分时间。

表 9.2.3—2 给出构成不同调节规律的方法。

调节单元的整定参数

比例带：5%～250%；10%～500%

积分时间：0.01～5min；0.05～20min

微分时间：0.05～10min

表 9.2.3—2　　构成不同调节规律的方法

	比例作用(P)	比例积分作用(PI)	比例积分微分作用(PID)
力矩平衡式	利用输出信号在杠杆上的负反馈实现比例作用，改变杠杆比可改变比例范围 P_i—测量信号；P_c—输出信号；P_y—气源	在比例作用的正反馈回路中，串联一个非周期环节而实现的 P_G—给定信号，余者同比例作用	微分环节与比例积分环节串联而实现的

续上表

	比例作用(P)	比例积分作用(PI)	比例积分微分作用(PID)
力平衡式		P_G P_F P_Y P_C I J H G F E r2 r1 利用中间流通气室的压力分配原理的比例调节器上，在正反馈回路中串联一个非周期环节而实现	P_r P M L I J H G F E P_G P_F P_Y P_C 微分环节与比例积分环节串联而实现

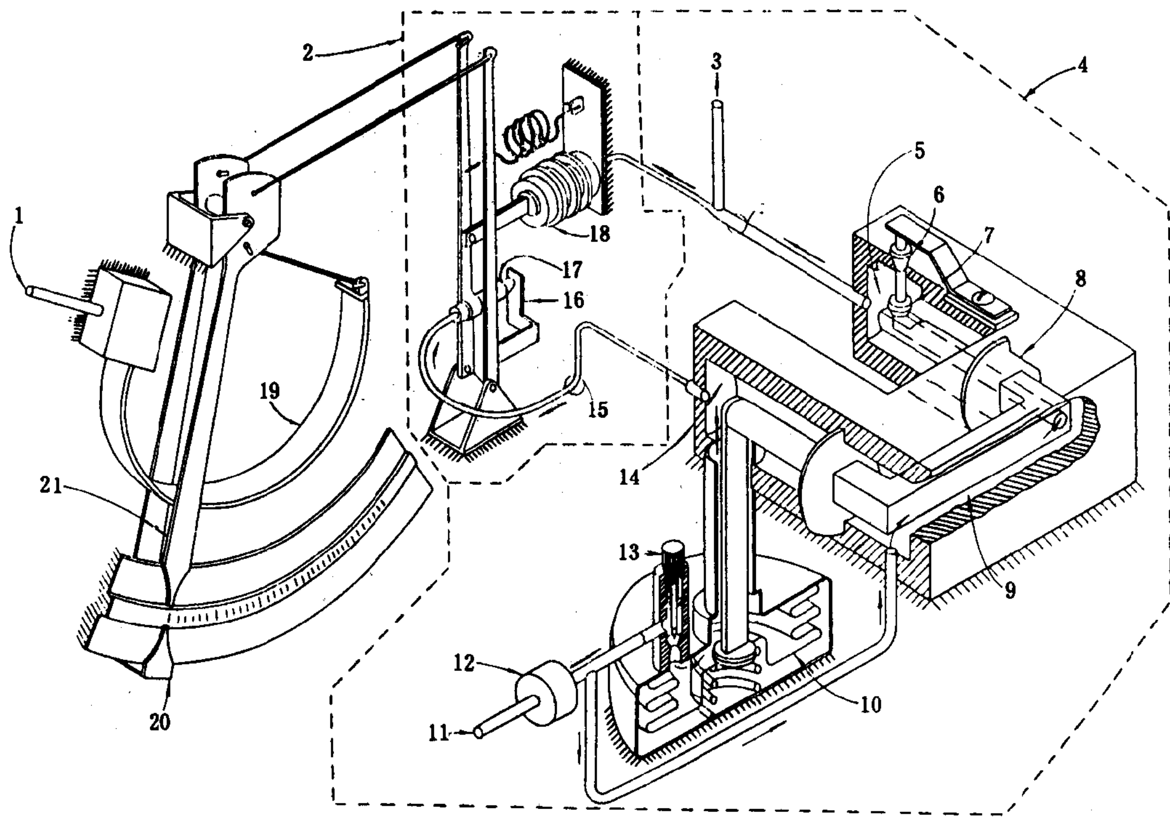


图 9.2.3—4　BAILEY 型压力变送器

1—压力测量信号；2—喷嘴—挡板组件；3—变送器输出信号；4—功率放大器组件；5—气室；6—排出阀；7—进气阀；8—膜片；9—气室；10—波纹管；11—气源；12—滤器；13—节流阀；14—气室；15—喷嘴背压；16—挡板；17—喷嘴；18—反馈波纹管；19—波登管；20—输出压力信号指针；21—测量压力信号指针

2.2 BAILEY 型气动压力变送器

BAILEY 型气动压力变送器是按位移平衡原理工作的。它将被检测的压力信号按比例转换成相应的气信号输出。当被检测的压力信号变化时,使波登管产生相应的角位移,通过杠杆机构改变喷嘴与挡板的距离,经放大器放大后,输出相应的气压信号。同时,通过反馈波纹管,使变送器重新处于平衡状态,输出才稳定。图 9.2.3—4 示出变送器的结构原理。

变送器的测量范围,对于 A 型为 0.02～0.2MPa;B 型为 0.02～0.1MPa;C 型为 0.04～0.18MPa。

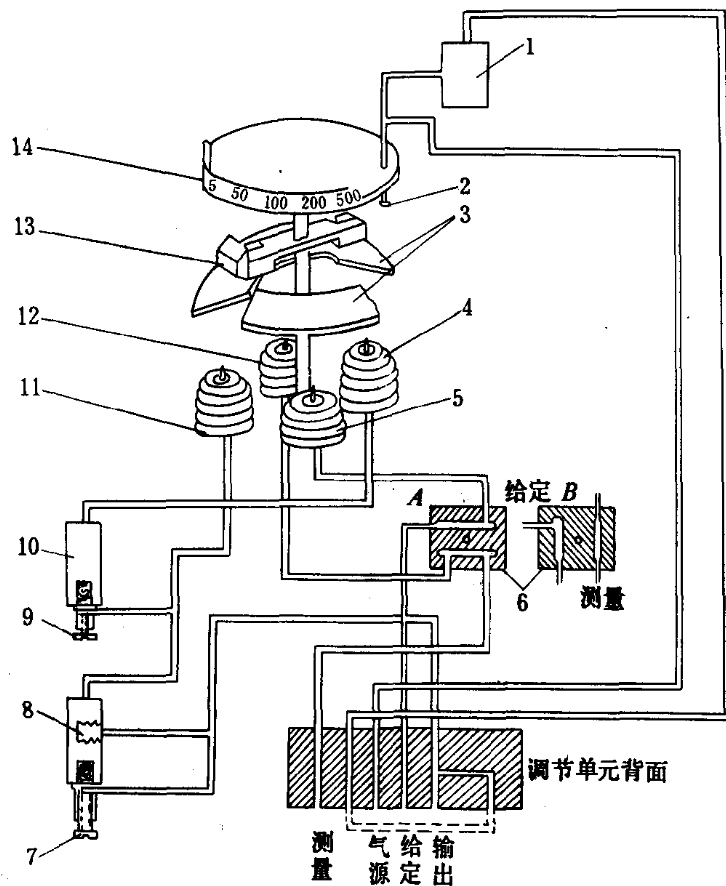


图 9.2.3—5　M58 型气动调节器

1—放大器;2—喷嘴;3—浮动环;4—正反馈波纹管;5—测量波纹管(B)或给定波纹管(A);6—正、反作用切换板;7—微分阀;8—微分气室;9—积分阀;10—积分气室;11—负反馈波纹管;12—给定波纹管(B)或测量波纹管(A);13—比例带调整杆;14—比例带盘

2.3 M58 型气动调节器

M58 型气动调节器是按力矩平衡原理工作的通用性 PID 调节器。其结构原理如图 9.2.3—5 所示。在浮动环 3 的下面对称放着四个波纹管,其中给定波纹管 12 和测量波纹管 5 为一组;负反馈波纹管 11 和正反馈波纹管 4 为另一组。两组波纹管同时作用于浮动环 3。浮动环既作为力矩的比较机构,又作为挡板。浮动环上面有一个比例带调整杆 13,作为浮动环偏转的支

点。

当测量值偏离给定值并出现偏差时，使浮动环失去平衡，经喷嘴—挡板及放大器放大后，按规定的变化规律输出相应的气信号。同时，输出信号通过正、负反馈回路的作用，又使浮动环重新处于平衡状态，输出稳定，实现 PID 调节规律。

其中，比例带为 10%～500%；积分时间为 0.01～10min；微分时间为 0.01～10min。

2.4 NAKAKITA 型气动调节器

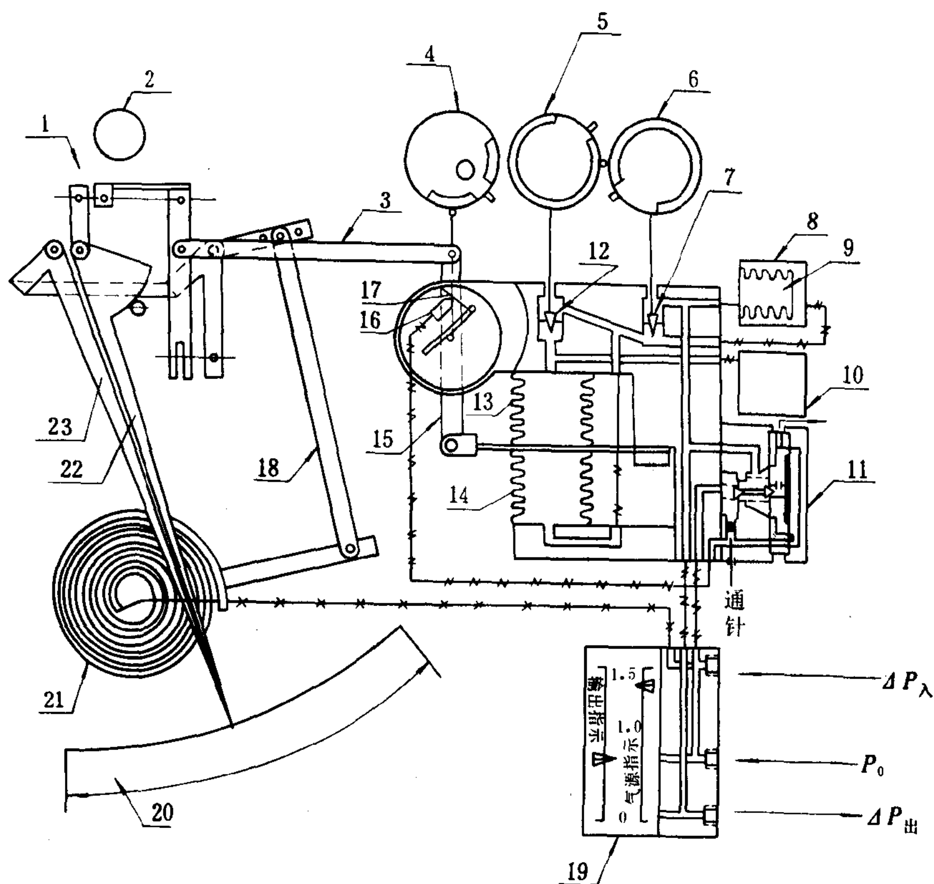


图 9.2.3—6 NAKAKITA 型调节器原理图

1—指示和给定机构；2—给定值调整旋钮；3—传动杆；4—比例系数调整盘；5—积分时间调整盘；6—微分时间调整盘；7—微分阀；8—微分气室；9—微分波纹管；10—积分气室；11—放大器；12—积分阀；13—积分波纹管；14—比例波纹管；15—比例杆；16—喷嘴；17—挡板；18—测量连杆；19—双针压力表；20—指示标度板；21—螺旋盘管；22—给定指针（红色）；23—测量指针（黑色）

NAKAKITA 型气动调节器是按位移平衡原理工作的 PID 调节器，它由测量与给定、比例、积分与微分四部分组成的。当被调参数偏离给定值并出现偏差时，通过波纹管、测量连杆、传动杆和比例杆来改变喷嘴与挡板的距离，经放大器放大后，按规定的变化规律输出相应的气压信号。同时，输出信号通过反馈部分，使调节器重新处于平衡状态，输出稳定，实现 PID 调节规律。图 9.2.3—6 示出 NAKAKITA 型调节器原理图。

调节器的主要技术参数

输出信号：0.02～0.1MPa

比例带：10%～250%

积分时间:0.1～20min

微分时间:0.05～10min

基本误差:1%

2.5 VAF 型气动调节器

VAF 型气动调节器是按位移平衡原理工作的 PI 调节器。当测量值偏离给定值时,通过连杆 AB、杠杆 BD、绕性杆 PD 和转轴 P,改变喷嘴与挡板的距离,经放大器放大后,按规定的变化规律输出相应的气信号。同时,输出信号通过反馈气室、连杆 NL、MN、弹簧片和 ON,又使调节器重新处于平衡状态,输出稳定,实现 PI 调节任务。图 9.2.3—7 示出 VAF 型气动调节器原理。

VAF 型气动调节器主要参数

输入信号:0.02～0.1MPa;

输出信号:0.02～0.1MPa;

比例带:2%～200%;

积分时间:0.03～5min。

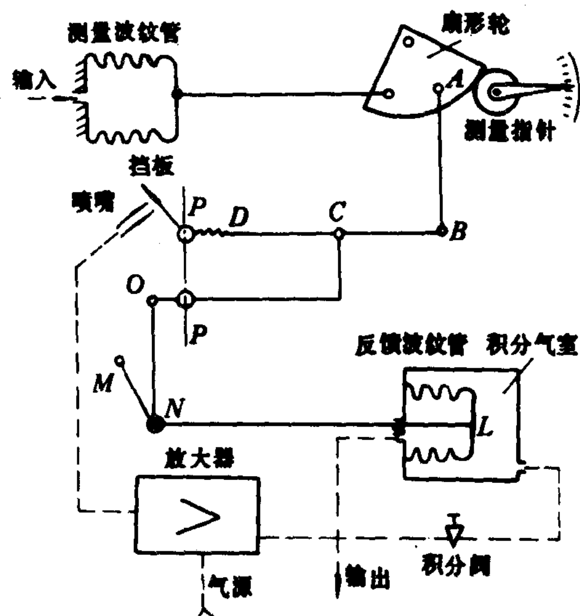


图 9.2.3—7 VAF 型气动调节器原理

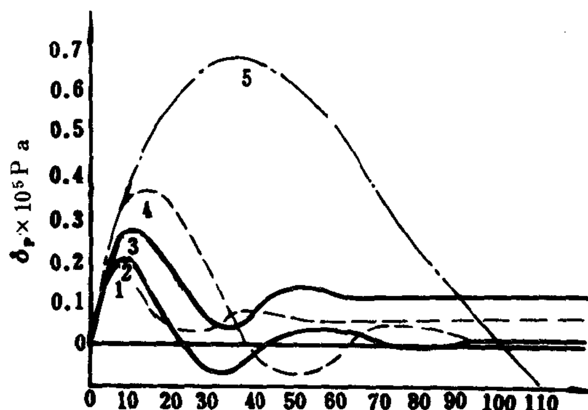


图 9.2.3—8 各种调节规律的比较
1—比例微分作用;2—比例积分微分作用;3—比例作用;
4—比例积分作用;5—积分作用

2.6 调节规律的特点及应用范围

表 9.2.3—3 给出各种调节规律的特点及应用范围。图 9.2.3—8 示出各种调节规律的比较,其中纵座标为偏差(δ_P),横座标为时间(s)。它表明各种调节规律的实际效果。

表 9.2.3　3　**各种调节规律的特点及应用范围**

调节规律	特　　点	应　用　范　围
比例	动态偏差小，并存在静差。 比例带越大，则静差越大，但系统易稳定；反之，系统易振荡。通常比例带小于20%时，易出现等幅振荡	适用于容量较大、调节通道滞后较小、负荷变化不大、生产过程要求系统平稳而又允许有静差的场合，如液位系统
积分	系统静差为零，但动态偏差大，调节过程时间长	适用于起动时间和滞后时间均很短的对象
微分	在偏差为常数时，微分作用停止	
比例积分	比例作用能加快控制过程，减小动态偏差，缩短控制过程时间；积分作用能消除静差。 积分时间越短，振荡的倾向越强烈，若积分时间太长，则积分作用不明显，静差太大	适用于调节通道滞后较小，负荷变化不大，而又要求无静差的系统，如流量和管道压力系统
比例微分	它能抑制偏差的增长，减小波动幅度，减小静差。 微分时间越大，静差越小，但时间增大有使系统振荡的倾向	适用于容量大，滞后时间长，负荷变化较小而反应速度较慢的系统
比例积分微分	除具有比例积分作用的特点外，增加了能抑制偏差的增长，减小动态偏差的微分作用	适用于多容量和滞后大的系统

3　电动调节仪表

3.1　DDZ型电动单元组合仪表

3.1.1　概述

3.1.1.1　分类

1)变送单元：将各种被测参数转换成直流 0～10mA 或 4～20mA 的统一信号。

2)调节单元：将被测信号与给定信号进行比较，并按偏差输出不同调节规律的调节信号。

3)给定单元：输出 0～10mA 或 4～20mA 直流信号，并作为被调参数的给定值送到调节单元。

4)显示单元：用于指示、记录被测参数的变化。

5)计算单元：对 0～10mA 或 4～20mA 直流信号进行代数运算。

6)转换单元：DDZ 型仪表与其余仪表之间联系的单元，如气—电转换器和毫伏转换器等。

7)辅助单元：指操作器、选择器、阻尼器和限幅器等。

3.1.1.2　特点

它能把整套仪表分为若干能独立完成某项功能的典型单元。各单元之间的联系都采用统一的信号。为此能灵活的组成各种自动检测系统和调节系统，便于同计算机和数字装置配合。符合现代生产自动化的要求。

3.1.1.3 主要性能参数

统一信号：0～10mA·DC、4～20mA·DC和控制室联系信号1～5V·DC。

基本误差：DDZ—Ⅱ型为0.5级和1.0级；DDZ—Ⅲ型为0.2级、0.5级和1.0级。

负载电阻：Ⅱ型为0～1.5kΩ和0～3kΩ

Ⅲ型为250～750Ω和0～100Ω

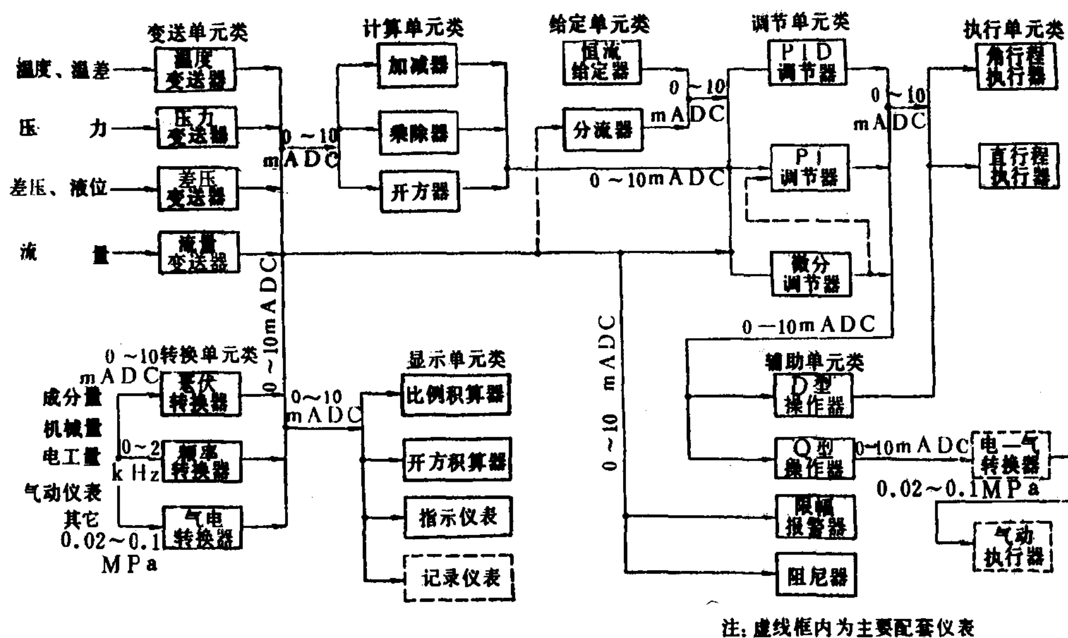
电源：Ⅱ型为220V,50Hz

Ⅲ型为DC24V

环境条件：室内为0～45℃或0～50℃

现场为－10～＋60℃或－40～＋80℃

图9.2.3—9示出DDZ—Ⅱ型和DDZ—Ⅲ型仪表系统示意图。



a)DDZ—Ⅱ型

图9.2.3—9

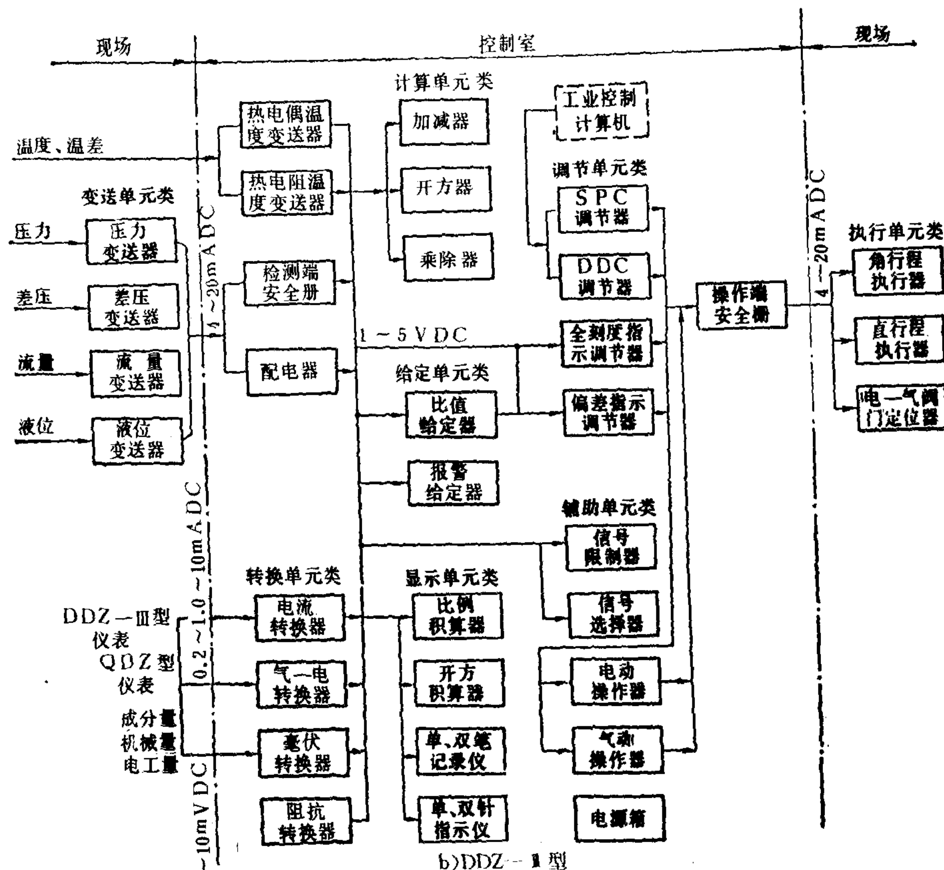


图 9.2.3—9　DDZ—Ⅱ型和 DDZ—Ⅲ型电动单元组合仪表系统示意图

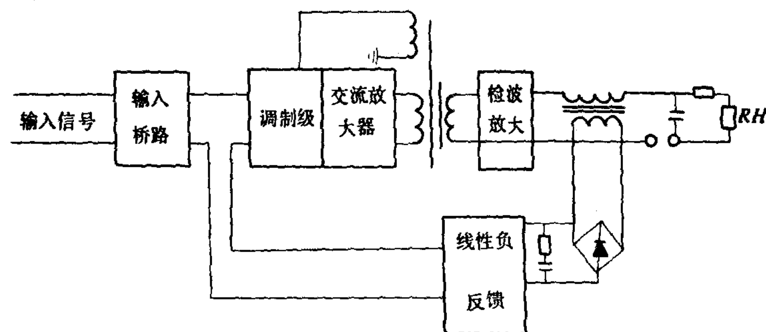


图 9.2.3—10　温度变送器原理方框图

3.1.2　DDZ—Ⅱ型 DBW 温度变送器

它是将热电偶(或热电阻)的毫伏信号转换成 0～10mADC 统一信号，其实质是——直流毫伏变送器。它的输出电流与输入的毫伏或欧姆值成线性关系。

检测的温度信号经输入桥路与负反馈信号比较后，送到场效应管型自激调制放大器，使其输入的直流信号变成交流信号。其中，只有微小的交流信号经交流放大器放大到足够高的电平后，再由输出变压器输出到检波放大器，滤波后输出 0～10mA 的统一信号，供显示、调节仪表。同时，检波器的输出经隔离变压器整流输出一直流作为反馈信号，保证输入信号与输出信号成线性关系。图 9.2.3—10 示出温度变送器的原理方框图。

通常设置改变量程(即调整反馈量)、零点迁移(调整桥臂电阻)和放大器开环放大倍数三

个电位器。

3.1.3 DDZ—Ⅲ型矢量机构差压变送器

这种矢量机构的力平衡式差压变送器与DDZ—Ⅱ型的主要区别是：量程调整方式，它不是用改变杠杆比的方法，而是通过矢量机构将测量力分解成两个力，用改变有效分力的大小来改变量程。矢量机构具有零点稳定，抗振性强，调整方便等特点。

它首先将差压转换成力F_1，使主杠杆逆时针方向转。主杠杆对矢量机构的推板5作用一个水平推力F_i，矢量机构又把F_1分解成两个分力F_2和F_3。F_3顺着矢量板的方向，由于矢量板的两头是固定在机座上，故F_3被矢量板固定支点的反作用力所平衡，它不起任何作用。F_2是垂直向上的力，它作用于副杠杆12上，副杠杆在F_2的作用下，以支点8为中心顺时针方向转动，使可动衔铁9靠近差动变压器11，衔铁9和差动变压器之间的气隙减小，导致差动变压器的输出电压增大。该信号经低频振荡位移检测放大器10放大后，又使输出电流I_0增大。因反馈线圈13处于一个永久磁场之中，所以，当I_0流过动圈时，便会产生一相应电磁反馈力（吸力）F_f。此力作用在副杠杆垂直臂的一端，当反馈力F_f产生的逆时针方向的力矩与F_2产生的顺时针方向的力矩趋于相等时，整个测量系统便达到新的平衡状态，输出稳定。图9.2.3—11示出矢量机构差压变送器。

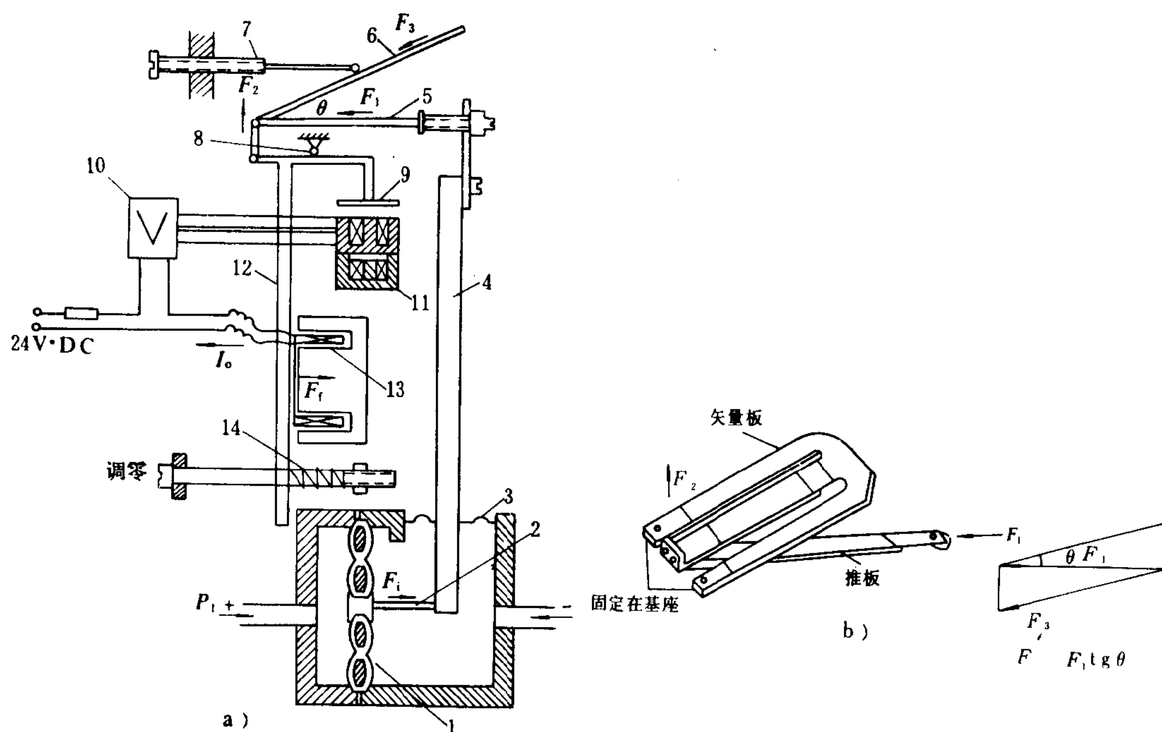


图9.2.3—11　矢量机构差压变送器

a)结构原理；b)矢量板的结构与力的分解

1—膜盒；2—连接件；3—轴封膜片；4—主杠杆；5—推板；6—矢量板；7—量程调整螺钉；8—支点；9—衔铁；10—低频振荡位移检测放大器；11—差动变压器；12—副杠杆；13—反馈动圈；14—调零弹簧

3.1.4 DDZ—Ⅲ型调节单元

这种DDZ—Ⅲ型全刻度指示调节器，由控制单元和指示单元两部分组成。控制单元包括输入电路、比例微分电路、比例积分电路、输出电路、软硬手动操作电路；指示单元包括输入信

号指示和给定信号指示电路、内给定电路。调节单元的原理，如图 9.2.3—12 所示。输入信号为 1～5V·DC，给定信号有内给定和外给定两种。内给定信号为 1～5V，外给定信号为 4～20mA，可用切换开关选择。输入信号与给定信号通过偏差差动电平移动电路进行相减运算，其偏差通过比例微分电路进行比例微分运算，再经比例积分电路进行比例积分运算，最后由输出电平移动电路输出 4～20mA 统一信号控制执行机构；同时，输入信号与给定信号分别经两个指示放大器，把 1～5V 电压信号转换成 1～5mA 电流信号，并用双针指示表分别加以指示。

这种调节器具有精度高、长时间的输出保持特性；有软手动与硬手动两种操作方式；非平衡无扰动手动与自动切换；调节器出故障时，可以无扰动切换到手操作器，进行手动操作等特点。

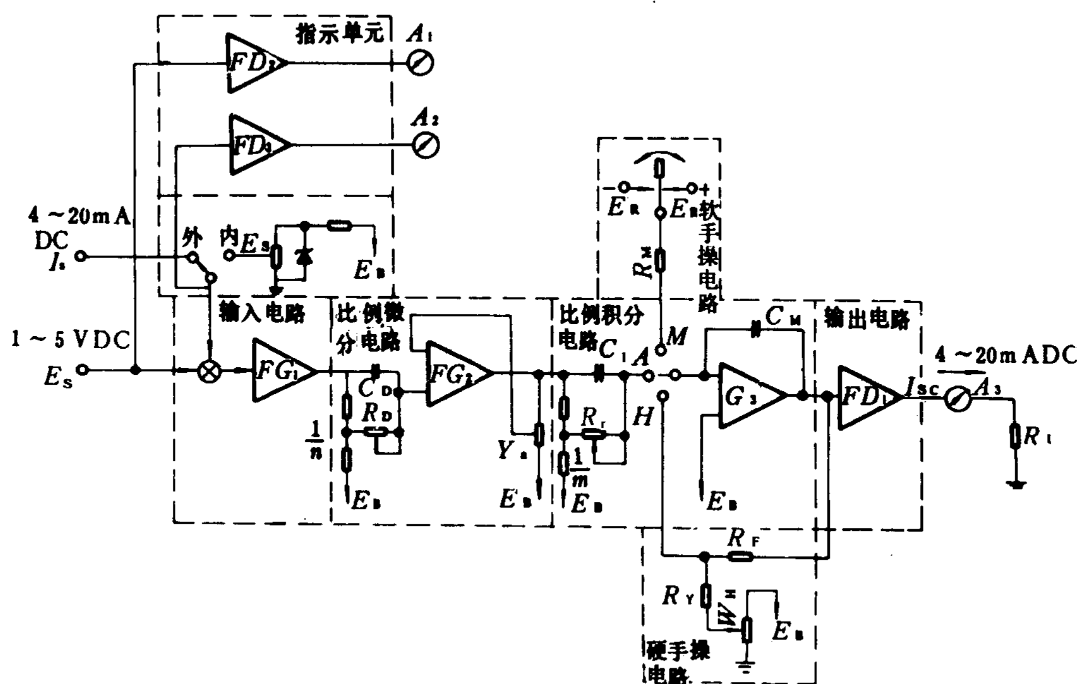


图 9.2.3—12　全刻度指示调节器原理图

3.2　ICE 指示调节器

3.2.1　概述

ICE 指示调节器属于 I 系列电子控制装置。I 系列* 电子控制装置包括 ICE 指示调节器、ICE 计算机给定指示调节器、ICE、DDC 备用指示调节器、ICD 偏差指示调节器、IKH 位式调节器、IRO 比值给定器以及操作器和选择器等。

这种调节器适用于温度、压力、流量等过程参数的自动调节，除完成 PID 运算外，还附有输出限幅、间歇开关、前馈输入、自动选择、输入报警和自动/手动触点输入等功能。由于采用集成元件和国际标准信号(4～20mA·DC)，能与计算机联用，并提高了仪表的可靠性。手动操作方式有两种可变速度的软手操和便于起动及紧急操作的硬手操。总之，具有安全防爆、精度高、性能稳定、品种齐全可靠和维护简便等特点。

---

* I 系列电子控制装置是西安仪表厂引进日本横河电机制作所产品。

3.2.2 工作原理

调节器投入自动运行时，首先将自动/手动切换开关转到自动位置，仪表处于自动运行状态。测量值 E_I 与给定值 E_s（内给定值为手动给定）进行比较，所得的偏差信号经正反作用切换开关 A1 放大器把偏差信号放大 2 倍，A1 的输出送到由 C_D 和 R_D' 组成的微分运算电路。改变 R_D 的数值，可改变微分时间。放大器 A2 接受微分电压，A2 的反馈回路 R_p 决定比例带的大小。放大器 A3 和 C_p、C_I、R_I 构成比例积分运算电路，改变 R_I 的数值，可改变积分时间。积分器的输出电压为 E_0 并送到放大器 A4 转换成电流 I_0 输出。调节器的电路原理如图 9.2.3—13 所示。

比例增益：$K_p=\frac{1}{5}\cdot\alpha\cdot\frac{C_p}{C_I}$

积分时间：$T_I=10R_IC_I$ 或 R_IC_I

微分时间：$T_D=10R_DC_D$

微分增益：$K_D=10$ 倍

测量值、给定值分别输入到放大器 A5 和 A6 内。A5 和 A6 的输出驱动指示表 M_2 和 M_1。当测量/校正开关转到校正位置时，则双针指示表的双针均应指示在 50%上，以此判断双针指示表是否正常。图 9.2.3—14 示出调节器的操作面板。

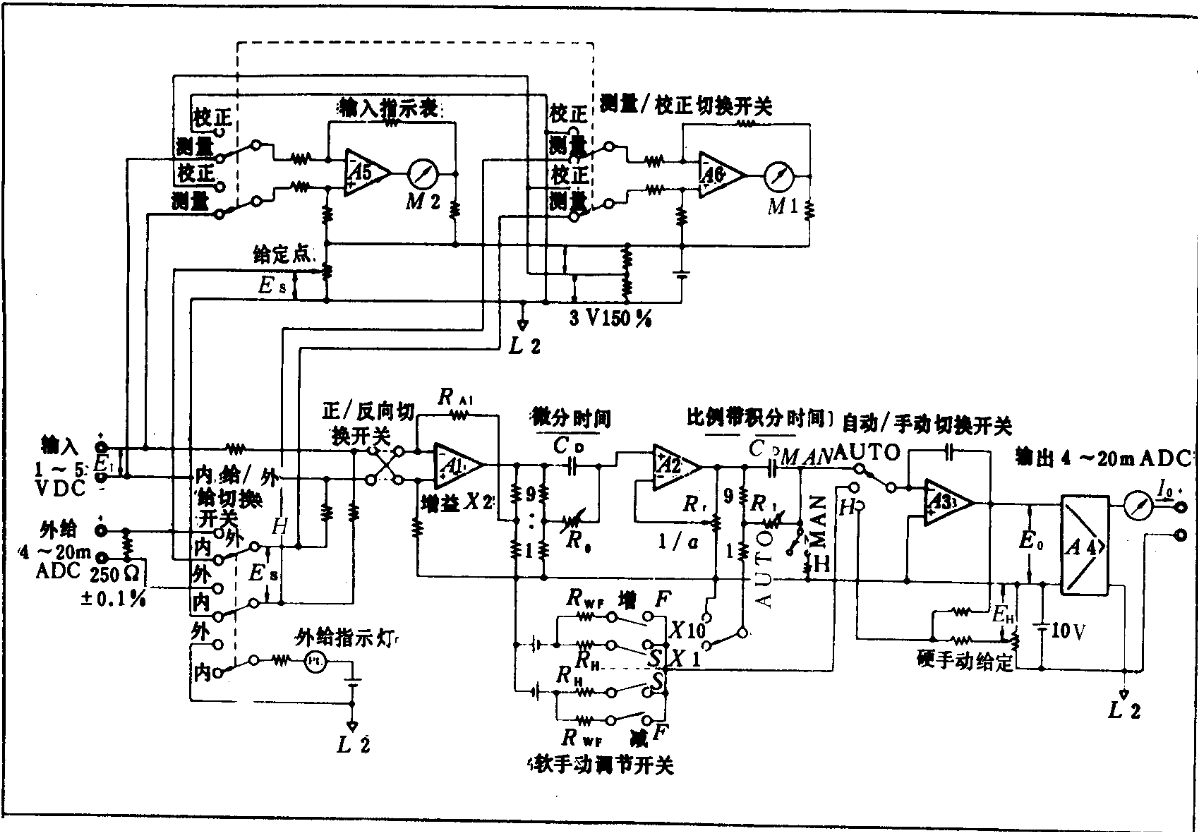


图 9.2.3—13 调节器的电路原理图

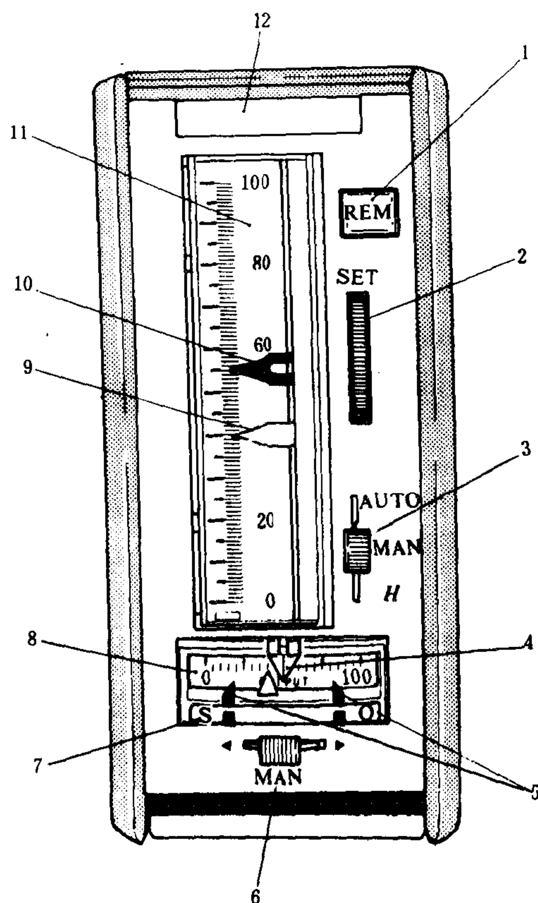


图 9.2.3—14　调节器的正面操作面板

1—外给定指示灯；2—内给定拨轮；3—自动—手动切换开关（自动、手动和硬手动三位切换开关）；4—硬手操给定杆（硬手操时调节器的输出跟踪给定杆位置）；5—记忆输出信号限幅值指针；6—手动操作开关；7—调节阀动作方向显示板；8—输出指示表；9—测量指针（红针）；10—给定指针（黑针）；11—指示表；12—流程牌（上写流程号，内装报警指示灯）

3.2.3　主要技术性能参数

输入信号：1～5V・DC

给定方式：用切换开关转换内给定/外给定

内给定机构：用电位器且连续可调

外给定：用 4～20mA・DC

调节作用：PID

比例系数为 2%～500%

积分时间快档为 0.01～2.5 min；

慢档为 0.1～25min

微分时间有切除和 0.04～10min

测量值与给定值指示：指示范围为 0～100%，精度为±0.5%刻度全长

精度：±0.5 的量程

输出信号：4～20m・DC

负载电阻：250～750Ω

自动—手动切换开关：可进行自动⇌手动双向无平衡无扰动切换

电源：24V・DC±10%

3.2.4　故障分析（见表 9.2.3—4）

表 9.2.3—4

故障分析表

现　　象	分析与检查
调节单元板内的基准电压（10）误差太大	1. 在供电电压下，IC 发热较严重时，检查电路板是否短路 2. 调节单元板内的 A5
输入指示不正常	1. 输出放大板内的 A1 2. 输入指示表 M102
输出指示不正常	1. 输出指示表 M103 2. 调节单元板
自动、手动、硬手动时，调节动作不正常	1. 依次检查调节单元板内的 A3、A2、A1、A4、Q3 的输出 2. 检查 A1 时，使工作处于手动状态

续上表

现　　象	分析与检查
	3. 当 C_6 充电时，测量 Q1 发射极与 B1 基准之间电压应在 0～6V 之间，手操开关则发射极电压也应有变化。检查 A1 的(＋)输入端电压应是 10V
	4. Q1 的发射级电压变化为 1～5V 时，则 Q3 输出的电流为 4～20mA
自动时，调节动作不正常	1. 检查调节单元的 A3、A2 输出。A3 应为基准 B1 的 2 倍；A2 输出与偏差成比例（切除微分后）

3.3　EDR—75 型扩散硅差压变送器

3.3.1　概述

EDR—75 型扩散硅差压变送器属于 EDR/EPR 系列扩散硅变送器中的一种规格。EDR/EPR 系列变送器包括差压变送器，压力变送器和液位变送器等八种规格。

3.3.2　工作原理

扩散硅差压变送器是利用硅半导体的压阻效应，即硅半导体电阻的阻值变化与压力的关系。它是通过隔离膜片、封入液（如硅油）把高压腔感受到的压力传递给扩散硅构成的桥路，桥路输出信号经电压/电流转换放大器放大后，输出 4～20mA·DC 的信号。图 9.2.3—15 示出感受部分结构示意图和转换放大部分方框图。

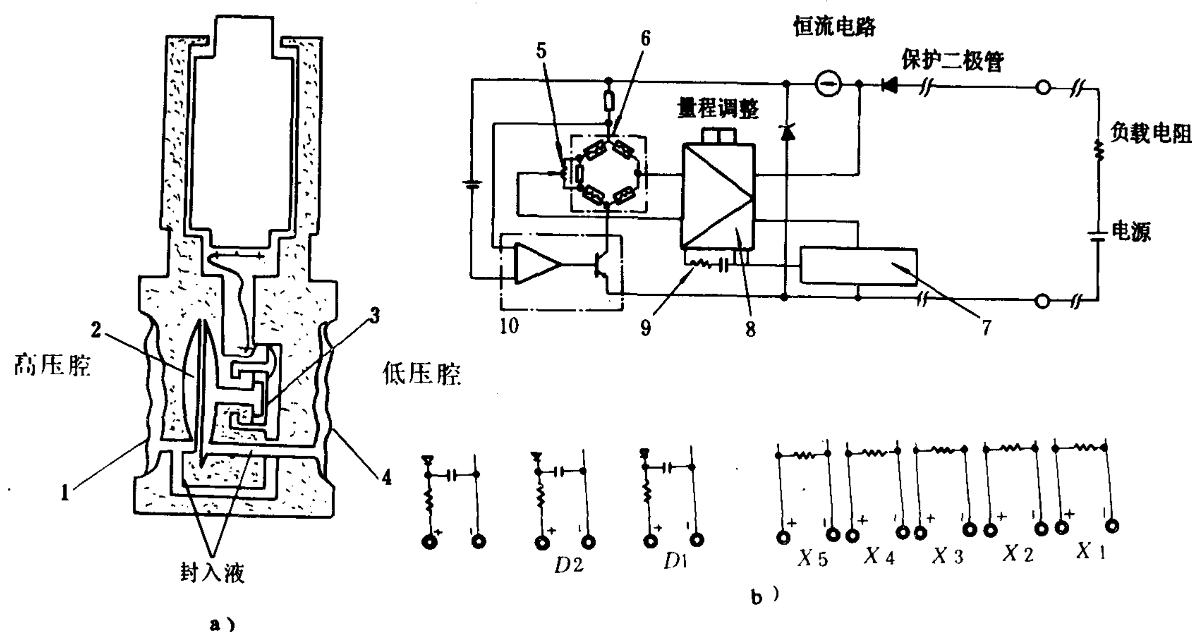


图 9.2.3—15　扩散硅差压变送器示意图

1—隔离膜片；2—中心膜片；3—半导体敏感元件；4—隔离膜片；5—零点调整；6—半导体敏感元件；7—输出电流限制电路；8—电压/电流转换放大器；9—阻尼调整；10—电源恒流供电回路

这种变送器具有：结构简单、工作可靠、能长期稳定运行；精度可高达±0.20%；对温度变化、冲击、振动等环境影响有很强的适应性；变送器内部有防止电气干扰的具体保护电路；调整方便和易于维修等特点。

3.3.3　主要技术参数

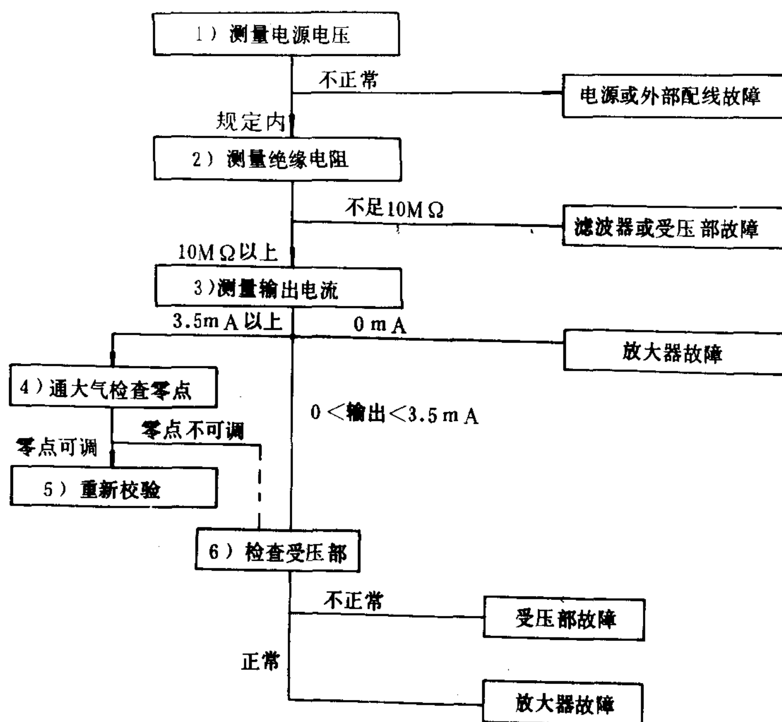


图 9.2.3－16　故障部位判断流程图

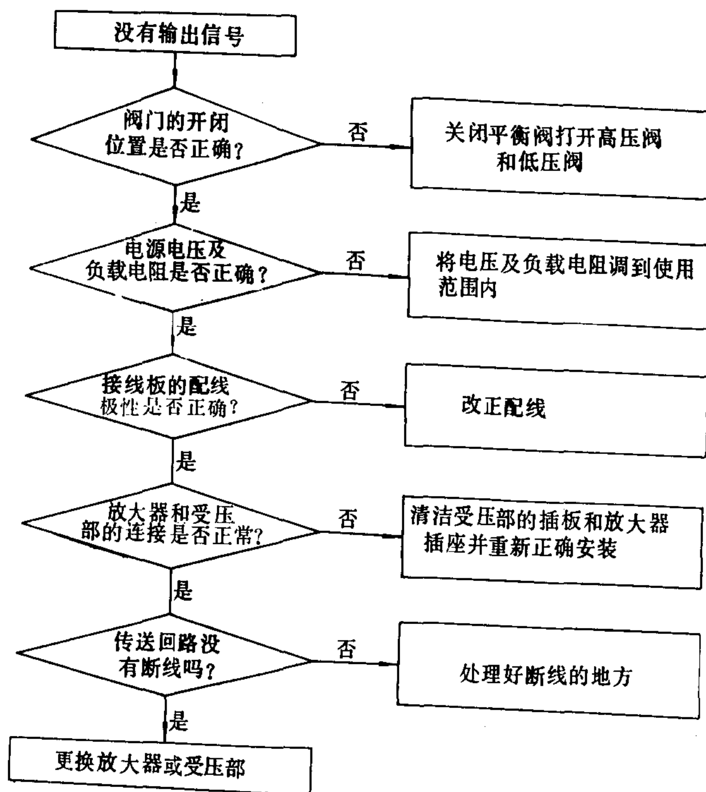


图 9.2.3－17　没有输出信号的故障查找及排除流程

1）型式：有防水、隔爆、安全火花三种类型

2）输出信号：4～20mA・DC

3）精度：量程的±20%（包括线性变差和重复性）

4）死区：量程的0.01%

5）差压范围：基准量程为2.94～117.68kPa

6）使用温度范围：

环境温度最大在－40～＋90℃（防水型）

测量液温度最大在－40～＋120℃

7）封入液体：硅油

8）静压范围：

基准量程为2.94～392.27MPa；

适用范围为－98kPa～14.7kPa

9）零点调整范围：

基准量程为2.94～392.27kPa；

零点调整范围为±0.294～±34.3kPa

3.3.4　维护管理和故障排除

注意事项

1）在导压管和变送器与取压口相对高度等安装正确前提下，随时注意排液和排气。

2）变送器应远离对讲机和无线电天线，减少高频干扰。

3）放大器内部相对温度，不允许超过90%，经常检查密封件是否失效。

4)在改变量程或更换放大器时，应重新调整零点和量程。

5)变送器的输出是否稳定。

6)注意平衡阀的通断，防止单向承压。

故障排除

当变送器工作不正常时，首先按图 9.2.3—16 示出的故障部位判断流程图查明故障部位。其次，根据故障现象找出故障原因并排除。图 9.2.3—17 示出没有输出信号的故障查找及排除流程。

3.4　1151LLT 型电容式液位变送器

1151LLT 型电容式液位变送器属于 1151 系列变送器中的一种规格。

3.4.1　工作原理

被测压力经过一次隔离膜片和充满硅油的全密封毛细管系统传送到 δ 室的敏感元件上。再经二次隔离膜片和充注硅油传送到 δ 室的中央测量膜片的一侧，而大气压力或基准压力作用在测量膜片的另一侧。测量膜片的位移量最大为 0.1mm，其位移正比于差压。同时测量膜片的位置由它两边的电容极板来检测。测量膜片和电容极板形成的差动电容通过测量电路转换成二线制的 4～20mA・DC 输出。图 9.2.3—18 示出测量部分的 δ 室结构示意图。图 9.2.3—19 示出变送器测量电路的原理方框图。

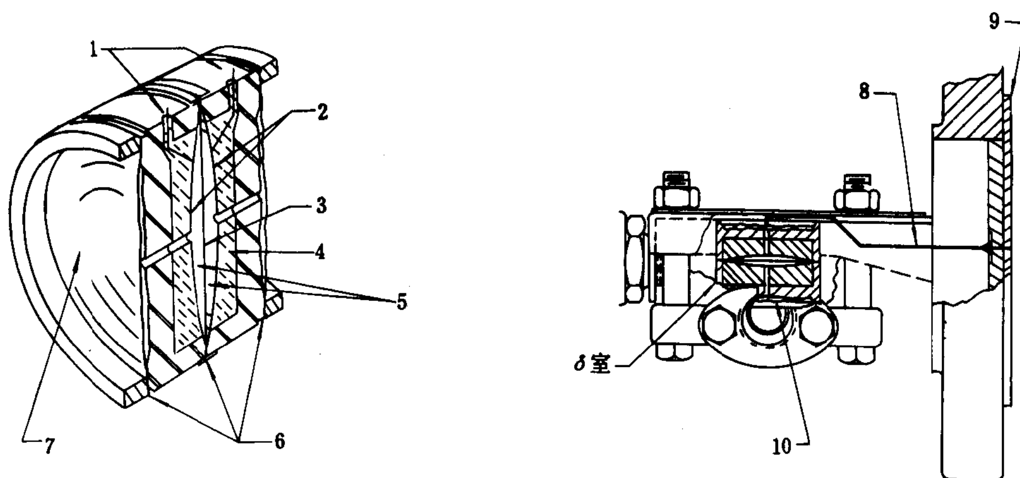


图 9.2.3—18　δ 室结构示意图

1—引线；2—电容极板；3—测量膜片；4—刚性绝缘体；5—硅油；6—焊接密封；
7—隔离膜片；8—毛细管；9—传压膜片；10—补偿膜片

变送器具有如下特点：精度高、体积小、坚固抗振、稳定性好、单向过载保护性好、适用检测腐蚀介质、阻尼时间可调及互换性好等。

3.4.2　主要技术参数

测量范围：0—6.2～37.4kPa

0—31.1～186.8kPa

0　117～690kPa

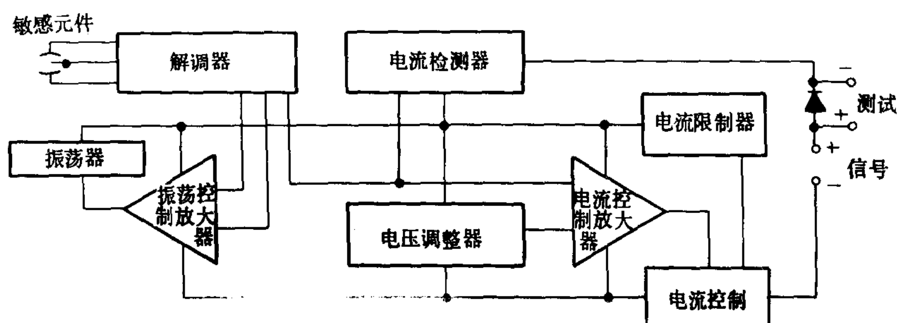


图 9.2.3—19　变送器测量电路原理方框图

精度:调校量程的±0.25%(包括线性、变差和重复性的综合误差)

稳定性:6个月内不超过最大量程的±0.25%

输出:4～20mA・DC

迁移量:最大正迁移量为最小调校量程的500%

最大负迁移量为最小调校量程的600%

温度范围:放大器为－29～＋93℃

敏感元件(充硅油)－40～＋104℃

阻尼时间常数:0.4～1.67s(充硅油)

3.4.3　使用管理注意事项和故障分析

3.4.3.1　注意事项

1)按说明书要求处理安装、调试和拆卸。

2)随时注意引压管内是否存在气体或渗漏。

3)因变送器是电容耦合接地,所以不能用高压兆欧表检查绝缘电阻。线路检查只准用不大于100V的电压。

4)零点调整不影响量程,但量程调整会影响零点。不管输出多大,正负迁移后,其量程上下限均不得超过量程的极限。

5)不允许用任何氯化物或含酸的溶液清洗隔离膜片,应该用软布浸上中性的去污剂擦洗,最后再用清洁水漂洗。

3.4.3.2　故障分析

低输出或无输出的可能原因及排除方法

1)引压管:检查有无泄漏或堵塞;检查气体管里有无液体;检查法兰中有无沉积物;

2)电气连接:保证接插件的清洁,并检查敏感元件的连接情况;

3)电路故障:用备用板检查有故障的线路板;更换有故障线路板;

4)电源:检查电源输出。

输出不稳定的可能原因及排除方法:

电路:检查是否有断续的短路、断路和多点接地现象。

引压管:检查气体管内有无液体;液体管内有无气体。

电气连接:保证接插件的清洁;检查敏感元件的连接情况。

电路故障:用备用板检查有故障的线路板;更换有故障的线路板。

4　组装式电子综合控制装置简介

4.1　概　　述

TF型组装式电子综合控制装置是在电动单元组合仪表的基础上发展起来的一种新型仪表。它具有如下特点：

1)功能分离化：它由许多具有不同功能的"功能组件"组成的，每一块"功能组件"只完成一种功能(如调节、显示、操作等)，通过"功能组件"的组合，可灵活地组成各种复杂的调节系统。

2)结构组件化：整套装置由一块块不同的功能组件插接而成，这大大缩小仪表的体积和表盘的占地面积。同时，把显示、操作功能集中在控制台上，运算、调节功能集中在机柜中。

3)吸取了模拟量和数字量控制技术的优点：在模拟量控制方面，除线调节外，还可进行非线性调节；在数控方面，既能作计算机控制的"接口"，又能对系统工况进行监视、控制、联锁及逻辑判断等作用。

4)生产成套化：指按用户要求设计，成套提供。

5)输入输出信号统一：输入输出信号为0～10mA・DC和4～20mA・DC，内部运算信号为0～10V・DC，运算精度通常为±0.5%。

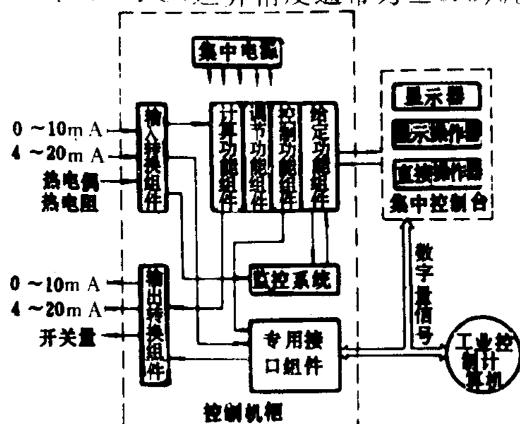


图9.2.3　20　组装式仪表的基本组成

图9.2.3—20示出组装式仪表的基本组成。

组装式仪表分为模拟量功能组件和数字逻辑组件两部分。模拟量功能组件包括：转换、计算、调节、控制、给定、显示、操作、电源等；数字逻辑组件可以组成监控系统、逻辑控制系统和与计算机连机接口等。

(1)转换组件：包括输入输出转换组件。输入转换组件用来把各种变送器或检测仪表送来的0～10mA・DC、4～20mA・DC、mV・DC、ΔR、F和U等信号转换成统一的联络信号0～10V・DC。而后送入系统作进一步处理；输出转换组件是把装置内部的0～10V・DC信号转换成0～10mA・DC、4～20mA.DC、触发脉冲、开关量等形式的输出信号，用来控制各种执行器。

(2)调节组件：将输入转换组件送来的信号与给定信号进行比较，并对比较后的偏差信号进行P、PI、PID、前馈及其它非线性等运算，最后输出0～10V・DC信号。

(3)计算组件：对0～10V・DC信号进行加、减、乘、除、开方、阻尼、非线性补偿和函数变换等数学处理，以满足各种自动控制系统的特殊需要。

(4)控制组件：用来进行自动报警、高低值选择、上下限限幅、跟踪比较和手动/自动切换等作用。

(5)给定组件:用来对调节组件进行恒值给定、比率给定、时间程序给定等。

(6)显示器:用来指示、记录和开方积算等。

(7)操作器:用来实现人一机联系,根据需要进行软手操或硬手操。

(8)监控系统:包括固定监控器、可变监控器、巡回监控器及逻辑给定、逻辑切换、优先报警、第一故障报警等控制器。系统出现故障后,能进行自动排除或自动切换,防止事故扩大。

(9)逻辑控制系统:指系统起停和联锁程序控制装置,并受报警组件和监控系统指挥。

(10)与计算机联接的"接口"组件。

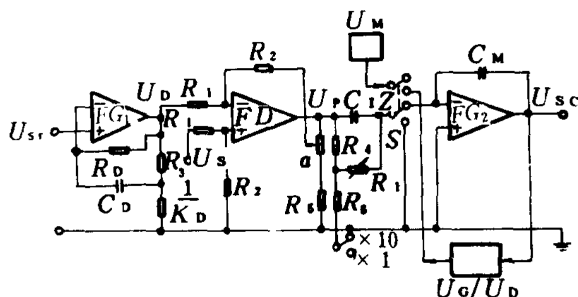


图 9.2.3—21 普通型 PID 调节组件原理电路

U_M—手操信号;U_G/U_D—输出限幅积分限制电路

4.2 普通型 PID 调节组件

普通型 PID 组件由比例微分运算电路、比例运算电路、比例积分运算电路、输出限幅积分限制电路、手动自动切换电路和跟踪电路等五部分组成,如图 9.2.3—21 所示。

它是采用微分、比例和积分作用相串联的运算方式。电压信号 U_{sr} 由高输入阻抗运算放大器 FG_1 所组成的微分电路的同相输入端引入,FG_1 的输出电压 U_D。这级的传递函数为

$$W_D(s)=U_D(s)/U_{sr}(s)=(1+T_Ds)/(1+\frac{T_D}{K_D}s)$$

式中:T_D——微分时间常数 s,$T_D=R_D \cdot C_D$;

K_D——微分增益,$K_D \approx 10$。

由运算放大器 FD 组成的比例放大器,电压 U_D 和给定电压 U_s 分别送到 FD 的两个输入端进行比较放大,其输出电压为 U_p。比例运算级的传递函数为

$$W_p(s)=U_p(s)/[U_D(s)—U_s(s)]=\alpha R_2/R$$

式中:α——电压 U_p 的分压系数。

由高输入阻抗运算放大器 FG_2 组成的积分器,对电压 U_p 进行积分运算,其输出电压为 U_{sc}。这级的传递函数为

$$W_I(s)=U_{sc}(s)/U_p(s)$$

$$=\frac{C_I}{C_m}(1+\frac{1}{mT_Is})/(1+\frac{1}{K_IT_IS})$$

式中:T_I——积分时间常数 s,$T_I=R_I=C_I$

m——系数,m=1 或 10

若普通型 PID 调节组件用于定值系统时,经整理化简后,可得出 PID 调节规律的标准形式:

$$W(s)=U_{sc}(s)/U_{sr}(s)$$

$$=K_pF(1+\frac{1}{FT_Is}+\frac{T_D}{F_s})/(1+\frac{T_D}{K_D}s)(1+\frac{1}{K_IT_Is})$$

式中:K_p——比例增益,$K_p=\frac{1}{5}\alpha=\frac{1}{5}(250\sim1)$;

比例带 $P=\frac{1}{K_p}100\%=2\sim500\%$;

T_D——微分时间常数，$T_D=R_DC_D=0.04\sim12min$；

T_I——积分时间常数，$T_I=R_IC_I$；

若 $m=1, T_I=0.01\sim2.5min$；

$m=10, T_I=0.1\sim25min$；

K_D——微分增益，$K_D=10$；

K_I——积分增益；

F——干扰系数，$F=1+\frac{T_D}{T_I}$。

这个组件与自动手动切换组件及显示操作器相配合，可实现自动手动双向无扰动切换。自动手动跟踪切换开关是设置在积分器的输入端，当开关置于手动 s 状态时，输出电压 Usc 与前级电压 U_p 无关。此时，与其接配的自动手动切换组件(Z/s)输出的手操信号将改变输出电压 U_{sc}。

为了防止积分饱和，积分器设有积分反馈型的输出上、下限限幅电路。当输出电压 U_{sc} 大于上限电压时，上限限幅比较器输出正向电压到积分器的输入端，迫使 U_{sc} 下降，不超过上限限幅值；当 U_{sc} 小于下限电压时，下限限幅比较器输出一个负电压到积分器输入端，迫使 U_{sc} 上升，而不低于下限限幅值。

4.3 显示操作器

显示操作器装在集中控制台上进行监视与操作。显示部分是将 0～10V·DC 电压信号按比例转换成 0～100mm 的指针位移。它能显示测量值、给定值和阀位开度。操作部分是通过电位器送出 0～10V·DC 电压作为调节系统的给定值。此外，还设有自动、手动按钮和手动增减操作柄，以便按要求进行集中操作。图 9.2.3—22 示出显示操作器的正面布置

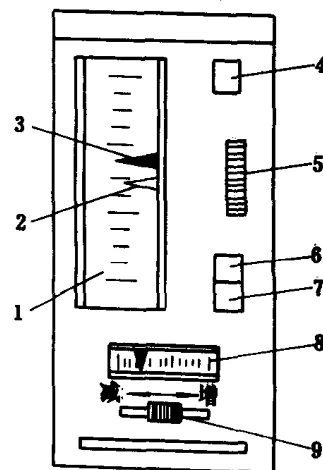


图 9.2.3—22 显示操作器正面布置

1—仪表刻度盘；2—给定值指针；3—被测值指针；4—故障灯；5—给定值拨轮 6—自动按钮；7—手动按钮；8—阀位指示表；9—手动操作柄

4.4 可变监控器

可变监控器能根据系统的需要完成各种监控功能，具有更大的通用性和灵活性，在可变监控器中，为使运行人员了解故障的严重性程度，设有严重故障点的优先声响报警电路。为了在同时发生的多个故障点找到第一个发生故障的点，以便判断故障起因，还设有第一故障点指示电路。所有故障点均有故障显示。

图 9.2.3—23 示出可变监控器的组成原理。16 个输入信号首先送到输入隔离转换器，把各种输入量(触点开关、电压、电阻)变为相应的逻辑电平信号，分送故障显示、第一故障显示和声光报警电路进行故障报警和显示。然后，为了提高抗干扰能力，并满足二极管"与""或"矩阵线路对电平的要求，将转换器输出电平信号进行电平转换，送入二极管"与""或"矩阵。在矩阵组件中进行逻辑运算后，输出监控的开关信号。

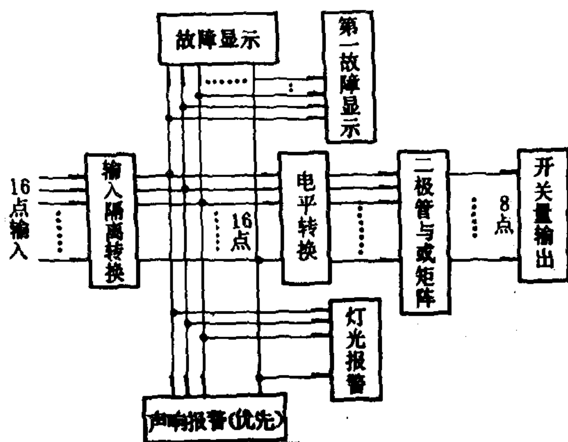


图 9.2.3—23 可变监控器组成原理

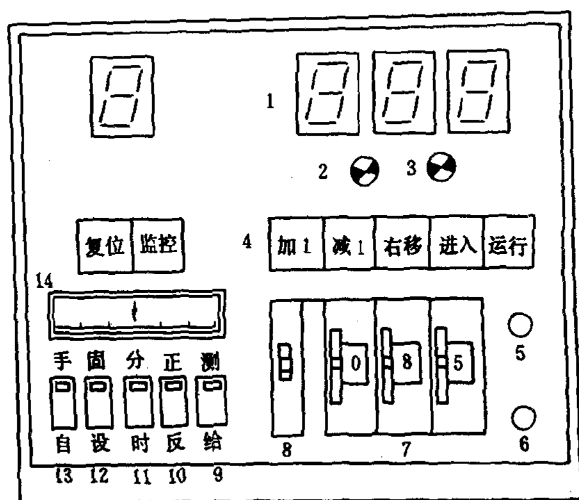


图 9.2.3—24 温度控制仪的面板

5 温度控制仪

5.1 概 述

温度控制仪是由单片机8039芯片构成的。这种以单片机为核心构成的智能温度控制仪，它可以完全取代DDZ—Ⅱ、Ⅲ型PID调节器，并在性能和精度方面还优于DDZ型调节器。

图 9.2.3—24 示出它的面板。图中1为数码管，它在运行过程中显示被测温度值，在输入或修改参数时，显示提示符及参数值；2为热电偶或热电阻开路报警指示灯；3为温度越限报警指示灯；4为键盘；5为手动控制时的输出电流控制旋钮；6为电源开关；7为三位十进制数字拨盘，用来表示被控参数的给定值；8为三位置拨动开关，用来表示调节器或温度程序控制工况；9～13为两位开关。14为输出电流指示表。

用于PID调节器工况时的操作步骤，简述如下：

开关12置于设定位置，三位置开关8置于上部的保温位置。按下监控键，根据显示器所指示的P、I、D提示符，送进相应的P、I、D各参数。用手动拨盘7给出被控温度的给定值。把开关9置于测量值位置；开关10选好正或反作用；开关13置于自动位置。最后按下运行键，仪表投入工作。

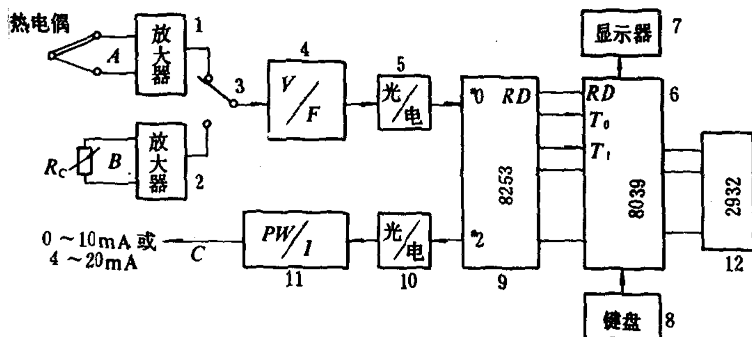


图 9.2.3—25 温度控制仪的原理方框图。

5.2 工作原理

图 9.2.3—25 示出温度控制仪的原理框图。其中，热电偶检测的温度信号送入前置放大器，热电偶的冷端补偿温度由热电阻给出并送入前置放大器，再通过计

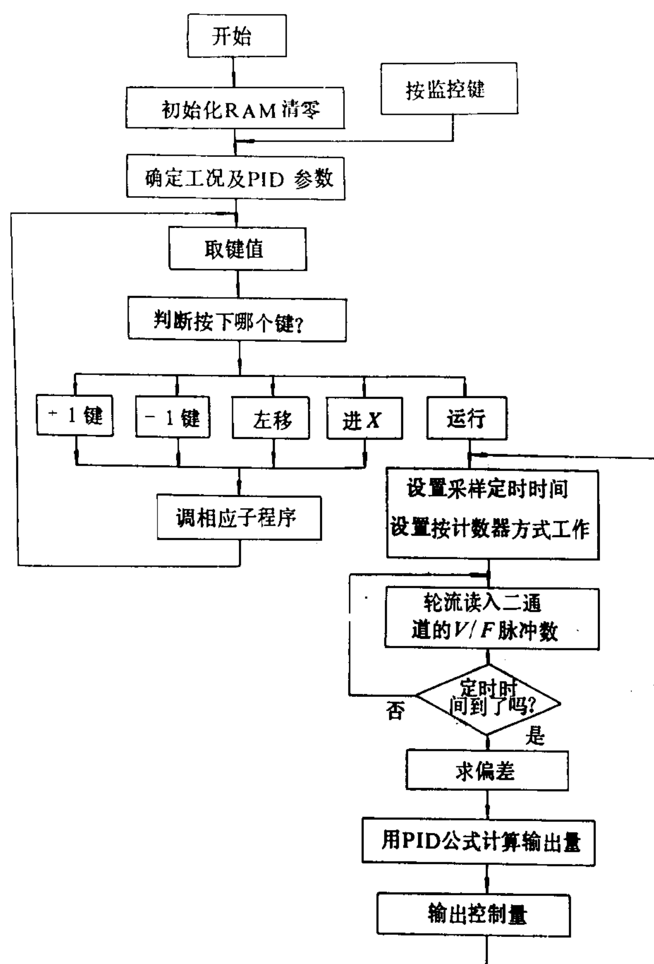


图 9.2.3—26　温度控制仪程序方框图

算机控制的模拟量切换开关 3 交替地送入电压—频率变换器 V/F。V/F 将反映温度高低的模拟量(电压值)转换为频率不同的脉冲信号,经光电隔离器 5、输入接口芯片 9 送入单片机 8039。计算机经运算求出的被测温度值送入显示器显示,同时通过接口芯片 8253 给出 PID 控制过程的输出(即脉冲宽度随控制量计算值大小而变化的脉冲信号)信号,再经光电隔离、脉宽模拟变换器 11,输出 0～10mA 或 4～20mA 的电流信号。除完成 PID 控制外,还具有温度程序控制、自检功能、手动控制功能、偏差越限报警功能等。全部程序固化在 2732 芯片(EPROM)中。

5.3 程序框图和控制算法

图 9.2.3—26 示出温度控制仪的程序框图。框图的上半部分为监控程序,下半部分为 PID 程序。

为了提高整个控制过程的动态品质和稳态精度,计算机可在:当偏差绝对值大于某一范围时,采用 PD 控制算法,改善动态品质;偏差小于某一范围时,采用 PID 控制算法,提高稳态精度。

1)PD 算法

连续系统 PD 校正的控制量为:

$$P = K'_p\left(E + T'_D\frac{dE}{dt}\right)$$

$$E = U_i - U_o$$

式中:U_o——给定值;

U_i——测量值;

K'_p——比例系数;

T'_D——微分系数。

采用离散算法的控制量为:

$$P_k = K'_p[E_k + T'_D(E_k - E_{k-1})/T]$$

$$E_K = U_{ik} - U_{ok}$$

式中:U_{ik}——第 k 次采样的测量值;

U_{ok}——第 k 次采样的给定值;

T——采样周期。

在程序中采用的实际算法为：

$$\begin{cases} P_k = A'E_k - R_{k-1} & E_k = U_{ik} = -U_{Dk} \\ B_k = B'E_k \end{cases}$$

式中：$A' = K'_p(1 + T'_D/T)$

$B' = K'_p \cdot T_D/T$

初始值可以取 $R_{k-1}=0$。算法程序中每步要计算 E_k、P_k、R_k，其中 R_k 为下一步计算控制输出量 P_k 用。

2)PID 算法

连续系统 PID 校正的控制量为：

$$P = K''_p\left(E + T''_D\frac{dE}{dt} + \frac{1}{T''_I}\int_0^t E dt\right)$$

采用离散算法为：

$$P_k = P_{k-1} + K''_p\left[(E_k - E_{k-1}) + \frac{T}{T''_I}E_k + \frac{T''_D}{T}(E_k - 2E_{k-1} + E_{k-2})\right]$$

式中：E_k——第 k 次采样的偏差；

K''_p——比例系数；

T''_i——积分系数；

T''_D——微分系数。

在程序中采用的实际算法为：

$$\begin{cases} P_k = A''E_k - Q_{k-1} & E_k = U_{ik} - U_{ok} \\ Q_k = P_k - B''E_k + C''E_{k-1} \end{cases}$$

式中：$A'' = K''_p\left(1 + \frac{T}{T''_I} + \frac{T''_D}{T}\right)$

$B'' = K''_p\left(1 + \frac{2T''_D}{T}\right)$

$C'' = K''_p\frac{T''_D}{T}$

初始值可取 $Q_{k-1}=0$，$E_{k-1}=0$。算法程序中每一步均要计算 E_k、P_k、Q_k，其中 Q_k 为下一步计算控制输出量 P_k 用。

6 VI87MA—E 型单回路指示调节器

6.1 概　述

单回路指示调节器是在控制单元上进行直接数字控制的控制装置。它除完成常规的 PID 调节功能外，还配备了与上位计算机通信的标准接口，扩大了装置的功能。其特点为

1)采用微处理器为控制核心后，实现了高功能、可编程的单回路控制器的要求。

2)在显示方面，数字指示器同指示表一并装在一起，设定和读数皆能达到 0.2%的高精度。

3)结构同模拟指示调节器类似，可同过去的调节器并行使用操作。

4)PID 等各种参数的增减设定键，采用单独操作方式。使操作方便、安全。

5)自诊断功能完善,能快速查寻异常状态并显示其异常部位。

6)内部设有标准的通信功能,以便与上位计算机系统联机控制。

6.2 主要技术参数

模拟输入信号:1～5V.DC,输入点数为5点

数字输入信号:无电压触点,输入点数为2点

操作输出信号:4～20mA·DC

辅助模拟输出信号:1～5V·DC

数字输出信号:继电器触点信号

设定方式

定值设定:手动设定UP/DOWN(本机)

远程设定:外部设定信号(1～5V.DC)或内部运算信号

数据传送设定:经远程数据传送

设定精度:±0.2%

选择方式:远程(R)/本机(L)切换开关

串级(CAS)/数据传送(SPC)切换开关

设定值和测量值指示:全刻度指示(指示精度±1.5%)

操作输出指示:0～100%(指示精度为±2.5%)

切换方式:手动(M)/自动(A)/数据传送(C)切换开关

参量设定和指示:UP/DOWN按钮开关和2位序号及4位数值显示

报警和仪表故障指示:发光二极管

控制功能:PID控制:非线性PID控制;比例控制;带积分分离及输出值切换的PID控制;带前馈输入的PID控制

控制运算组件:设定偏差运算处理、PID运算、非线性运算

运算功能:加、减、乘、除、绝对值、开方、温度补偿、压力补偿、变化率限制、高低值选择、变化率运算、延时、上下限报警、开关、比较、与、或、非

停电保护:设定值、可变参量和运算结果用内接电池或外部电源作停电保护用

PID设定范围:P为3%～500%;I为1～6000s;

D为0～900s

6.3 仪表的操作板结构

6.3.1 仪表的正面操作板

它与目前使用的DD8—Ⅲ型调节器的结构基本相同,且显示与操作一致。

全刻度指示调节器仪表正面操作板如图9.2.3—27所示。

其中,数字指示器8,在显示设定值时,左端显示s;显示测量值时,左端显示P。切换旋钮14可实现无平衡无扰动切换。

6.3.2 仪表侧面操作板

单回路指示调节器的参量取出和设定,均在仪表侧面操作板—参量设定部分进行,如图9.2.3—28所示。在变更参数时,先取出参数的序号,再进行现行值的增加或减少。

其中,读出参量序号最多可设定16个参量,控制参量用C_{01}～C_{16}表示序号;运算参数用P_1

～P_{16}表示；显示值参数用 H_1～H_{16}表示，数据读出值用参量数值显示器显示与参量序号相对应的数值。

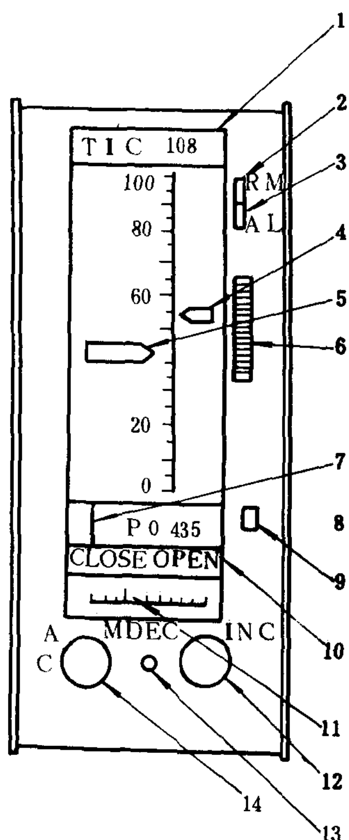


图 9.2.3—27 正面操作板

1—流程牌；2—远程 REM/本机 LOCAL 指示；3—报警指示；4—设定指示器；5—测量指示器；6—设定拨盘；7—仪表故障指示；8—测量值设定值数字指示器；9—测量值设定值数字指示切换按钮；10—阀门开闭指示；11—输出指示器；12—输出操作旋钮；13—数据传送操作指示；14—数据传送/自动/手动切换旋钮

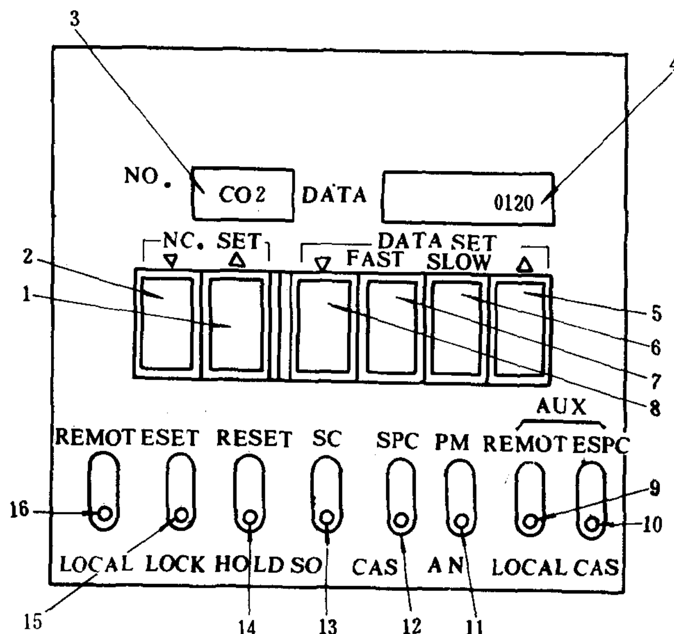


图 9.2.3—28 参量设定部

1—参量序号加 1 旋钮；2—参量序号减 1 按钮；3—参量序号显示器；4—参量数值显示器；5—参量数值增加按钮；6—参量数值慢改变按钮；7—参量数值快改变按钮；8—参量数值减少按钮；9—辅远程/本机切换；10—辅数据传送/串级切换；11—预置手动与自动/手动切换；12—数据传送/串级切换；13—数据传送通/断切换；14—复位/保持切换；15—设定/锁定切换；16—远程/本机切换

6.4 单回路指示调节器的功能

VI87MA—E 型单回路指示调节器分为全刻度指示调节器和偏差指示调节器两种类型。每一种型号有六个规格，每一种规格又有 5 种控制运算功能（如标准 PID 控制、比例控制等）、24 种一般运算功能（如加、减、与、或、非等）、8 种扩展运算功能及通信功能。

运算处理部分采用微处理器，它可以实现高功能和控制运算功能的自由组合。通过连接程序使调节器完成上述各种功能，并组成不同的控制系统，如串级控制、自动选择控制等。

图 9.2.3—29 示出 VI87mA—E 型单回路指示调节器运算、控制功能框图。它可以从差压、压力变送器接受 1～5V·DC 信号并与设定值偏差进行比例、积分和微分运算，输出 4～20mA.DC 和 1～5V·DC 和信号。同时，还能处理两个点的数字输入信号和 3 个点的数字输出信号以及简单的逻辑运算和判断。

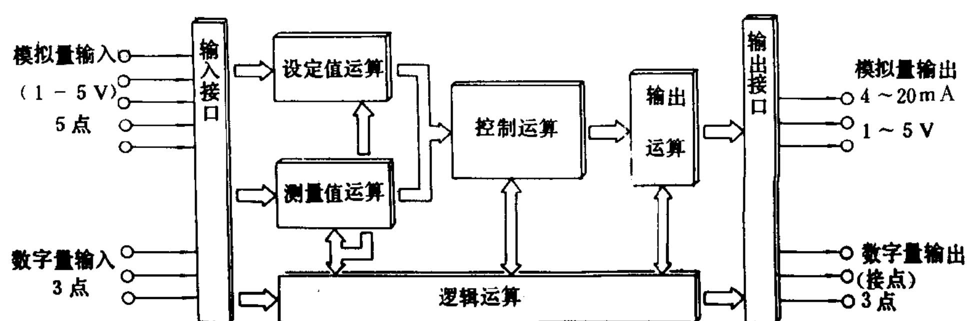


图 9.2.3—29　VI87mA—E 型单回路指示调节器运算控制功能框图

它除了 PID 运算功能外，还有如下基本功能：

显示器键盘
用户ROM
连接程序用插座
V_{cc}
D_i3
D_i2
D_i1
输入接口
输出接口
定时器
ROM
RAM
通信
WDT
6802 CPU
D/A
D_o3
D_o2
D_o1
通信
Y3 (1～5V)
Y2 (1～5V)
V⁺
指示计
Y1 (4～20mA)
X5
X4
X3
X2
X1
输出多路转换器
故障时手动操作
SWR
L1 L2 GND

图 9.2.3—30　单回路指示调节器原理框图

1)自动/手动转换及手动操作处理；

2)远程/本机转换及本机设定处理；

3)串级/计算机设定转换；

4)对设定值进行 0～100%的限制；

5)对 PID 运算输出进行上下限限制；

6)自动/手动两方面的无平衡无扰动切换。

图 9.2.3—30 示出单回路指示调节器原理方框图。它给出模拟量、数字量输入输出信号以及参量设定部与微处理器的关系。

6.5 标准 PID 控制功能

$$Y=\frac{100}{P_B}\left\{\frac{1+T_D s}{1+\frac{T_D}{10}s}\right\}\left(1+\frac{1}{T_I s}\right)(X-sV)$$

式中：P_B——比例带；

T_I——积分时间($T_I>0$)；

T_D——微分时间($T_D>0$，$T_D=0$ 时被切除)；

S_V——设定值，其中(X－sV)反映上式是正作用。

详见有关说明书，在此从略。

第4章　执　行　器

1 概　　述

执行器是构成机舱自动化系统中不可缺少的重要组成部分。它能按控制器(如调节器、程序控制器等)输出的控制信号进行工作,以达到控制温度、液位、压力等运行参数或某些程序操作的目的。为此,人们往往把执行器比喻为机舱自动化的"手脚"。

执行器是直接安装在机舱动力装置及诸系统的现场上,具体环境较差,某些被调介质具有高温、高压、易燃、易爆等不同的特点。因此执行器在这种环境下能否保持正常工作,将直接影响自动化系统的安全性和可靠性。执行器的阀门口径和流量特性等是否选择适当,又将直接影响自动化系统的控制品质。

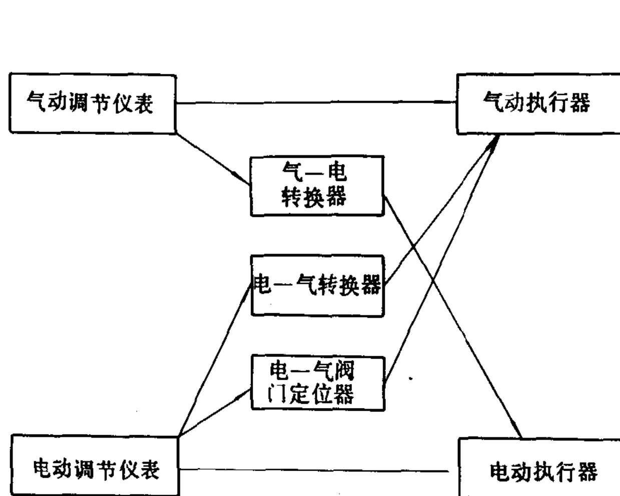


图 9.2.4—1　电、气仪表互相转换示意图

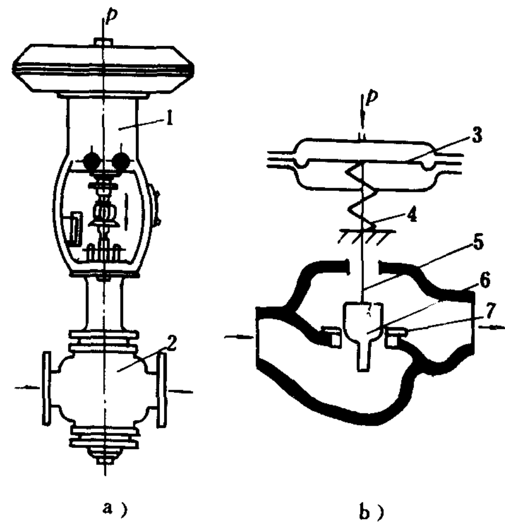


图 9.2.4—2　执行器的示意图

a)外形图;b)内部结构示意图

1—气动执行机构;2—调节阀;3—膜片;4—弹簧;5—推杆;6—阀芯;7—阀座

执行器按所驱动的能源分:有气动执行器、电动执行器和液动执行器三大类型,其特点如表 9.2.4—1 所示。其中,气动执行器所接受的控制信号通常在 19.6～98kPa(0.2～1.0kgf/cm^2)范围内;电动执行器所接受的控制信号通常在 0～10mA 或 4～20mA 范围内,还有两位或三位的开关量电信号。除此之外,若采用电—气复合控制系统,通过各种转换器或阀门定位器进行转换,并可连接成不同类型的执行器,如图 9.2.4—1 所示。

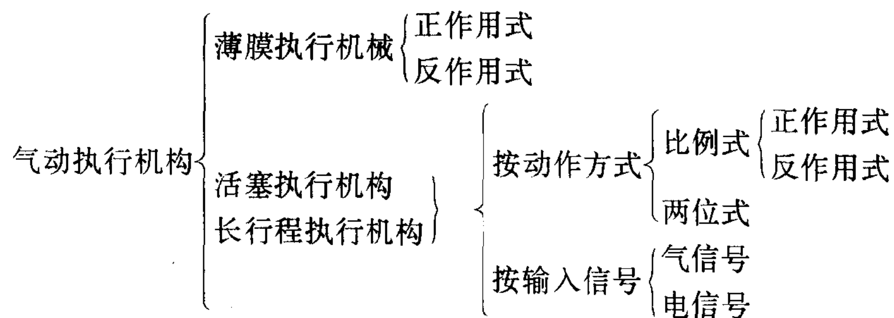
表 9.2.4—1 **执行器特点的比较**

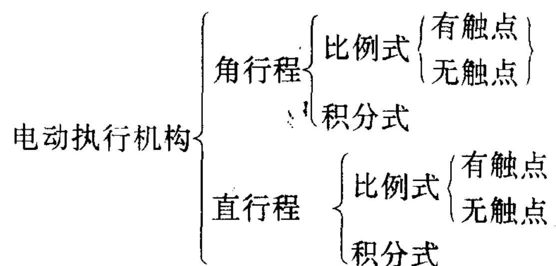
项 目	气动执行器	电动执行器	液动执行器
结构	简单	复杂	简单
推力	中	小	大
动作迟延	大	小	中
频率响应	狭	宽	狭
维护检修	简单	复杂	简单
使用场合	适用于防火、防爆	非防爆型不适于防火、防爆	应注意火花
温度影响	较小	较大	较小

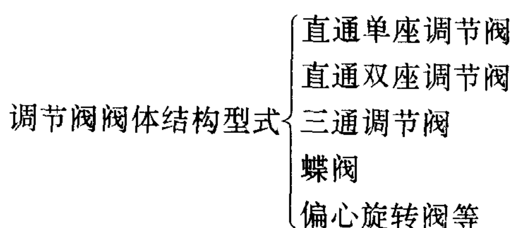
执行器通常由执行机构和调节阀两部分组成，如图 9.2.4—2 所示。在气、电执行器中，除执行机构不同，余者均采用各种通用的调节阀。

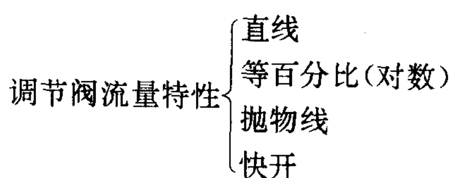
此外，随着微型计算机的推广应用，新型的接受数字量控制信号的执行器也正在发展，但目前多数是专用的。液动执行器在船上用的较少，故从略。

执行器分类：









2 调 节 阀

2.1 调节阀的原理

2.1.1 节流原理

从流体力学观点看，调节阀是一个局部阻力可以变化的节流元件。对于不可压缩流体，流体阻力公式为：

$$h=\zeta\frac{V^2}{2g}$$

式中：ζ——调节阀的阻力系数；

g——重力加速度；

h——调节阀上的压差（即阻力损失）；

$$h=\frac{P_1-p_2}{r}。$$

其中：P_1——调节阀阀前压力；

P_2——调节阀阀后压力；

r ——流体重度；

V ——流体的平均流速；

$$V=\frac{Q}{F},$$

其中：Q——流体的体积流量；

F——调节阀接管的截面积。

将 h、V 代入上式后，可改写成：

$$Q=\frac{F}{\sqrt{\upsilon\xi}}\sqrt{\frac{P_1-P_2}{r}2g}$$

可见，当 F 为一定且（P_1-P_2）不变时，则流量仅随阻力系统而变化。若 ξ 减小，则 Q 增大；反之，则 Q 减小。调节阀就是依据控制信号改变阀芯行程，调整流体通过阀门的阻力系数，实现流量调整的目的。

表 9.2.4—2 给出机舱常用调节阀的用途、特点的比较表。

表 9.2.4—2 **常用调节阀的比较**

项目	直通单座调节阀	直通双座调节阀	三通调节阀
用途	适用于阀门前后压差较小，对漏泄量要求严格的场合。在高压差条件下使用时，应配备阀门定位器	适用于阀门前后的压差较大，允许有较大漏泄量的场合。因流路较复杂，不适用于高粘度介质的调节	适用于旁路调节或配比调节

续上表

项目	直通单座调节阀	直通双座调节阀	三通调节阀
特点	1. 阀体内有一个阀芯和阀座 2. 阀芯为柱塞式 3. 漏泄量为 0.01%，是双座阀的十分之一 4. 介质对阀芯的不平衡力较大 5. D_g≥25mm 的阀芯为双导向 6. D_g<25mm 的阀芯为单导向气开式应采用反作用执行机构	1. 阀体内有两个阀芯和阀座 2. 阀芯为双导向。气关式易改装成气开式，不必用反作用执行机构 3. 流通能力比同口径的单座阀大 4. 介质对阀芯的不平衡力较小 5. 漏泄量大	1. 阀芯为薄壁圆筒开窗形 2. 气开、气关必须分别采用反、正作用执行机构 3. 与单座阀相比，组成同样的系统，可省掉一个两通阀 4. 易实现介质合流与分流的要求
结构外形图	VSL小流量单座调节阀 （ANSI ≤600）	VDP上下导向双座调节阀 （ANSI 600）	VTD三通分流调节阀(ANSI≤300)

2.1.2 调节阀的主要参数

下面介绍几个主要名词的含义

1)调节阀的流量特性，详见 5.2.2 节

2)调节阀的不平衡力和不平衡力矩

当流体通过直行程调节阀时，阀芯在流体静压和差压作用下，使阀芯产生上下移动的轴向力，阀芯处于不平衡状态。这个轴向力就是调节阀的不平衡力（如图 9.2.4—3a)所示）。同理，当流体通过角行程调节阀时，使阀板轴上产生一个反转力矩，阀板处于不平衡状态。这个反转力矩就是调节阀的不平衡力矩（如图 9.2.4—3b)所示）。上述不平衡力和不平衡力矩都直接影响执行机构的信号压力与阀杆行程的关系。

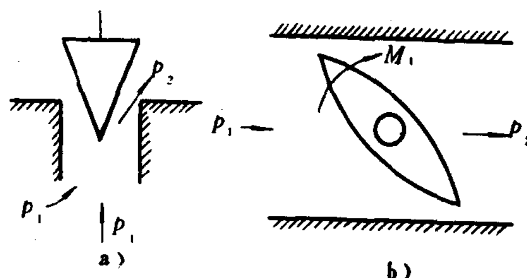


图 9.2.4—3 调节阀的不平衡力和不平衡力矩
a)调节阀的不平衡力；b)调节阀的不平衡力矩

3)调节阀允许压差

调节阀允许压差是指规定的调节阀压差的允许极限值。其实质是保证执行机构的输出力或力矩已定时，能在全行程（或转角）范围内控制应有的行程（或转角），避免因调节阀不平衡力或不平衡力矩超出允许范围而无法正常工作。

4)调节阀的流通能力

通过调节阀的流量与流体的种类、温度、重度、阀门前后压差、阀芯阀座的结构尺寸等因素有关。通常用流通能力来表示在规定条件下阀通过流体的能力。

应指出，因各国计算流通能力的规定条件不同，则所得的流通能力值亦不同，不允许直接引用。同时，工程上已分别给出计算不同流体（如液体、气体和蒸汽）的流通能力计算公式，请读者查阅有关资料，在此从略。

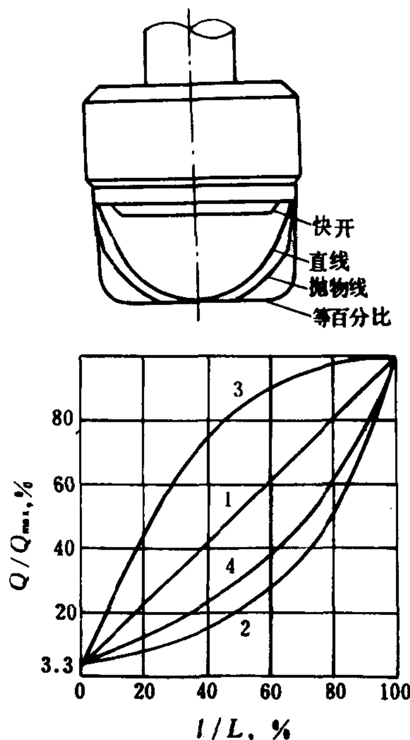


图 9.2.4—4 理想流量特性曲线与阀芯形状

1—直线流量特性；2—等百分比流量特性；

3—快开流量特性；4—抛物线流量特性

2.2 调节阀的流量特性

2.2.1 理想流量特性

通常把流体通过阀门的相对流量与阀门相对开度的关系，称为调节阀的流量特性

$$\frac{Q}{Q_{max}}=f\left(\frac{l}{L}\right)$$

式中：$\frac{Q}{Q_{max}}$——相对流量，即调节阀某一开度下的流量与全开时流量之比；

$\frac{l}{L}$——相对开度，即调节阀某一开度下的行程与全开时行程之比。

通常把调节阀前后压差恒定的情况下得到的流量特性称为理想流量特性。典型的理想流量特性有直线流量特性、等百分比（对数）流量特性、抛物线流量特性和快开流量特性，如图9.2.4—4所示。表 9.2.4—3 给出各种典型的理想流量特性和不同相对行程下的相对流量数值（R＝30 时）。其中，R 表示调节阀控制的最大流量与最小流量（并不是漏泄量）之比，称为调节阀的可调比。

表 9.2.4—3 各种典型的理想流量特性和不同的相对行程下相对流量数值（R＝30 时）

流量特性 \ 相对流量 $\frac{Q}{Q_{max}}$% \ 相对行程 l/L%	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
直线	3.3	13.0	22.7	32.3	42.0	51.7	61.3	71.0	80.6	90.4	100
等百分比	3.3	4.67	6.58	9.26	13.0	18.3	25.6	36.2	50.8	71.2	100
快开	3.3	21.7	38.1	52.6	65.2	75.8	84.5	91.3	96.13	99.03	100
抛物线	3.3	7.3	120	18.0	26.0	35.0	45.0	57.0	70.0	84.0	100

按照表 9.2.4—3 给出的 R＝30 的数值，可绘出直线流量特性和等百分比流量特性曲线，分别如图 9.2.4—5 所示。如以行程的 10%、50%和 80%三点看，其行程变化 10%所引起的流量变化，以及流量相对值变化来分析。可知，在行程变化值相同时：直线流量特性当流量小时，流量相对值变化大；当流量大时，流量相对值变化小；等百分比流量特性的流量相对值变化都是 40%，具有等比率特性，同时行程小，流量变化小；行程大时，流量变化亦大。

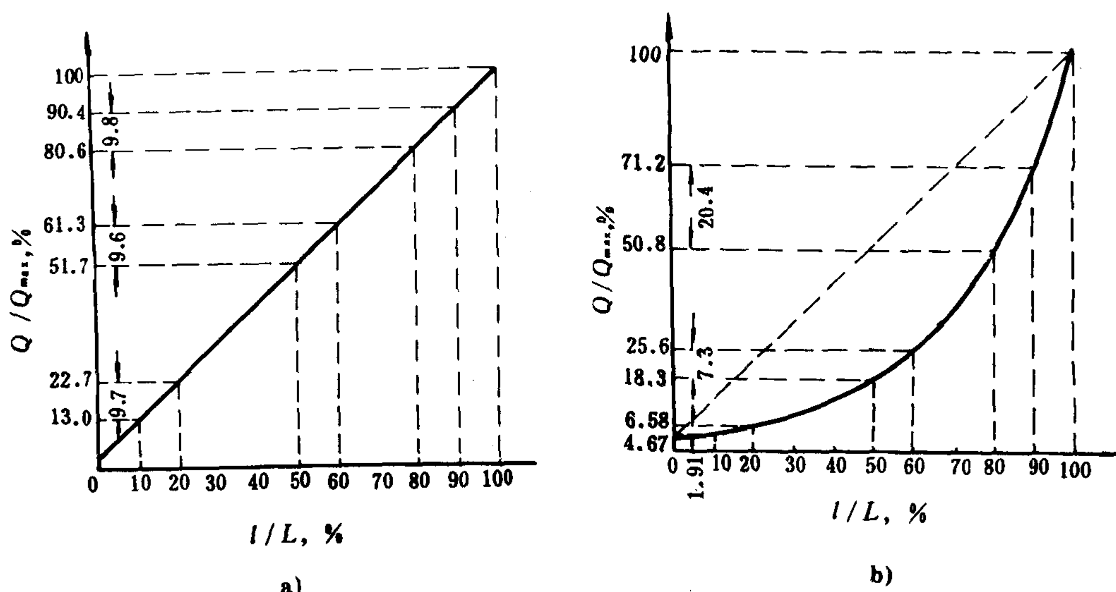


图 9.2.4—5　直线和等百分比流量特性曲线(R=30)

a)直线流量特性；b)等百分比流量特性

2.2.2　实际流量特性

实际流量特性是分析调节阀在实际使用时流量特性的变化情况。

当调节阀装在管道系统中，除了调节阀外，在串联管道中还有其它设备及管道的阻力，在并联管道中，一般都装有旁路，如图 9.2.4—6 所示。这时流量特性的变化如图 9.2.4—7 和图 9.2.4—8 所示。图中：

$$s=\frac{\text{调节阀全开时的压差}}{\text{系统的总压差}}=\frac{\Delta p_m}{\Delta p}$$

$$x=\frac{\text{调节阀全开时的流量}}{\text{流过总管道的最大流量}}=\frac{Q_m}{Q_{max}}$$

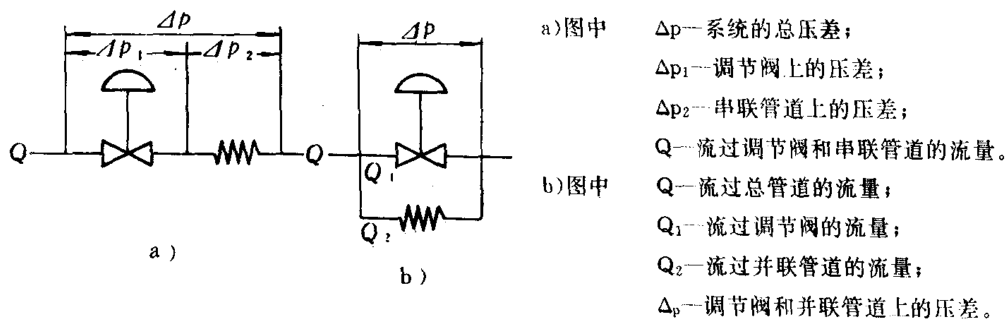


图 9.2.4—6　调节阀在串、并联管道场合

a)串联管道　b)并联管道

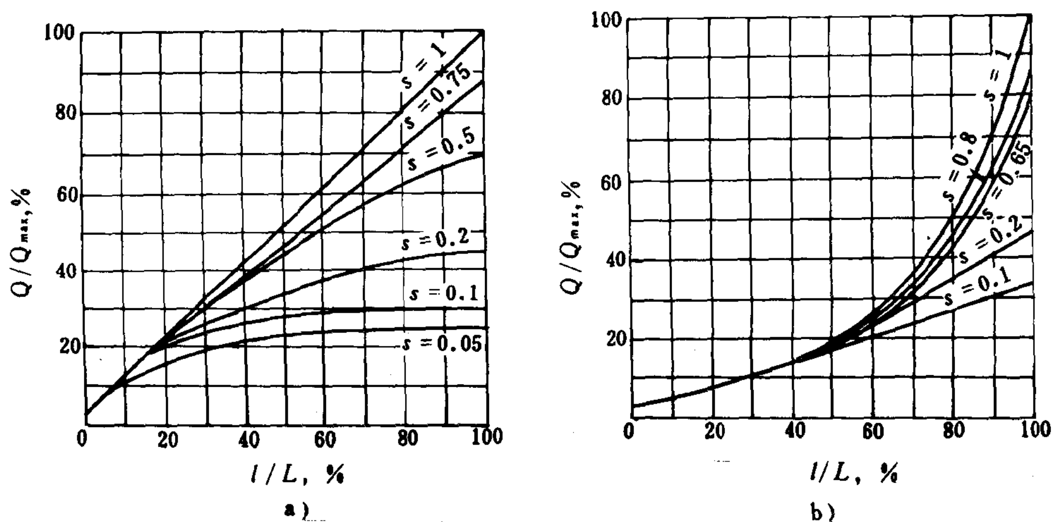


图 9.2.4—7 串联管道时实际流量特性(以 Q/Q_{max}作参比值)

a)直线流量特性;b)等百分比流量特性

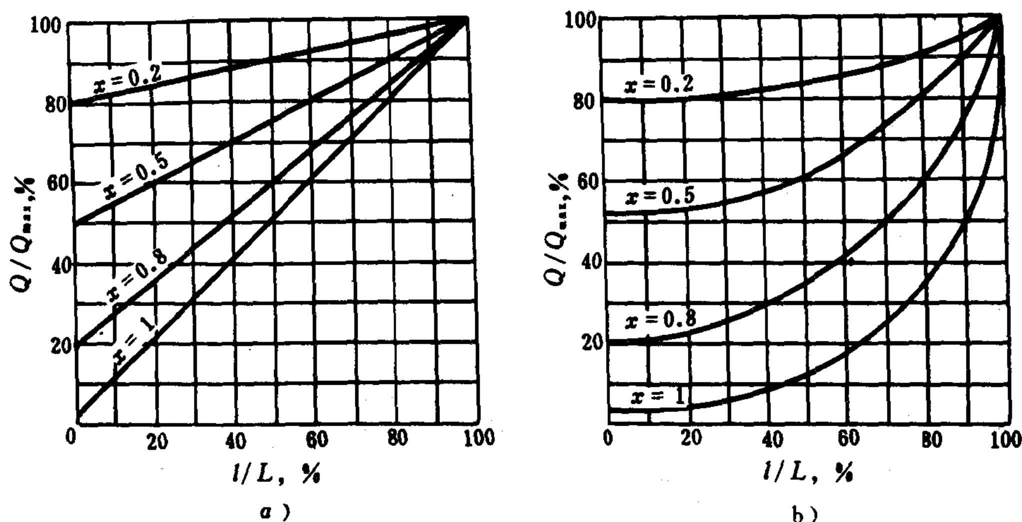


图 9.2.4—8 并联管道时实际流量特性(以 Q/Q_{max}作参比值)

a)直线流量特性;b)等百分比流量特性

图中: Q_{max}—管道阻力降等于零时调节阀的全开流量;

$\frac{Q}{Q_{max}}$—管道阻力降等于零时调节阀的相对流量;

$\frac{l}{L}$—调节阀的相对开度。

由上图可知,调节阀装在串联管道中,随着管道阻力的增加(即 s 值减小),直线特性渐趋快开特性,等百分比特性渐趋直线特性,实际使用时,不希望 s 值低于 0.3;调节阀在并联管道中装有旁路后,调节阀的流量特性虽没有变化,但可调比将大大降低,实际使用时,不希望 x 值低于 0.8。

3 气动执行机构与阀门定位器

3.1 气动执行机构

气动执行机构有薄膜执行机构、活塞执行机构,长行程执行机构和滚筒膜片执行机构等四种。它们的用途,特点和结构简图如表 9.2.4—4 所示。

表 9.2.4—4　　**常用气动执行机构的比较表**

	薄膜执行机构	活塞执行机构	滚筒膜片执行机构
用途	它是一种常用的气动执行机构，通常接受 19.6～98kPa 的标准信号压力	它是一种推力较大的气动执行机构。适用于高静压、高压差的场合	适用于偏心旋转调节阀或要求大行程的调节阀
特点	1. 结构简单、动作可靠、维修方便、成本低 2. 正、反作用的结构基本相同，并易于改变 3. 调整调节件可改变执行机构的输出力 4. 根据需要，可配阀门定位器等附件	1. 气缸允许操作压力为 490kPa，且无弹簧抵消推力，故输出力大 2. 比例式必须配阀门定位器，正、反作用由阀门定位器实现 3. 输入为气信号时，配气动阀门定位器；输入为电信号时，配电一气阀门定位器	1. 具有薄膜和活塞执行机构的优点 2. 与薄膜执行机构相比，其有效面积不变，行程大，耐压性能高 3. 与活塞执行机构相比，其运动摩擦极小
结构图	M16×1.5 1—上膜盖；2—膜片；3—下膜盖；4—推杆；5—支架；6—弹簧；7—弹簧座；8—调节件；9—标尺	p_1　p_2 1—活塞；2—缸体；3—推杆；4—支架；5—行程标尺；6—阀杆连接件	p 1—防尘圈；2—缸体；3—活塞杆；4—弹簧；5—导向环；6—活塞；7—滚动膜片；8—缸盖

3.2　阀门定位器

阀门定位器与气动执行机构配套使用，有如下用途：

1)提高阀杆位置的线性度，使阀门位置能按控制信号实现正确定位。

2)可用 19.6～98kPa 的标准信号压力来操作 39.2～196kPa 的非标准信号压力的气动执行机构。它能增加执行机构的动作速度，改善控制系统的动态特性。

3)能实现分程控制，用一台调节仪表去操作两台调节阀。

4)能实现反作用动作。

5)采用电一气阀门定位器后，可用 0～10mA 或 4～20mA 电信号操作气动执行机构。

图 9.2.4—9 示出按力矩平衡原理工作的气动阀门定位器和电—气阀门定位器。

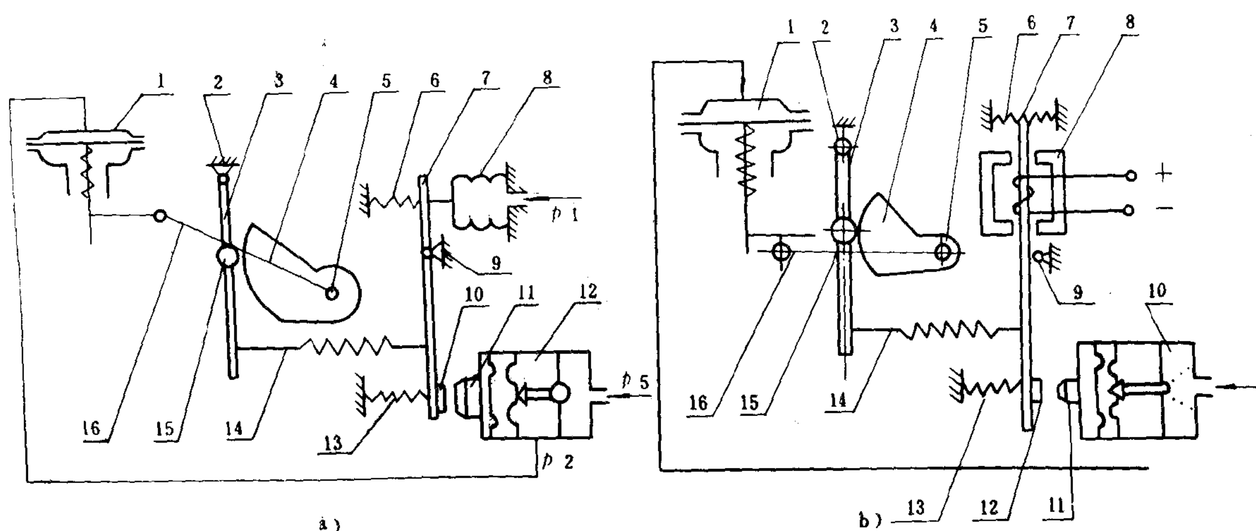


图 9.2.4—9　阀门定位器

a)气动阀门定位器；b)电—气阀门定位器

a)图中：1—薄膜执行机构；2—副杠杆支点；3—副杠杆；4—反馈凸轮；5—反馈凸轮支点；6—平衡弹簧；7—主杠杆；8—波纹管；9—主杠杆支点；10—挡板；11—喷嘴；12—单输出放大器；13—调零弹簧；14—反馈弹簧；15—滚轮；16—反馈杆

b)图中：1—薄膜执行机构；2—副杠杆支点；3—副杠杆；4—反馈凸轮；5—反馈凸轮支点；6—平衡弹簧；7—主杠杆；8—力矩马达；9—主杠杆支点；10—单输出放大器；11—喷嘴；12—挡板；13—调零弹簧；14—反馈弹簧；15—滚轮；16—反馈杆

4　三通调节阀

三通调节阀多用于调节温度。表 9.2.4—5 给出三通调节阀的原理和结构示意图。

表 9.2.4—5　**三 通 调 节 阀**

WALTON 型	NAKAKITA 型
WALTON 型三通调节阀又称石蜡式调节阀。它是利用石蜡的体积随温度变化的性质，通过体膨胀产生的作用力来推动执行机构，并控制转阀位置来实现温度调节任务。其结构原理，详见图 9.3.1—6。	NAKAKITA 型三通阀是利用气动缸定位器的气动活塞杆位移来推动滑板，实现温度调节任务。其中，气动缸定位器内的活塞杆位移取决于输入气压信号(0.02～0.1 MPa)。其结构原理，详见图 9.3.1—19。

5　气动执行器的维护管理

5.1　气动执行器的技术要求

气动执行器的技术要求，主要有非线性偏差、正、反行程变差、灵敏限、始点偏差、终点偏差、流通能力误差、流量特性误差和允许泄漏率等。详见有关生产厂的产品说明书。

5.2 气动执行器的选择原则

1)应根据生产要求选择调节阀的结构型式,而后再确定气动执行机构的结构型式。通常直行程调节阀与薄膜执行机构相匹配。

2)气关式气动执行器和气开式气动执行器的选择,主要从生产安全性考虑。在信号压力中断或气源发生故障时,应避免损坏设备和伤害操作人员。

3)选择调节阀的特性时,应考虑用调节阀放大系数的变化来补偿对象放大系数的变化,使系统总的放大系数保持不变,取得较好的系统调节品质。表 9.2.4—6 给出常用调节系统调节阀特性选择表。

4)在要求提高调节精度或进行分程控制时,应配有阀门定位器。

表 9.2.4—6　　常用调节系统调节阀特性选定表

调节系统及被调参数	干扰	调节阀特性	
		按对象静态特性选择	按对象静、动态特性选择
流量调节系统(流量 Q)	压力 p_1 或 p_2	等百分比	直线
	给定值 Q	直线	
压力调节系统(压力 p_1)	压力 p_2	等百分比	等百分比
	压力 p_3	直线	直线
	给定值 p_1	直线	
液位调节系统(液位 H)	流入量 Q	直线	直线
	给定值 H	等百分比	
温度调节系统(流体出口温度 T_2)	蒸汽入口压力 p_1	等百分比	等百分比
	受热流体的流量 Q_1 或温度 T_3	等百分比	直线
	入口温度 T_1	直线	直线
	给定值 T_2	直线	

5.3 气动执行器的日常管理

5.3.1 日常检查

1)执行器经修复后，检查是否仍是正立垂直安装在水平管道上，阀体上的箭头方向是否与管道中流体流动方向一致。

2)旁通管道工作是否正常。

3)检修时，认真检查阀芯各部分是否腐蚀、磨损；阀杆与阀芯连接部分是否松动。

4)检查膜片与O形密封圈是否老化和破损。

5)检查聚四氟乙烯填料是否老化和配合面是否损坏。

5.3.2 常见故障分析(见表9.2.4—7)

表9.2.4—7　**气动执行器的常见故障分析**

故障现象		故　障　原　因
阀不动作	1.有气源，无信号	1.调节器的故障 2.信号管漏 3.调节阀膜片或活塞密封环漏 4.定位器波纹管漏
	2.定位器有气源、无输出	1.定位器中放大器的恒节流孔堵塞 2.压缩空气中水份聚积于放大器球阀处
	3.有信号，无动作	1.阀芯与衬套或阀座卡死 2.阀芯脱落 3.阀杆弯曲或折断
阀的动作不稳定	1.信号压力不稳定	1.控制系统的时间常数不合适 2.调节器的故障
	2.气源和信号压力正常，但调节阀不稳定	1.定位器中放大器球阀关不严，耗气量特别大时，会产生输出振荡 2.定位器中放大器的挡板盖不住喷嘴 3.输出路漏气 4.阀杆摩擦力大
阀有振荡声	1.调节阀接近全关位置时振荡	1.调节阀选大了，并经常使用在小开度状态 2.单座阀介质流动方向与关闭方向相同
	2.调节阀在任何开度时都振动	1.支撑不稳 2.附近有振动源 3.阀芯与衬套的磨损
阀杆的动作迟钝	1.阀杆往复动作迟钝	1.聚四氟乙烯填料变质硬化 2.活塞式执行机构中活塞密封环磨损
	2.阀杆单方向动作迟钝	1.气动执行机构中膜片漏泄和破损 2.执行机构中O形密封圈漏泄

故障现象		故障原因
阀的漏泄量大	1. 阀全关时泄漏量大	1. 阀芯被腐蚀、磨损 2. 阀座外围的螺丝被腐蚀
	2. 阀达不到全关位置	1. 介质压差很大，执行机构的刚性小 2. 阀体内有异物 3. 衬套烧结
	3. 填料部分渗漏	1. 填料老化变质 2. 填料盖没压紧

6 电动执行器

6.1 概述

电动执行器是电动控制系统中的主要环节之一。它把来自调节器的输出信号或其它控制信号转换成适当的力或力矩，推动各种类型的调节阀或其他调节机构，实现对生产过程中的物料、能源等的控制。

电动执行器与气动执行器相比，它具有动作灵敏，能源取用方便；信号传输迅速和传输距离远等优点。适用于防爆要求不高的场所。

电动执行器由电动执行机构和调节机构(如调节阀)两部分组成。其中把控制信号转换成力或力矩的部分称为电动执行机构；把直接控制物料，能源的部分称为调节机构。

电动执行器与各种电动调节仪表的连接关系，如图 9.2.4—10 所示。

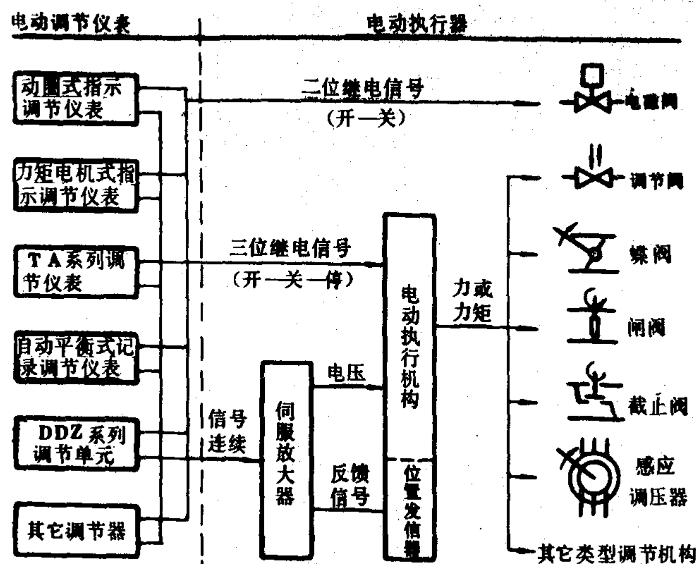


图 9.2.4—10 电动执行器与电动调节仪表的连接关系

船上常用的电动执行器有角行程电动执行机构、直行程电动执行机构和电动调节阀三种类型。

6.2 角行程电动执行机构

角行程电动执行机构按动作特性分：有比例式和积分式两种。表 9.2.4—8 给出它们的特点、原理、主要技术性能和用途。

表 9.2.4—8　　　　　　　　　　　　　角行程电动执行机构

项目	比　例　式	积　分　式
特点	1. 输入连续信号,经伺服放大器放大后,驱动执行机构,输入信号为 0～10mA 或 4～20mA。 2. 执行机构输出角位移与输入信号成线性关系	1. 输入三位继电信号(开—关—停)。 2. 执行机构输出轴的动作(正转—反转—停止)与输入三位继电信号相对应。 3. 执行机构输出角位移与输入信号成积分关系
原理框图	操作器 执行机构 输入+ 信号− 伺服放大器 伺服电动机 减速器 输出 位置反馈信号 位置发信器	执行机构 输入 开—关—停 接触器I 接触器II 伺服电机 减速器 输出 电磁制动器 阀位指示器 位置发信器
主要技术性能	输入信号:0～10mA、4～20mA 输入通道:3 个 输入阻抗:200Ω 输出力矩:39～3900N.m 出轴每转时间:40～120±20s 出轴有效转角:90°	基本误差:±1.5%～±2.5% 变差:1.5% 反应时间:≤1s 电源:220V、50Hz
用途	用于推动风门、挡板、调压器和相应的角位移调节机构等	

6.3 直行程电动执行机构

直行程电动执行机构与角行程电动执行机构一样,也分为比例式和积分式两种。表 9.2.4—9 给出它们的特点、原理框图、主要技术性能和用途。

表 9.2.4—9　　　　　　　　　　　　　直行程电动执行机构

项目	比　例　式	积　分　式
特点	1. 输入连续信号,经伺服放大器放大后驱动执行机构,输入信号为 0～10mA、4～20mA。 2. 执行机构输出的直线位移与输入信号成线性关系	1. 输入三位继电信号(开—关—停) 2. 执行机构输出杆的动作(正向—反向—停止)与输入三位继电信号相对应。 3. 执行机构输出的直线位移与输入信号成积分关系
原理框图	操作器 执行机构 输入信号+ − 伺服放大器 伺服电动机 减速器 输出 位置反馈信号 位置发信器	执行机构 调节器 J_1 J_2 关—开—停 伺服电机 减速器 输出 阀位指示 位置发信器

续上表

项目	比例式	积分式
主要技术性能	输入信号:0～10mA,4～20mA 输入通道:3个 输入阻抗:200Ω 输出推力:3900～6300N.m 基本误差±1.5%～±2.5%	变差:1.5% 反应时间:≤1s 电源:220V50Hz
用途	用于推动单座、双座、三通等各种调节阀和直线位移式调节机构	

6.4 电动调节阀

电动调节阀是由直行程电动执行机构与调节阀固定连结而组成的电动执行器。它具有选择方便、易于使用特点。按调节阀的形式通常可分为直通单座、直通双座、三通等形式。其中，直通单座和三通的电动调节阀多以单相鼠笼式电机为动力元件。图 9.2.4—10 示出它的结构示意图。

当电机通电旋转时，通过减速器、经丝杆和导板的作用，将回转运动变成直线运动，再经弹性联轴器推动阀杆，使阀芯上下移动，改变被控介质的流量。随着电机的转向不同，使阀芯朝着开启或关闭的方向移动，直到阀芯处于极限位置时，通过内部限位开关，自动切断电机电源，并接通指示灯给予相应的显示。

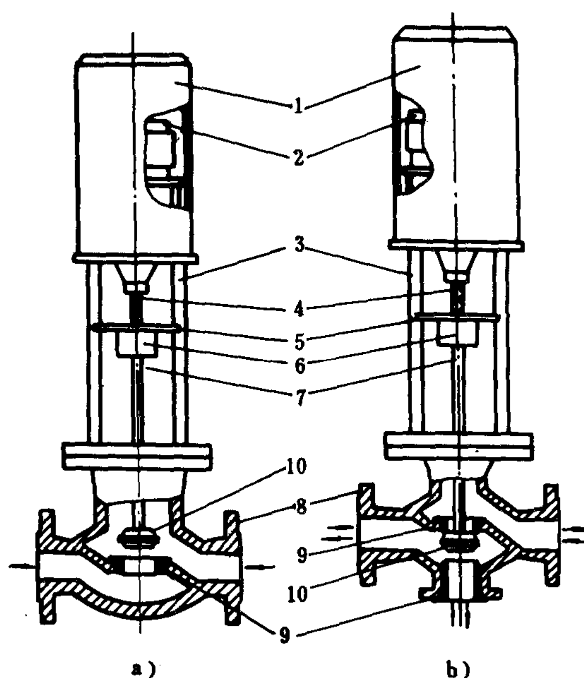


图 9.2.4—11　电动调节阀的结构示意图

a)直通单座;b)三通

1—外壳;2—单相感应电动机;3—支柱;4—丝杆;5—导板;6—弹性联轴器;7—阀杆;8—阀体;9—阀座;10—阀芯

6.5 电动执行器故障分析

表 9.2.4—10　　电动执行器故障分析表

故　障　现　象	故　障　原　因
比例式电动执行器输出轴自振	1. 伺服放大器灵敏度太高 2. 机械传动部分间隙增大 3. 电机制动部分失灵
伺服放大器无输出	1. 放大器接线和焊点接触不好 2. 线路有短路部位或元件损坏
伺服放大器输出调不到零	1. 放大器调零装置失效 2. 元件损坏，尤其末级输出元件损坏
电机通电后不动作	1. 电机绕组短路或开路 2. 制动式电机的制动机构未脱开 3. 滚切式电机的偏心机构卡死
减速器或位置发讯机构卡死	1. 机械连接部分有松动 2. 传动部分间隙增大 3. 零件磨损或损坏

第 5 章　气动控制阀件

1 概　　述

气动控制阀件通常包括气动逻辑阀件和气动控制辅助阀件两大部分。在气动控制系统中，气动逻辑阀件是能完成一定逻辑功能的控制元件，它采用压缩空气作为工作介质，通过某种可动部件的动作，对介质流通进行切换并实现一定的逻辑功能。气动控制辅助阀件是保证气动控制系统正常运行所必不可少的辅助元件，如调压阀、节流阀、延时阀和速放阀等。

气动控制系统与液、电控制系统相比，有如下特点：

1)工作介质取之不尽，用之不竭，且不污染环境。

2)具有防火、防爆，并能在恶劣环境下工作。

3)能在 0～200℃环境条件下可靠地工作。

4)使用寿命长，其中气动逻辑元件的使用寿命可达 10^7～10^8 次。

5)能源可以贮存，即使突然停电，仍能维持某一稳定的压力。

6)结构简单、维护方便、安装自由度大和成本低。

2　气动逻辑阀件

2.1　气动逻辑阀件的特点和分类

2.1.1　特点

1)阀件的孔径较大，抗污染能力强，对气源净化要求低。

2)阀件具有关断能力，在工作状态未变化时不耗气，只在动作时耗气，所以耗气量少。

3)阀件的输入阻抗大，负载能力强。

4)阀件匹配简单，调试方便。

5)在组成系统时，既可作控制元件又可作执行元件。

6)允许采用同样气源压力，工作可靠，易于维护。

2.1.2　分类

按工作压力分：高压(0.2～0.8MPa)、低压(0.1～0.2MPa)、微压(0.02MPa 以下)。

按逻辑功能分：是门元件、或门元件、与门元件、非门元件和双稳元件等。

按结构分：截止式、膜片式和滑阀式。

2.2　截止式气动逻辑阀件

截止式气动逻辑阀件是利用输入气压信号的作用力推动阀芯或通过膜片变形推动阀芯移动，改变流道的通断，实现所要求的逻辑功能。其特点为：行程短、响应时间短、输出流量大、密封性好、对气源净化要求低和通用性强等。图 9.2.5—1 和图 9.2.5—2 示出是门阀件和非门阀件的结构原理。表 9.2.5—1 给出截止式气动逻辑阀的主要设计参数。表 9.2.5—2 给出截止

式气动逻辑阀件的动作原理和逻辑功能。

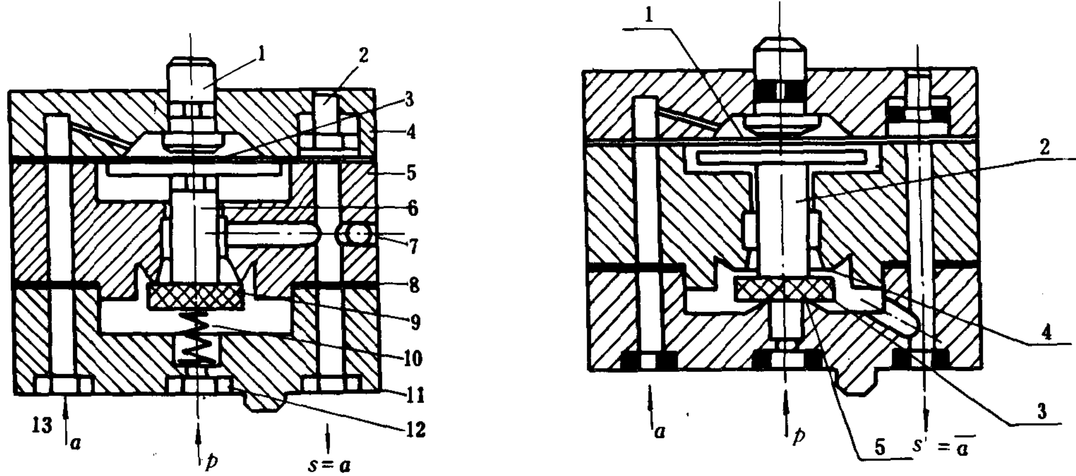


图 9.2.5—1 是门阀的结构

1—手动按钮；2—显示件；3—膜片；4—上阀体；5—中阀体；6—阀杆；7—钢球；8—垫片；9—阀芯；10—弹簧；11—下阀体；12—密封圈

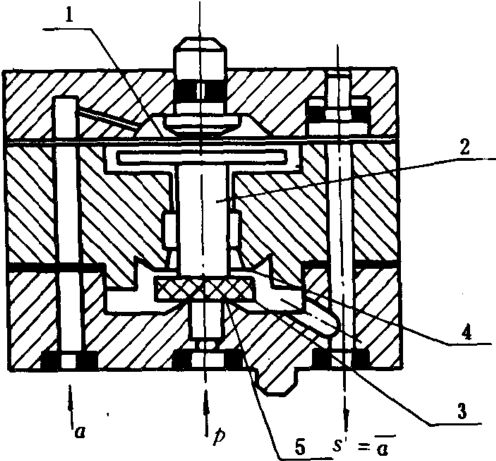


图 9.2.5—2 非门阀的结构

1—膜片；2—阀杆；3—阀芯；4—上阀座；5—下阀座；a—输入；s—输出；p—气源

表 9.2.5—1 截止式气动逻辑阀的主要设计参数

参数 \ 项目 名称	工作压力 (MPa)	切换压力 p_c(MPa)	返回压力 (MPa)	流量(m^3/s) (0.6MPa)	响应时间 (ms)
是门	0.2～0.8	$\frac{1}{2}p_s$	$(\frac{1}{2}\sim\frac{1}{3})p_c$	166×10^{-5}	6
非门	0.2～0..8	$\frac{1}{2}p_s$	$(\frac{1}{2}\sim\frac{1}{3})p_c$	166×10^{-5}	6
或门	0.2～0.8			166×10^{-5}	4
与门	0.2～0.8			166×10^{-5}	6
或非	0.2～0.8	$\frac{1}{2}p_s$	$(\frac{1}{2}\sim\frac{1}{3})p_c$	166×10^{-5}	6

注：p_s—气源压力。

2.3 膜片式气动逻辑元件

膜片式逻辑元件是由一个刚性杆连结的两块或三块膜片把各腔室隔开，利用气压信号在膜片两侧形成的总压力差来推动膜片移动，改变流道的通断，实现各种逻辑功能。其中，三膜片组件的各腔室膜片的有效面积不等，使膜片组件向上或向下移动，并关闭或打开通道。通过/元件偏压(p_1 为 0.3 气源压力；p_2 为 0.7 气源压力)与元件接口的各种连接方式可以构成不同的逻辑功能。图 9.2.5—3 和图 9.2.5—4 示出双膜片和三膜片的结构原理。若膜片选用耐压材料，工作气压可从 0.1～0.2MPa 增加到 0.4～0.6MPa，响应时间为 2～4ms。表 9.2.5—3 给出膜片式逻辑元件的基本逻辑功能。

表9.2.5—2 截止式逻辑阀件的动作原理和逻辑功能

元件名称	原理图	真值表	逻辑符号	动作说明
是门元件	1 2 3 4 a p s = a	a s 0 0 1 1	a — s	a 为信号输入端，p 为气源，s 为信号输出端。有信号a 时，膜片 4 下移，将阀心 2 关闭，阀座切断输出与排气通路，同时有输出信号s 。1 为显示件，3 为动手按钮
或门元件	a b s = a + b	a b s 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1	a, b — + — s	是个无源元件 a 或b 有输入时，s 就有输出
与门元件	a b s' = b · a	a b s 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1	a, b — · — s	是个无源元件 a 和b 均有输入时，s 才有输出
非门元件	a p s = a (a) (b) s = b · a	a s 0 1 1 0	a — s	a 有输入时，s 无输出
禁门元件		a b s 0 0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 0	a, b — s	非门和禁门元件通用，将气源 p 换成输入信号 b 即可成为禁门元件。即输入信号a 对输入信号b 起禁止作用，s 无输出

续上表

<table>
<tr><th>元件名称</th><th>原理图</th><th>真值表</th><th>逻辑符号</th><th>动作说明</th></tr>
<tr><td>或非元件</td><td>$s=a+b+c$</td><td>
<table>
<tr><th>a</th><th>b</th><th>c</th><th>s</th></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr>
<tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr>
<tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr>
<tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr>
</table>
</td><td></td><td>a 或b 或c 其中之一有输入时，s 均无输出</td></tr>
<tr><td>单稳元件</td><td></td><td>
<table>
<tr><th>a</th><th>b</th><th>s</th></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr>
<tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr>
</table>
</td><td></td><td>对b 信号有记忆作用

当b 信号输入，膜片 1 变形使阀心 2 上移，将小活塞 3 顶上，关闭排气通道，打开气源通道，s 有输出。b 信号消失，阀心 2 在气压作用下仍保持上面位置，s 仍有输出，当有a 信号输入，膜片 5 下移，将阀心 2 下移，打开排气通道，小活塞 3 也下移切断气源，s 无输出</td></tr>
<tr><td>双稳元件
（双非门型）</td><td></td><td>
<table>
<tr><th>a</th><th>b</th><th>s_1</th><th>s_2</th></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr>
<tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr>
<tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr>
</table>
</td><td></td><td>由两个非门元件组成，对a 、b 信号均有记忆作用。利用一个元件输出反馈至另一个元件输入，达到强迫截止连锁稳定

输入信号可长信号或脉冲保信号</td></tr>
</table>

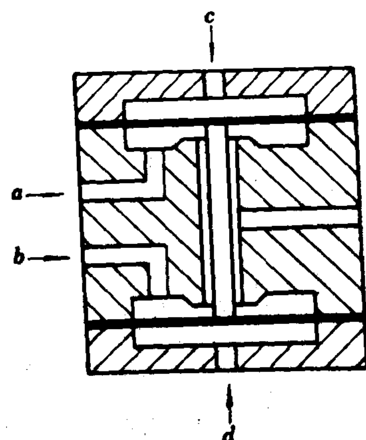


图 9.2.5—3　双膜片式元件

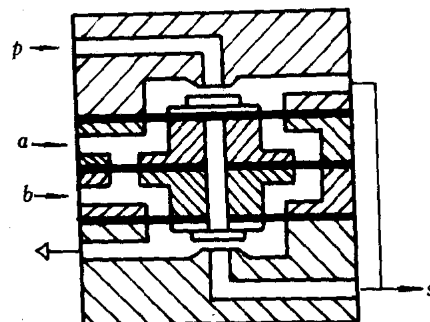


图 9.2.5—4　三膜片式元件

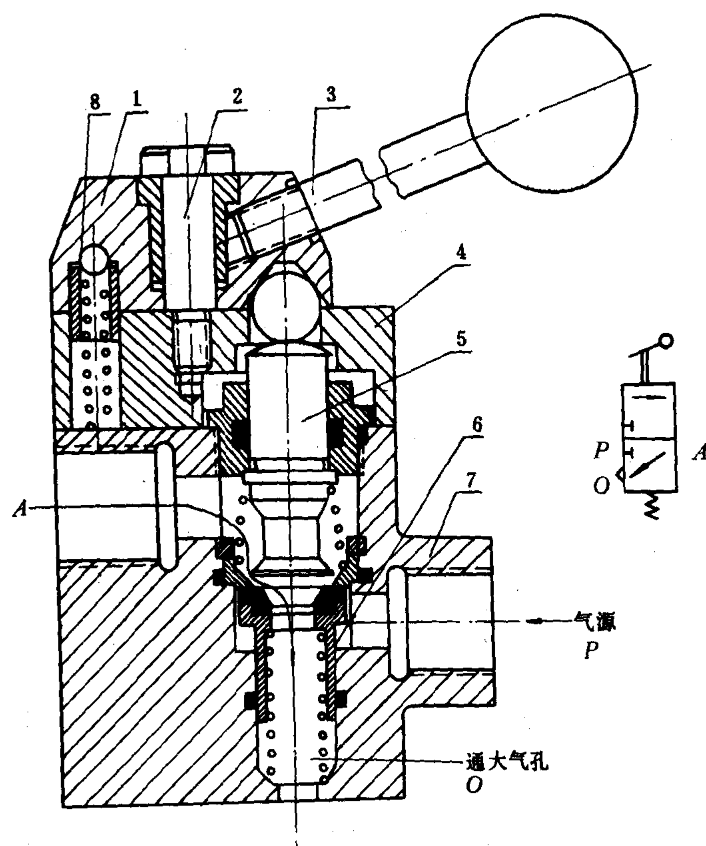


图 9.2.5—5　转柄式两位三通阀

1—压盖；2—螺栓；3—手柄；4—阀盖；5—阀杆；6—活动阀座；7—阀体；8—销子

表9.2.5—3　　膜片式基本逻辑元件组成逻辑运算

元件名称		双膜片式	三膜片式	真值表
逻辑功能	非门	$s=\bar{a}$	$s=\bar{a}$	a s 0 1 1 0
	或门	$s=a+b$	$s=a+b$	a b s 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1
	与门	$s=a\cdot b$	$s=a\cdot b$	a b s 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1
	与非	$s=\overline{a\cdot b}$	$s=\overline{a\cdot b}$	a b s 0 0 1 1 0 1 0 1 1 1 1 0
	双稳	S_1　s_2	s_2　s_2	a b s_1 s_2 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 0 0 0 1 0

2.4 滑阀式气动逻辑元件

滑阀式气动逻辑元件是利用手操作用、机械控制、气动控制和电动控制信号，推动滑阀或阀芯移动，改变流道的通断，实现各种逻辑功能。通常的两位三通、两位四通、两位五通、三位四通、三位五通气控阀(或电磁阀、机控阀、手操阀)都属于这类逻辑元件。它具有工作可靠、寿命长、工作气压可高达 1MPa 等特点。

滑阀式逻辑元件按控制方式来分有：手动操作、机械控制、单气动控制、双气动控制和电动控制。

常用的手操滑阀式逻辑元件有转柄式、旋钮式和推拉式三种。图 9.2.5—5 示出转柄式两位三通阀。当手柄 3 转到某一位置时，使阀杆 5 处于受压状态，即向下移动，打开气源口 p，关闭排 大气口 o，则 PA 相通有输出；反之，手柄 3 处于自由状态，即原始位置(利用弹簧复位)，则 AO 通，无输出。

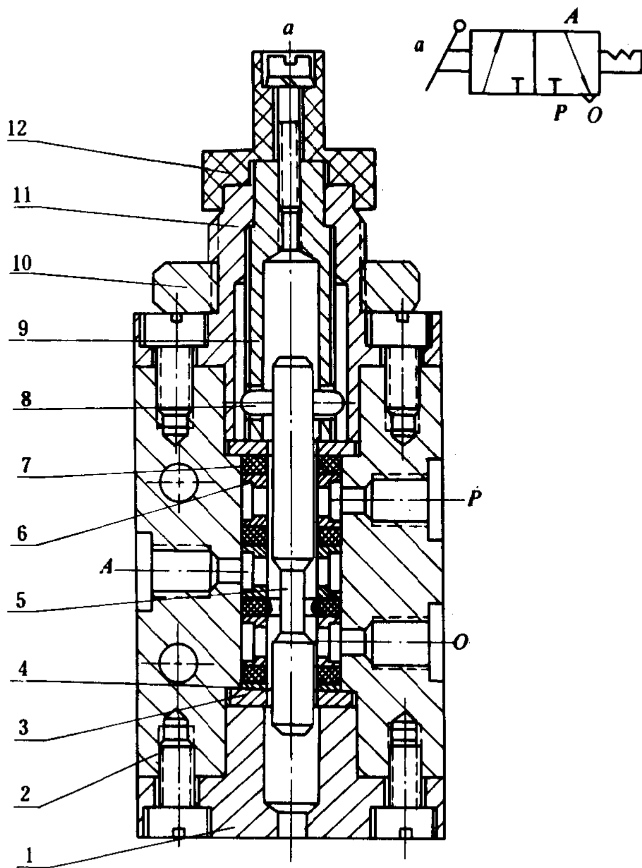


图 9.2.5—6 旋钮式两位三通阀

1—下阀盖；2—阀体；3—衬垫；4—调整垫片；5—阀杆；6—隔套；7—密封环；8—销；9—旋钮套；10—螺母；11—螺纹座；12—旋钮

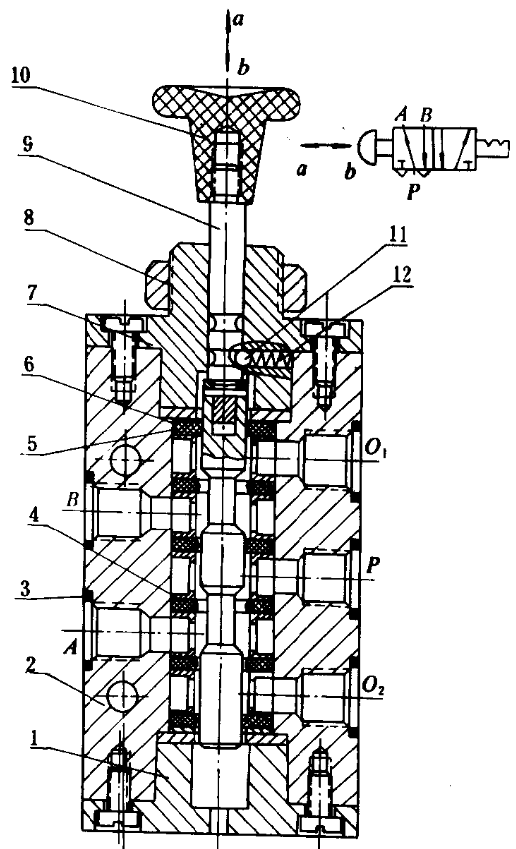


图 9.2.5—7 推拉式两位五通阀

1—下阀座；2—阀体；3—O 形密封圈；4—隔套；5—密封圈；6—阀芯；7—上阀盖；8—螺母；9—拉杆；10—手柄；11—钢球；12—弹簧

图 9.2.5—6 示出旋钮式两位三通阀。将旋钮向右旋转 90°，阀杆 8 移动，使 PA 相通有输出；反之，向左转回到原始位置，使 AO 相通，无输出。

图 9.2.5—7 示出推拉式两位五通阀。当拉出手柄时，通过拉杆 2 改变滑阀位置，使 PA 相通有输出，同时 BO 相通无输出；反之，推进手柄时，使 PB 相通有输出，同时 AO 相通无输出。该阀具有定位性能。

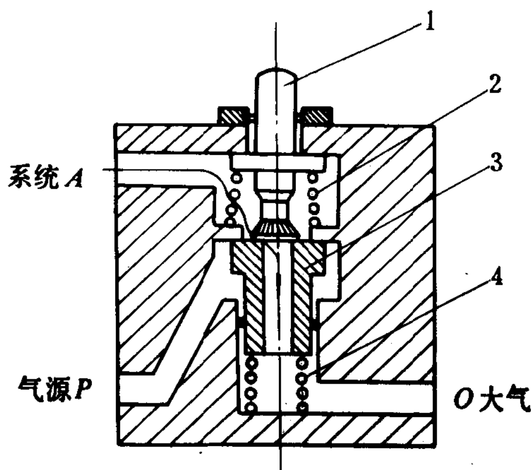


图 9.2.5—8 直动式两位三通阀

1—阀杆；2—弹簧；3—活动阀座；4—弹簧

常用的机械控制滑阀式逻辑元件，如图 9.2.5—8 示出的直动式两位三通阀。当没有机械外力作用于阀杆 1 时，它利用弹簧 4 复位，使 AO 相通无输出；反之，有外力作用时，阀杆 1 向下移动，打开气源口 P，关闭排气口 O，使 PA 相通有输出。其中，机械控制的头部结构，还有杠杆滚轮式和滚轮通过式两种。这种阀的通径为 2～6mm；工作压力为 0～0.8MPa；行程为 1～7mm。

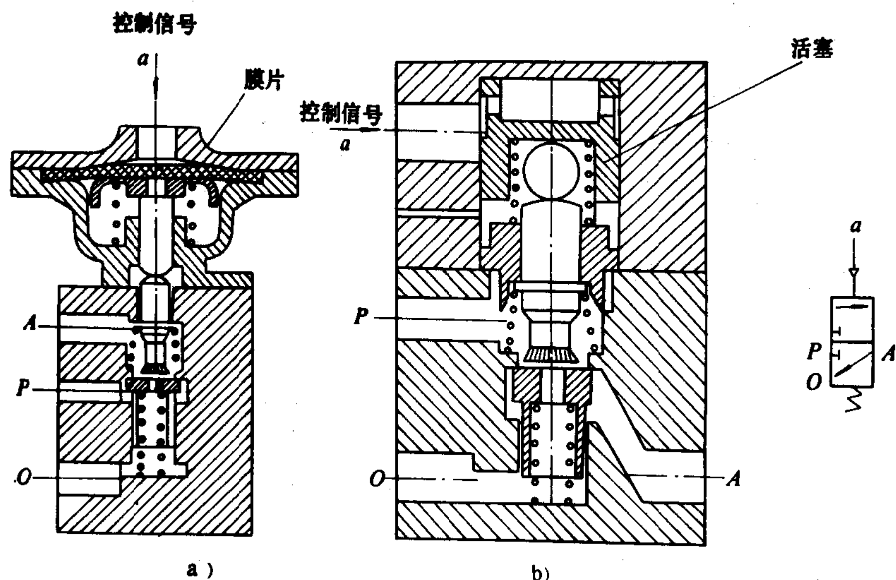


图 9.2.5—9 单气控两位三通阀

常用的单气控滑阀式逻辑元件有两位三通和两位五通阀。图 9.2.5—9 示出单气控两位三通阀。当有气控信号 a 时，通过膜片或活塞，推动阀杆向下移动，使 PA 相能有输出；反之，无气控信号 a 时，使 PO 相通无输出。图中 a）为膜片式，b）为活塞式。

图 9.2.5—10 示出单气控两位五通阀。当有气控信号 a 时，通过活塞推动滑阀右移，使 PA 相通有输出，同时 BO 相通排大气；反之，无信号时，滑阀左移，使 PB 相通有输出，同时 AO 相通排大气。该阀有定位性能。

常用的双气控滑阀式逻辑元件有：双气控两位五通阀、双气控三位五通阀、双座阀和联动阀四种。图 9.2.5—11 示出双气控两位五通阀。当有气控信号 a 时，滑阀向右移动，使 PA 相通有输出，同时 BO 相通排大气；反之，有气控信号 b 时，滑阀向左移动，使 PB 相通有输出，同时 AO 相通排大气。但气控信号 a 与 b 不允许同时存在。

图 9.2.5—12 示出双气控三位五通阀，并附有连锁信号。当有连锁信号 6 时，阀处于中间位置；在连锁信号 6 消失后，若控制端 5 有气控信号，使 PB 相通有输出，同时 AO 相通排大

气。同理,若控制端7有气控信号,使PA相通有输出,同时BO相通排大气。

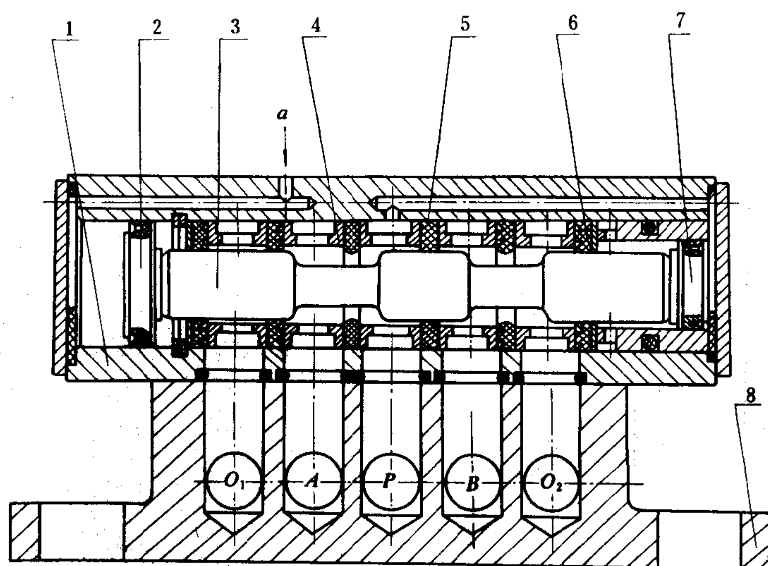


图9.2.5-10 单气控两位五通阀

1—阀体;2—活塞组件;3—滑阀;4—气道隔环;5—密封环;6—E型密封环;7—小活塞组件;8—阀座

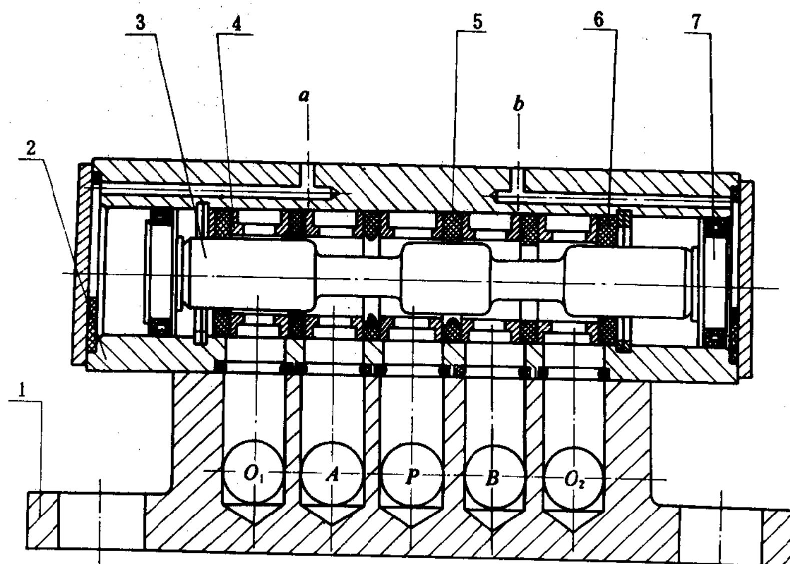


图9.2.5-11 双气控两位五通阀

1—阀座;2—阀体;3—滑阀;4—气道隔环;5—E形密封环;6—密封环;7—活塞组件

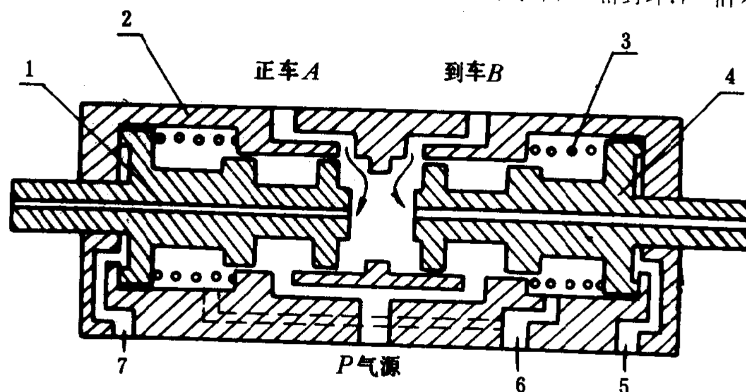


图9.2.5-12 双气控三位五通阀

1—左滑阀;2—阀体;3—弹簧;4—右滑阀;5—控制端;6—连锁信号;7—控制端

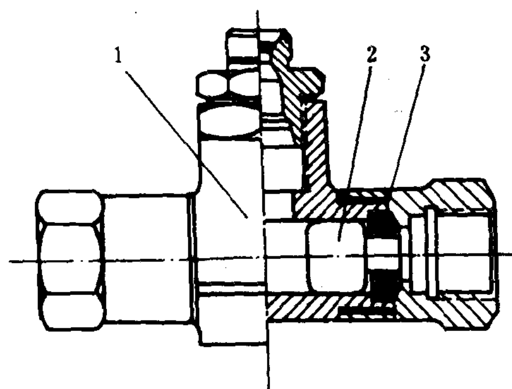
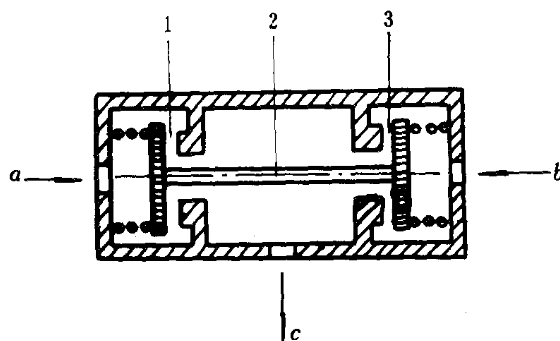


图 9.2.5—13 双座阀

1—阀体；2—滚柱；3—橡皮圈



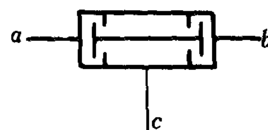


图 9.2.5—14 联动阀

1—气口；2—阀芯；3—气口

图 9.2.5—13 示出双座阀。它有两个输入端，当其中一个输入端有信号时，则有输出。若两个输入端均无信号时才无输出。它是利用输入信号 a 或 b 来推动滚柱工作。

图 9.2.5—14 示出联动阀。它有两个输入端 a 和 b，只有两个输入端同时存在输入信号时，才有输出，否则无输出。它是利用输入信号 a 或 b 来推动阀芯工作。以上介绍的单、双气控阀的主要参数：通径为 4～25mm；工作气压为 0.15～0.8MPa；最低控制气压为 0.28MPa（单气控）或 0.15MPa（双气控）；换向时间为 0.08～0.3s。

常用的电控滑阀式逻辑元件有直动截止式和电磁先导式两种。图 9.2.5—15 示出直动截止式两位三通电磁阀。图中 a）表示激磁线圈处于断电状态，即无单电控信号，使 AO 相通无输出。图中 b）表示激磁线圈处于通电状，即有单电控信号，使 PA 相通，有输出。

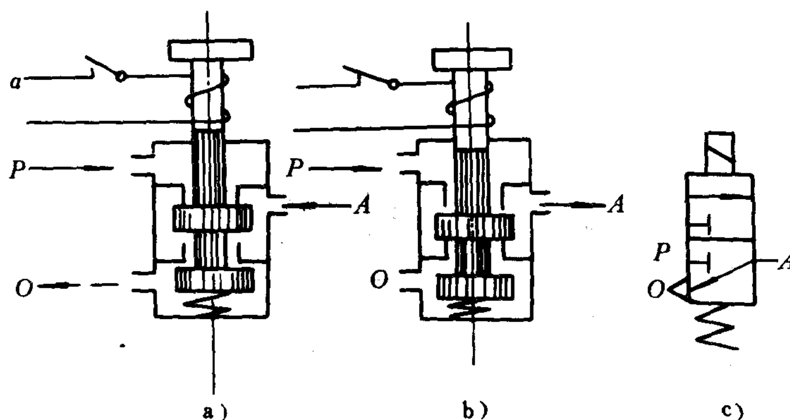


图 9.2.5—15 直动截止式两位三通电磁阀

图 9.2.5—16 示出电磁先导式单电控两位三通电磁阀。它是由电控信号改变气导阀的流道通断状态，然后用气信号推动主阀芯。线圈 a 通电时，P_1A_1 相通，先导阀进气，推动主阀左移，使 PA 相通有输出；反之，线圈 a 失电时，使 AO 相通，无输出。

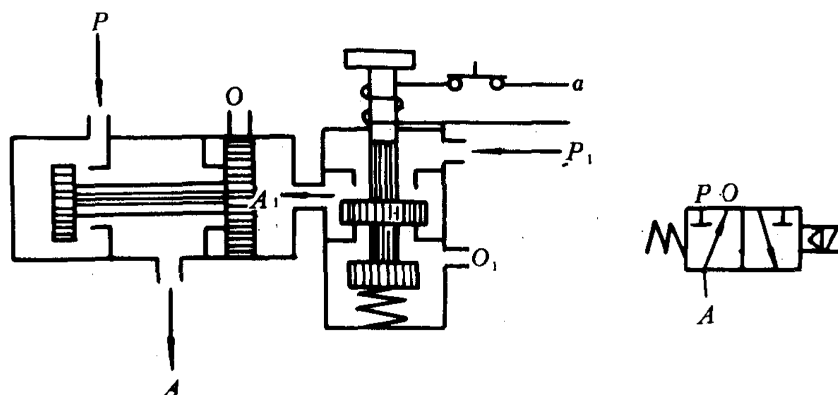


图 9.2.5—16 电磁先导式单电控两位三通电磁阀

图 9.2.5—17 示出电磁先导式双电控两位五通电磁阀。线圈 a 通电时，通过先导阀推动主阀右移，使 PA 相通有输出，同时 BO 相通排大气；反之，线圈 b 通电时，通过先导阀推动主阀左移，使 PB 相通有输出，同时 AO 相通排大气。但双控线圈 a 与 b 不允许同时通电。

上述介绍的单电控与双电控阀的主要参数：工作压力为 0.15～0.8MPa；工作电压为 24V·DC；绝缘电阻为≥20MΩ；工作介质为－10～＋40℃。

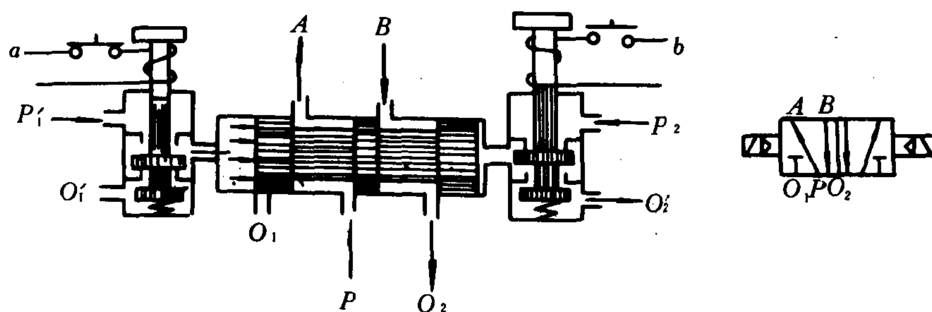


图 9.2.5—17 电磁先导式双电控两位五通电磁阀

表 9.2.5—4 给出常用滑阀式逻辑元件的结构符号、逻辑符号和真值表。表 9.2.5—5 给出常用气动逻辑回路汇总表。鉴于目前气动逻辑符号尚未统一，表 9.2.5—6 给出常用气动逻辑符号对照表，供读者参考。

表9.2.5—4

滑阀式逻辑元件的结构符号、逻辑符号和真值表

控制方式	阀件名称	结构符号	逻辑符号	逻辑动能
手操	转柄式两位三通阀		a → A	a: 0, 1; A: 0, 1
	旋钮式两位三通阀			
机控	直动式两位三通阀			
气控	单气控两位三通阀			
电控	直动截止式两位三通电磁阀			

续上表

控制方式	阀件名称	结构符号	逻辑符号	真值表
电控	电磁先导式电控两位三通电磁阀	a P A O		
手操	推拉式两位五通阀	a O P O A B	a B	
气控	单气控四位五通阀	a O P O A B P	a A	
气控	双气控两位五通阀	a O P O A B b	a 1 A b 0 B	
电控	电磁先导式双电控两位五通电磁阀	a O P O A B b		

a	A	B
0	0	1
1	1	0

a	b	A	B
0	0	0	1
1	0	1	0
0	0	1	0
0	1	0	1

续上表

控制方式	阀件名称	结构符号	逻辑符号	真值表
气控	双座阀			
气控	联动阀			
气控	双气控三位五通阀	结构符号	逻辑符号	

双座阀真值表：

a	b	c
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

联动阀真值表：

a	b	c
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

双气控三位五通阀真值表：

5	7	6	A	B
0	0	0	0	1
1	0	0	1	0
0	0	0	1	0
0	1	0	0	1
0	0	1	0	0
1	0	1	0	0
0	1	1	0	0

表9.2.5—5　　**常用气动逻辑回路总表**

逻辑门	逻辑是（是门）	逻辑非（非门）	逻辑乘（与门）
表达式	$F=A$	$F=\overline{A}$	$F=A\cdot B$
真值表	A: 0 1 F: 0 1	A: 0 1 F: 1 0	A: 0 0 1 1 B: 0 1 0 1 F: 0 0 0 1
逻辑 符号	A, F	A, F	A, B, F
阀　门	A, F	A, F	A, B, F
电气回路	A, F	A, F	A, B, F
逻辑门	逻辑加（或门）	或非	与非
表达式	$F=A+B$	$F=\overline{A+B}=\overline{A}\cdot\overline{B}$	$F=\overline{A\cdot B}=\overline{A}+\overline{B}$
真值表	A: 0 0 1 1 B: 0 1 0 1 F: 0 1 1 1	A: 0 0 1 1 B: 0 1 0 1 F: 1 0 0 0	A: 0 0 1 1 B: 0 1 0 1 F: 1 1 1 0
逻辑 符号	A, B, F	A, B, F	A, B, F
阀门	A, B, F	A, B, F	A, B, F
电气回路	A, B, F	A, B, F	A, B

续上表

逻辑门	蕴含门					禁门					异或门					同或门				
表达式	$F=\overline{A}+B$					$F=A\cdot\overline{B}$（或$F=\overline{A}\cdot B$）					$F=A\overline{B}+\overline{A}B$					$F=AB+\overline{A}\,\overline{B}$				
真值表	A	0	0	1	1	A	0	0	1	1	A	0	1	0	1	A	0	1	1	0
	B	0	1	0	1	B	0	1	0	1	B	1	0	0	1	B	0	1	0	1
	F	1	1	0	1	F	0	0	1	0	F	1	1	0	0	F	1	1	0	0
逻辑符号						$F=A\cdot\overline{B}$														
阀门																				
电气回路																				

表9.2.5 —6　　我国及国际上常用的几种基本逻辑符号

逻辑门 / 规程	逻辑与	逻辑或	逻辑非
我国常用			
MIL—STD 806 B			
DIN 40700			
CETOP RP 33			
			N

续上表

逻辑门 规程	逻辑与	逻辑或	逻辑非
其它	A, B —[∧]— F	A, B —[∨]— F	A —[−]— F
	A, B —[•]— F	A, B —[+]— F	A —[|]— F
布尔函数	$F=A\cdot B$	$F=A+B$	$F=\overline{A}$
条件说明	两个以上信号同时输入才有输出	两个以上信号有任何一个输入时即有输出	有信号输入时无输出 无信号输入时有输出

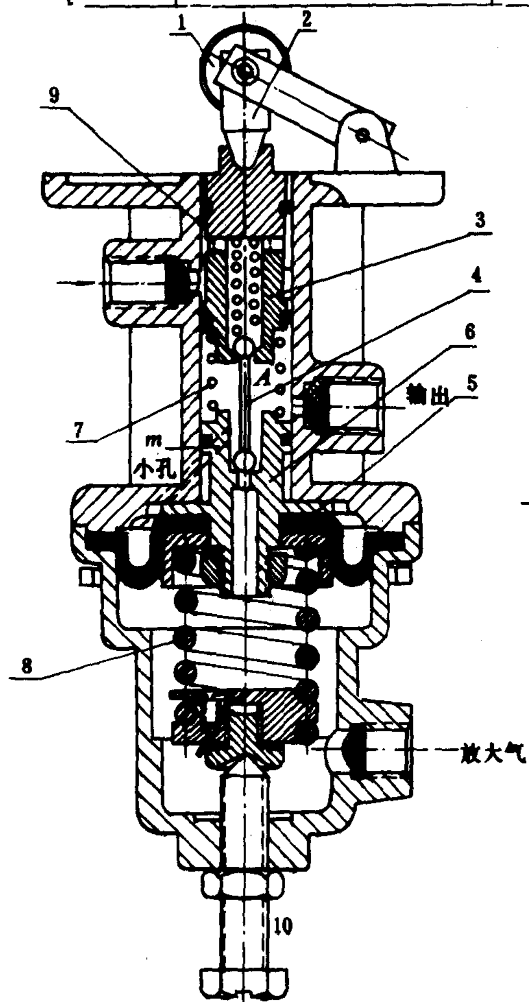


图 9.2.5—18 精密调压阀结构

1—滚轮；2—顶锥；3—上滑阀；4—进排气球阀；5—膜片；6—下滑阀；7、8、9—弹簧；10—调整螺钉；m—反馈小孔

3 气动辅助元件

气动辅助元件是气动控制系统必不可少的元件。常用的气动辅助元件有：精密调压阀、减压阀、溢流阀（或称安全阀）、节流阀、单向阀、单向节流阀和速放阀等。表 9.2.5—7 给出气动辅助元件的原理图、符号和简要说明。

图 9.2.5—18 示出精密调压阀的结构。调压阀输出的气压信号与上滑阀的位移量成比例。当手柄转到某一位置时，通过凸轮将调压阀上的滚轮压下，使上滑阀向下移动某一距离，此时进排气球阀杆 4 上端的球阀离开阀座，输出腔与气源相通，输出气压信号增加。与此同时，输出腔信号又经小孔 m 使膜片 5 随之向下移动，则与膜片 5 相连的下滑阀 b 及进排气球阀杆 4 也随之向下移动，直到进排气球阀均处于关闭状态，输出气压稳定为止，使输出气压按比例增加。反之，当手柄按相反方向转动时，上滑阀 3 向上移动，使输出气压按比例减少。

表 9.2.5—7　**气动辅助元件的原理图、符号和简要说明**

名称	原理图及符号	简　要　说　明
减压阀		放松旋钮，调压弹簧没有向下的作用力，阀芯因平衡弹簧的作用处于平衡状态，则无输出。 顺时针转动旋钮时，调压弹簧受压，通过膜片、阀杆传递给阀芯，将阀打开使输出增加。同时，输出信号经反馈小孔，对膜片产生一个向上的推力，直到推力与弹簧作用力相平衡为止，输出稳定。逆时针转动旋钮，使输出减小
溢流阀		溢流阀又称安全阀。当气路内压力超出规定压力时，它克服弹簧的作用力，使活塞向上移动，打开溢流孔并迅速溢流，使气路压力限制在规定值的范围内

名称	原理图及符号	简要说明
节流阀	φ6.5 8 φ4 φ6	节流阀又称针阀。它是通过转动针阀阀芯来改变节流通道截面积，即改变流动阻力，实现节流作用
单向节流阀	1 2 P A	当气压信号自左侧输入时，单向球阀被压在阀座上，使它处于关闭状态，此时输入气压信号必须经节流阀节流后输出。反之，若输入气压信号自右侧输入时，单向被推开，输入信号无节流作用
延时阀	1 2 3 4 5 C K P A O 1—活塞杆；2—活塞；3—节流针阀；4—节流孔；5—单向节流阀；K—输入信号；P—输入；A—输出；O—通大气	图中的延时阀是由单向节流阀、气室及两位三通阀组成。当输入信号由口K输入时，经节流针阀3进入气室C，使C室压力逐渐升高，再经一定时间之后，C室压力达到某一值时，推动阀杆1左移，两位三通阀的PA相通，实现延时输出的要求。调整针阀3可改变延时时间

续上表

名称	原理图及符号	简要说明
分级延时阀	A B 2 3 4 1 5 6 输入 输出 1 2 1—阀盘；2—活塞；3—孔口；4—节流孔；5—气孔；6—阀	在分级延时阀中，若输入信号压力小于螺钉A调定压力时，活塞5不动，无节流作用；当输入信号压力超过调定压力时，活塞5上移，关闭气口1，使输入信号只能经小孔2和节流阀3输出，实现节流延时作用。调整螺钉B可改变延时时间
速放阀	P A O P A O	速放阀能快速放掉管路或气缸中的气压信号。当输入信号小于管路或气缸中的工作气压时，阀芯堵死输入信号，并从排大气口O快速放掉工作气压信号；反之，输入信号推动阀芯并封死排大气口

4 气动阀件和系统的维护保养

既使是很好的设备，如果不注意维护保养也会经常发生故障，设备不能正常运行。所以，运行管理人员切不可忽视日常的维护保养和检查工作。它不仅是预防气动阀件和系统发生故障的有力措施，还是延长阀件使用寿命的途径。表9.2.5—8列出气动阀件的常见故障和排除方法。表9.2.5—9列出气动系统的检查要点。

表9.2.5—8 **气动阀件常见故障和排除方法**

现象	原因	排除方法
阀不动	1. 密封件老化变形或损伤	检查或更换
	2. 尘埃等卡在滑动部分或阀座上	清除尘埃
	3. 弹簧损坏	更换
	4. 阀芯、阀套磨损或损伤	更换
	5. 阀的操纵力小	检查阀的操纵部分
	6. 膜片破裂	更换
阀振动	1. 气压低（先导式）	提高先导操纵力；采用直动式
	2. 电压低（电磁阀）	提高电源电压；使用低压线圈

表 9.2.5—9　　**气动控制系统的检查要点**

检查部位	检查的零件及检查的内容
空气过滤器	存水杯——是否裂纹和损坏 滤芯孔——是否堵塞 自动排水阀——孔是否堵塞，动作是否正常
调压阀	压力表——有无偏差 阀——阀座密封垫有无损伤、动作是否平稳 膜片—是否破损 弹簧—有无锈蚀、弹力是否减弱、是否折断 喷咀孔——是否堵塞
电控阀 气控阀 机控阀	线圈——绝缘性能是否符合要求 铁芯——短路环是否松动；是否生锈 弹簧——有无锈蚀，弹力是否减弱、是否折断 控制活塞——连接螺钉是否松动；动作是否平稳 阀——阀座密封垫有无损伤，动作是否平稳 柱塞—有无损伤和磨损 膜片——有无破损 O 形密封圈——有无变形、损伤 滚轮、杠杆—是否磨损、变形 凸轮——是否磨损、变形
速度控制阀	针阀——是否损伤 单向阀——密封垫圈有无损伤、动作是否平稳
速放阀 双座阀 单向阀	唇形密封圈——唇部有无损伤、变形 O 形密封圈——有无损伤、变形 阀——滑动部分有无损伤
气缸	气缸体——内表面有无损伤，电镀层有无脱落 滑动 O 形密封圈——有无损伤、变形 活塞杆——表面有无损伤、电镀层有无脱落
溢流阀	阀座——有无损伤 膜片——有无破损 弹簧——有无锈蚀、折断

参 考 文 献

[1]　袁希光主编：传感器技术手册，国防工业出版社，1986 年 12 月

[2]　沈自钧、徐书菘编：热工自动化仪表，电力工业出版社，1980 年 12 月

[3]　浦宝康、赵兴贤主编：轮机自动化，人民交通出版社，1980 年

[4]　赵兴贤、张德一主编：轮机自动化，人民交通出版社，1983 年

[5] 日本造船学会舣装研究委员会编:刘直、赵兴贤译:自动化船舶的动力装置,人民交通出版社,1980年
[6] 电机工程手册编辑委员会编:电机工程手册—第8卷,机械工业出版社,1982年12月
[7] 热工自动化设计手册编写组编:热工自动化设计手册,水利电力出版社,1981年
[8] 上海、大连、西安等地仪表厂产品说明书
[9] 计测自动制御学会编:自动制御ハンドブック,オーム社,1983年

第3篇　机舱自动控制系统

第1章　柴油机冷却循环温度控制

1　冷却循环温度自动调节系统

在船舶柴油机装置中，冷却介质温度自动调节的要求，随柴油机功率和装置的复杂程度而异。在中小型柴油机中，只设缸套冷却水和润滑油系统的温度调节。大功率柴油机通常设有：(1)缸套冷却水温度调节；(2)活塞冷却水或冷却油温度调节；(3)滑油冷却温度调节；(4)海水再循环温度调节；(5)增压空气中间冷却器的海水温度调节；(6)喷油嘴冷却水温度调节；(7)凸轮箱润滑油冷却温度调节；(8)减速齿轮箱润滑油冷却温度调节。

其中(1)～(5)调节系统的调节阀口径较大，多采用间接作用式调节器(或采用石蜡式调温阀)；其余为直接作用式调节器。

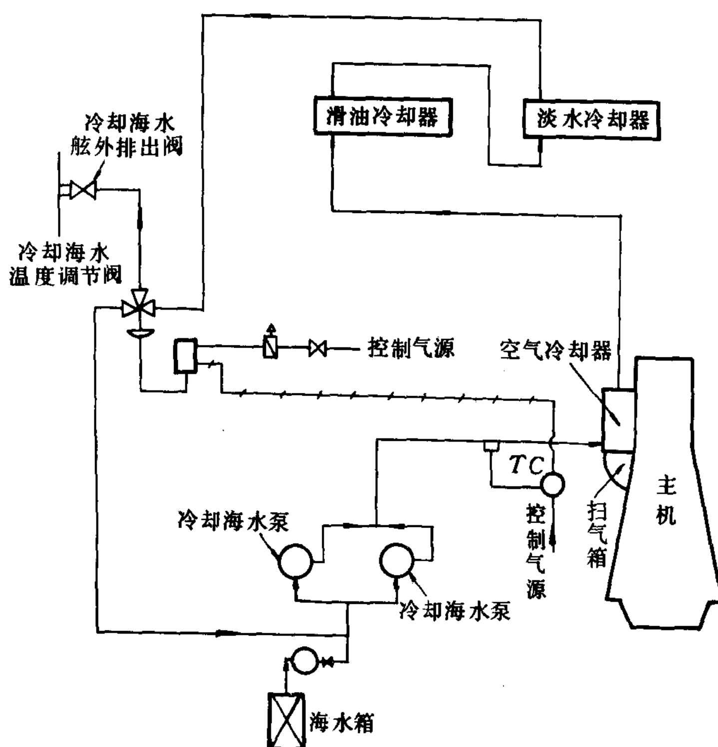


图 9.3.1—1　海水再循环温度调节系统

全航区的船舶，采用舷外海水温度自动调节系统有如下好处：当进入寒带区域时，由于海水温度很低，冷却器的传热增大，所以为了保证淡水(或滑油)的温度，调节器必须把调节阀关得很小；当进入热带航区航行时，海水温度较高，要求调节阀在大开度下工作。这种调节阀开度的变化，对对象的静态和动态特性有很大的影响。为此在整定比例带时难于兼顾这两种情况，采用海水再循环温度调节是很有必要的。图 9.3.1—1 示出海水再循环温度调节系统实例。

船舶柴油机装置冷却循环温度自动调节系统往往采用三通调节。例如后面介绍的 TQWQ 三通调节阀系统。三通调节是通过改变被调介质流量和旁通量的比值来实现的。这样一来，保证了通过柴油机的冷却水有正常的

流速。如果采用直通的节流调节，当阀的开度较小时，因通过柴油机的冷却水或润滑油流量太小，易引起局部过热，或润滑不足。因此，在冷却循环中一般都不使用单独的直通式调节阀。有时不用三通调节阀，而使用两个直通调节阀，分别装在通过冷却器的管路和旁通的管路上。在二个调节阀中，若其中一个开大，则另一个关小，实现三通调节要求。例如 TOMOE 系统。

按三通调节阀安装的位置，又可分为"分流系统"（见图 9.3.1—2a)、c))和合流系统（见图 9.3.1—2b)d))。

调节器的测量温包既可放在柴油机出口管上，调节出口介质的温度，如图 9.3.1—2a)，b)，也可放在柴油机进口管上，调节进口介质的温度，如图 9.3.1—2c)，d)。在淡水冷却调节系统中这两种方法都用。中小型柴油机，一般使用直接式调节器，多调节柴油机出口温度。大型柴油机采用间接式调节器。两种测点都能使用。按柴油机说明书要求选择。在没有规定的情况下，以调进口温度为宜。因为调节进口温度时，从调节阀到温度测量点距离较短，改变调节阀开度，能迅速引起进水温度的变化，克服柴油机缸套或缸头的热惯性影响，滞后小；反之，滞 较大。

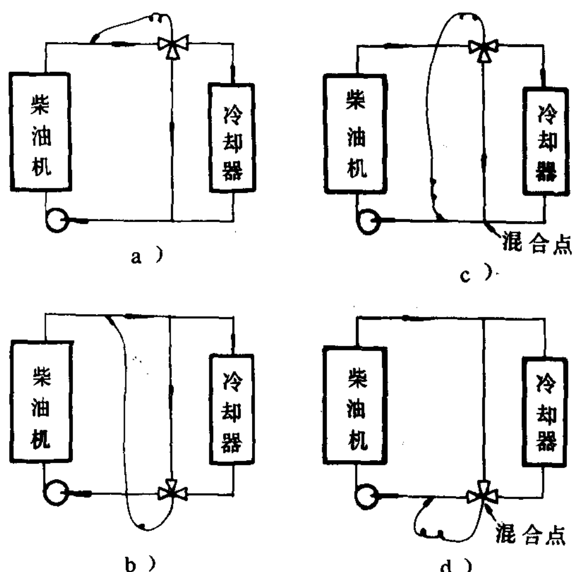


图 9.3.1—2　冷却调节系统的方案

温包的安装位置在远离冷热水混合点的一段直管段上，否则测温点易受冷热水混合不均匀和水流冲击的影响，造成温度测量值不正确和系统振荡。当调节出口温度时，不存在测温点冷热水混合不均匀的可能性，但水流冲击，同样会造成系统振荡，因此，要求一定长度的直管段是必要的。

实际使用证实，采用进口温度调节，动态过程较稳定。

滑油温度调节系统，要求进柴油机的滑油应有适宜的粘度和温度，所以多采用进口温度调节。

2　直接作用式冷却循环温度调节器

直接作用式温度调节器种类很多，结构也各不相同。但工作原理基本相似，都是根据被调温度变化，使感温包内充注的工作介质的压力随温度变化。借助介质压力的变化，改变调节阀的开度和冷却水的流量，从而控制冷却水的温度。

直接式温度调节器的优点是：简单，造价低，管理方便。缺点是：精度不高。推动力小，不宜用于要求精度高的大口径冷却系统。

2.1　WDT—52 型淡水温度调节阀

通常用在柴油发电机冷却水温度调节系统，见图 9.3.1—3。

调节阀的动作原理：波纹管 4 抽真空并充入低沸点的液体（如乙醚，丙酮等），但并不充满。柴油机出来的冷却水包围着波纹管，使内部的液体达到与冷却水同样的温度，液面上的蒸汽压

力为液体在此温度下的饱和压力。冷却水温度高，饱和压力高，如从柴油机出来的淡水温度高于给定温度，则波纹管中的丙酮或乙醚受热而膨胀，推动阀杆向上移动，使主阀的开度增加，通过冷却器的水量增加，旁通阀的开度减少，旁通的水量减少。于是要求降低混合后进入柴油机的冷却水温度，使出口温度随之下降到接近给定值。如果进入调节阀的淡水温度低于给定温度时，则主阀关小，旁通阀开大，使经过冷却器的淡水量减少，达到冷却水温度调节的目的。

这种温度调节阀设计成波纹管内的压力比大气压力低，故当波纹管损坏泄漏而失去控制时，波纹管自动伸长，打开主阀，关闭旁通。这时淡水全部进入冷却器，保证被调介质温度不致过高。该阀用手操机构 5 可手动调节主阀和旁通阀开度。

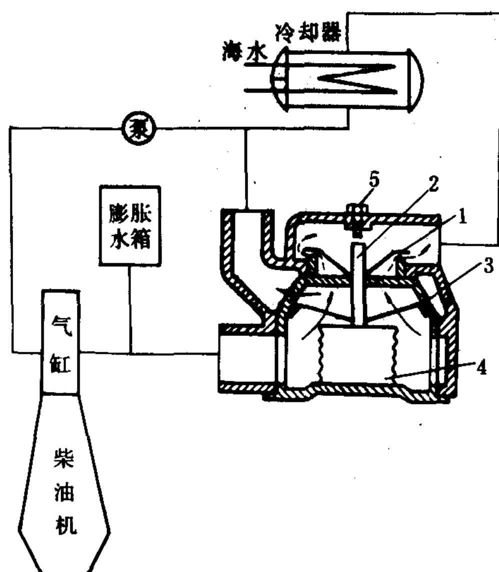


图 9.3.1－3　冷却水温度控制系统和 WDT 温度调节阀
1－主阀；2－阀杆；3－旁通阀；4－波纹管；5－手操机构

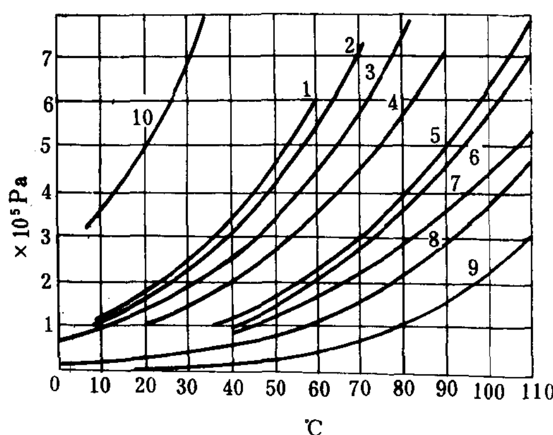


图 9.3.1－4　液体的饱和压力与温度关系
1－二甲胺；2－甲醚；3－氯乙烷；4－60%氯乙烷＋40%溴乙烷；5－乙醚；6－溴乙烷；7－二硫化碳；8－丙酮；9－甲基丙酮；10－氯甲烷

图 9.3.1—4 示出各种液体的饱和压力和温度关系曲线。

2.2　滑油温度调节阀

图 9.3.1—5 示出中小功率柴油机的滑油温度调节器。由冷却器出来的已冷却的滑油由 13 进入，旁通由 14 进入。混合后的油由 12 排出。该调节阀与上节淡水调节阀一样，具有故障保险装置。当充液波纹管损坏时，弹簧 5 压缩波纹管，使套筒阀门 3 向下移动，直到接触保险器 7 跳开套环 6 的肩缘。在弹簧 11 作用下推动套筒阀门向上，自行关闭旁通口，使滑油全部经过冷却器。这就保证柴油机不致因滑油温度过高而损坏。

另外，旋转下盖 10，可使套筒阀 3 上下移动，调整旁通口开度。这样，可调整给定温度。

以上二种调温装置都具有以下特点；移动阀盘的力来自波纹管中低沸点液体的压力。阀的通径愈大，被调介质作用在阀盘上的不平衡力愈大，推动它的力也愈大，低沸点液体的蒸发压力是不大的，要达到较大的推动力，只能依靠增大波纹管的尺寸。而波纹管愈大，要求温包尺寸也要相应增大。这样，调节器滞后增大。显然，调温装置的滞后愈大，则调节系统中被调参数的

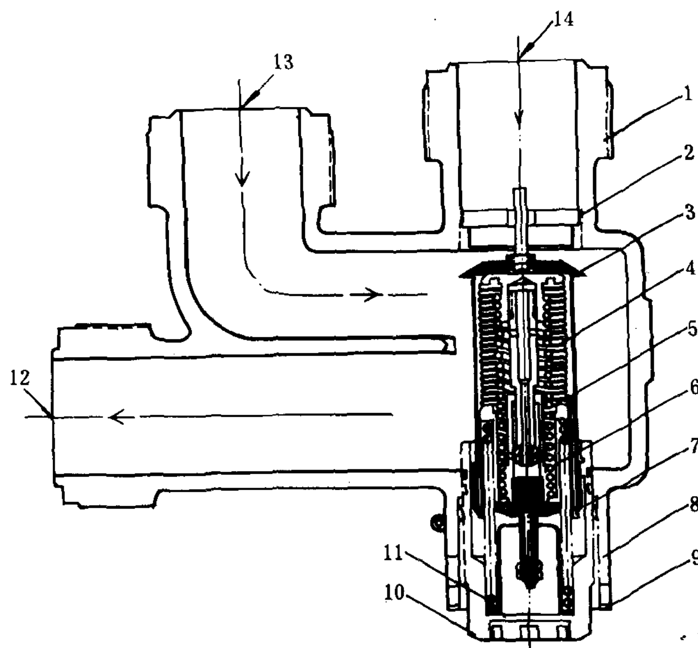


图 9.3.1-5 滑油温度调节器

1—壳体;2—导向座;3—套筒阀门;4—波纹管;5—弹簧;6—套环;7—保险器;8—密封垫圈;9—锁紧螺母;10—下盖;11—安全弹簧;12—出油管;13—冷却油管;14—旁通管

波动愈剧烈，且不易稳定。被调参数的剧烈波动对被调对象的可靠性是不利的。所以，上述的调温装置仅用在中小功率的柴油机装置上。

2.3 Walton 型调温阀

图 9.3.1-6 示出 Walton 型调温阀的原理图。它是利用石腊混合液(工作时被加热而成液体)体积膨胀来推动阀门的。由于体积膨胀力远大于低沸点液体的蒸汽压力，使测温的敏感元件做得很小。因此，滞后较小，可用于大口径的温度调节系统。

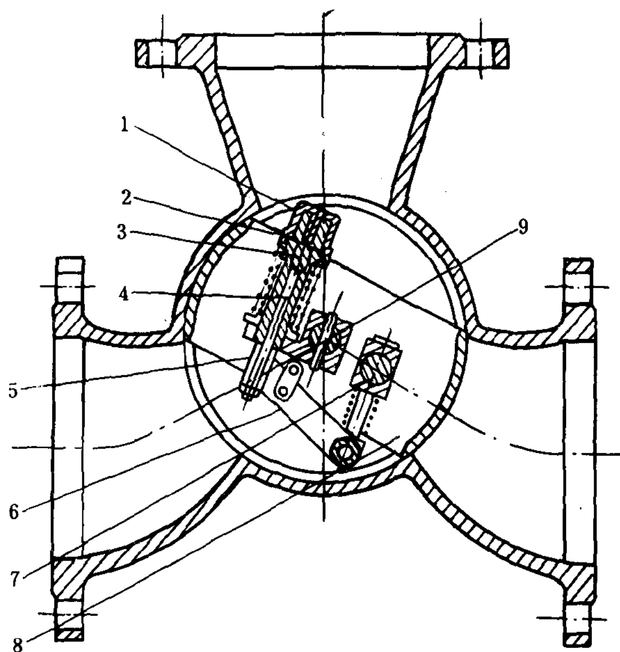


图 9.3.1-6 Walton 型调温阀

1—感温包;2—膜片;3—弹簧;4—杆;5—十字接头;6—杠杆;7—销;8—转阀;9—轴

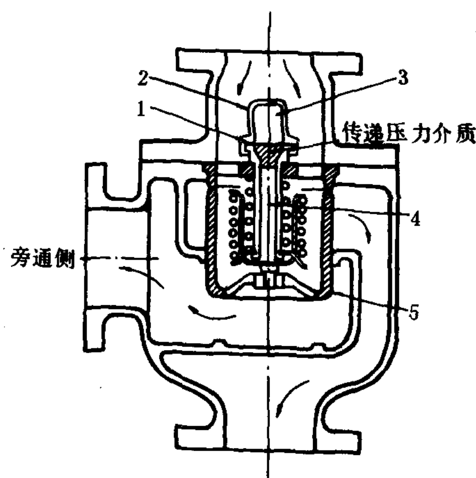


图 9.3.1-7 "阿姆特"调温阀

1—膜片;2—感温筒;3—石蜡;4—活塞;5—阀体

Walton 型调温阀也可做成三通式转阀，阀内装有一只混有铜粉的石腊感温包，若冷却水温度升高时，石腊受热膨胀，通过膜片 2 推动杆 4 向下移动，再通过十字接头 5 带动杠杆 6，后

者的另一端通过销 7 带动转阀 8 转动，从而改变旁通和冷却通道的截面积。减少旁通水量，增大进入冷却器的被冷却水量，转阀 8 一直转到弹簧 3 受压所产生的反向作用力与温包 1 所产生的作用力相等才停止转动。反之，冷却水温度降低时，其动作方向正好相反。当调温阀发生故障时，可用调温器外面的手柄转动轴 9，使转阀 8 转动，达到手控目的。

图 9.3.1—7 示出石腊式调温阀的另一种型式"阿姆特"调温阀实例，该调温阀是双阀座式三通阀，用在较小口径的调温系统中。

3 间接作用式冷却循环温度调节器

间接式温度调节器能实现参数无差调节，遥测，遥控，显示等功能。

间接式温度调节器依外加能源的形式，可分为气动的、电动的两种。这两种温度调节装置在船舶上都有使用，并都在发展。

间接式温度调节装置系统框图见图 9.3.1—8。

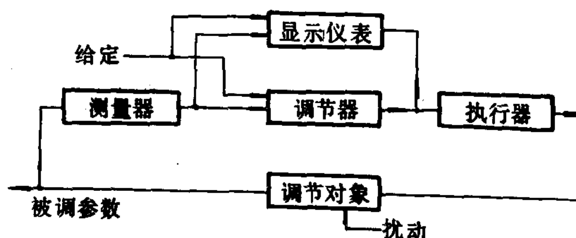


图 9.3.1—8 简接式温度调节装置系统框图

3.1 TQWQ 型气动温度调节器

3.1.1 作用原理

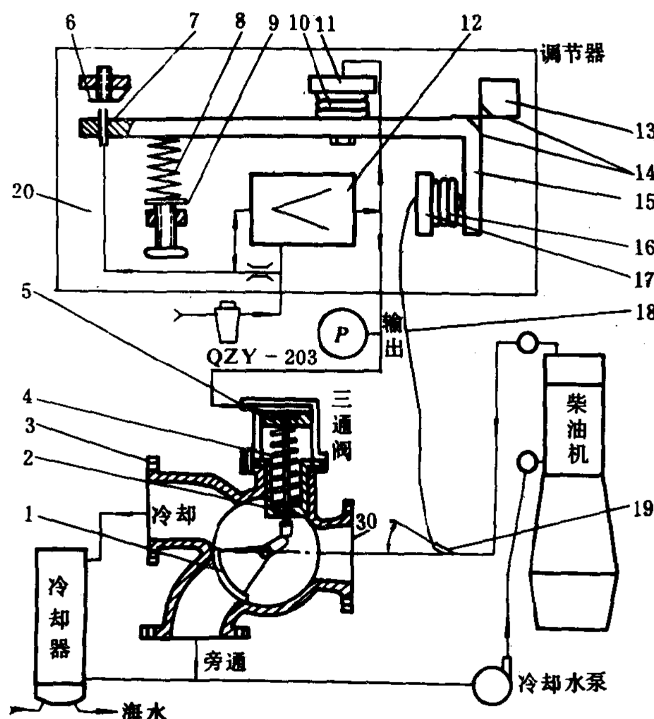


图 9.3.1—9 TQWQ 型气动温度调节器原理图

1—阀瓣；2—活塞杆；3—三通转阀；4—弹簧；5—活塞；6—挡板；7—喷嘴；8—给定弹簧；9—调整螺丝；10—反馈波纹管；11、13、17—支架；12—放大器；14—十字簧片；15—杠杆；16—测量波纹管；18—毛细管；19—温包；20—软管

图 9.3.1—9 示出 TQWQ 型气动温度调节器和调节系统的原理图。调温装置由调节器和三通阀组成。调节器温包 19 感受被调介质温度的变化，通过毛细管 18 传递到测量波纹管 16 中，此测量力通过比较元件——杠杆 15 与定值弹簧 8（保持给定温度）和反馈波纹管 10 的反馈力相比较，在稳定情况下三者平衡。测量波纹管 16 上的测量力变化，由反馈波纹管 10 压力的变化来补偿；即测量力变小时，反馈力增大，反之亦然。

当被调介质温度下降时，引起测量力的减小，破坏了原来的平衡，使杠杆 15 在定值弹簧 8 的张力作用下，顺时针方向转动，并使固定在杠杆 15 左端的喷咀 7 紧靠挡板 6。这样一来，放大器输出压力上升，通过反馈波纹管 10，在杠杆上产生一个推力，使杠杆 15 作逆时针方向转动。当反馈力矩和测量力矩相等时，杠杆停止转动，这时

喷咀挡板间的距离不再变化，放大器输出一个稳定的压力。

由于调节器采用十字簧片结构，因此在小位移时可忽略摩擦力，从而提高了调节器的灵敏度。

放大器输出又通过输出管路进入活塞 5 的上部，压缩弹筑 4，使活塞 5 向下移动。并通过活塞杆 2 转动阀 1，使阀 1 逆时针转动，逐渐打开阀门旁通通道，关闭冷却通道。这样一来，从主机出来的高温水，旁通冷却器，直接通过三通阀，进入主机。反之，当被调介质温度升高时，关小旁通通道，打开冷却通道，使从主机出来的高温水，通过冷却器进入主机。

图 9.3.1－10 为调温装置框图。

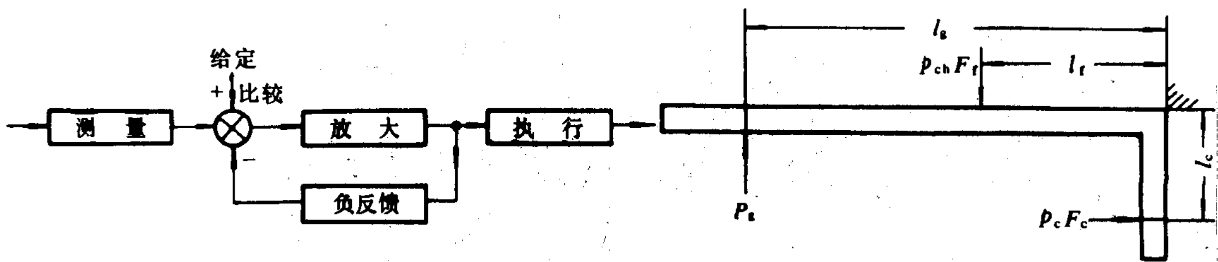


图 9.3.1－10 TQWQ 型气动调节器框图

图 9.3.1－11 杠杆受力平衡图

TQWQ 调节器是按力矩平衡原理工作的，见图 9.3.1－11。力矩平衡式为：

$$P_g l_g = p_c F_c l_c + p_{ch} F_f l_f \quad (9.3.1-1)$$

式中：p_g——弹簧量；

p_c——温包液压力；

F_c——测量波纹管有效面积；

p_{ch}——输出压力；

F_f——负反馈波纹管有效面积；

l_c、l_g、l_f——为各力臂长度。

如果认为温包液压力变化，在被调温度变化范围内，则两者成线性关系

$$\Delta p_{ch} = K\Delta t \quad (9.3.1-2)$$

式中 K 为调节器的放大系数，它与波纹管有效面积，力臂长度以及充液的特性有关。

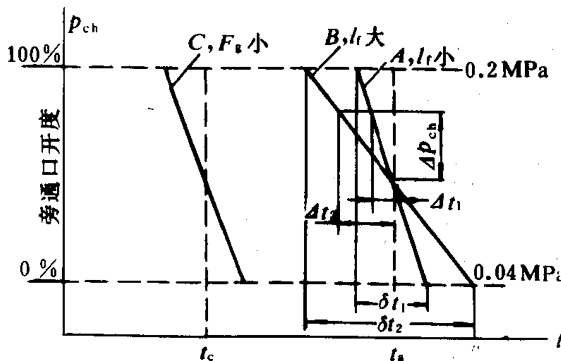


图 9.3.1－12 TQWQ 型调温装置静特性

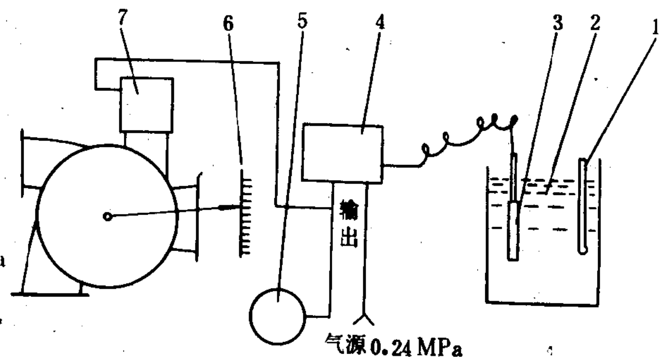


图 9.3.1－13 TQWQ 型气动温度调节器调试

1－温度计；2－恒温槽；3－温包；4－调节器；

5－压力表；6－标尺；7－执行机构

图 9.3.1—12 为调温装置的静特性，如果把负反馈波纹管的安装位置右移一点，即减少 lf，则特性线斜率增大(如 A 线所示)。相反，把负反馈波纹管左移一点，即增大 lf，则特性线斜率减少(如 B 线所示)。改变调节器定值弹簧 8 张力，则特性线平行移动，如果放松定值弹簧 8，则调节器的静特性移到较低温度的区域。如图 9.3.1—12 特性线 c 所示。

应当指出，该调节器的输出变化压力是有限的，上限为 0.2MPa，下限为 0.04MPa。当被调温度降低而使输出提高时，输出达到 0.2MPa 后，即使温度再降低，输出也不会再增加。反之，当输出降到 0.04MPa 后，被调温度再增加也不能使输出再降低。这种现象称为饱和，该调节器最大比例度 $\delta_{max}=20\%$。

3.1.2 调整

按图 9.3.1—13 调试 TQWQ 型气动温度调节器时，首先把调节器的温包 3 全部浸入恒温槽 2，槽温用玻璃标准温度计 1 测量。接上气源，调节器 4 的输出用标准压力表 5 测量。在三通阀轴的伸出端装一指针和标尺 6，供读出阀门开度。逐次改变槽温，记下调节器输出和阀的开度。看仪表工作是否正确，是否符合技术性能指标。并且调整给定值和比例度。

3.1.2.1 给定值调整

通过改变定值弹簧 8(图 9.3.1—9)的预紧度来改变被调介质的给定温度。当预紧度增加时，旁通开大，通过冷却器的水量减少。这样一来，被调介质温度就升高了。反之，放松定值弹簧 8 的预紧度，则被调介质温度降低，达到调整给定值的目的。

3.1.2.2 比例度调整

松开反馈波纹管上的螺母和固定在底板上的螺钉，便可左右移动反馈波纹管 10，改变反馈力矩的大小，可实现调节器的比例度调整。当波纹管向左移动时，比例度增大；向右移动时，比例度缩小。为了便于移动波纹管，可以先把气源暂时切断，移好后再接通气源，波纹管的工作状态应平整，不得有扭歪或并圈的现象。如果比例度变化很大时，则需更换反馈波纹管的大小。调整结束后，必须把反馈波纹管上的螺母和固定在底板上的螺钉拧紧。

3.1.3 故障处理

当调温系统出现不正常时，通过以下检验可查出问题的原因。表 9.3.1—1 给出常见故障及排除方法。

3.1.3.1 系统温度太低

a)被调介质吸收的热量不足以维持所要求的温度。

b)给定温度选择不当。

c)三通阀选择得尺寸过大，或者系统的冷却器容量选得太大超过需要。

d)三通阀内转阀与冷却通道阀座之间的间隙太大；或者外界物质粘附在转阀和阀座之间，因而漏泄量太大。

e)三通阀通道装错，在低温时迫使水流向冷却器。

f)气缸漏泄过大，或者活塞组件卡死。

g)气动调节器输出达不到 0.2MPa，或无输出。

h)三通阀旁通通道压差太大。

3.1.3.2 系统温度太高

a)系统的冷却器太小。

b)三通阀尺寸选得太小。

c)三通阀通道装错，当温度升高时，旁通未关死，减少流向冷却器的水量。

d)三通阀内转阀与旁通通道阀座之间的间隙太大，或者外界物质粘附在转阀和阀座之间，因而旁通通道漏泄量太大。

e)活塞组件卡死。

f)温包或测量波纹管破裂，或者测量温包安装不正确。

g)气动放大器失灵，钢球与阀座之间有污物。

h)流过冷却器通道的压力降太大，而旁通通道的压力降很小。

3.1.3.3 其它一些可供检验的项目

a)温度计是否损坏。

b)温度计安装是否正确。

c)温度计是否按要求远离两股不同温度流速的汇合点。

表 9.3.1－1　**常见故障及排除方法**

序号	故　　障	故障分析	排除方法
1	被调介质温度低于温度控制范围最低点时，调节器没有输出，或输出压力达不到 0.2MPa	1. 气源压力达不到规定的 0.24MPa	1.a)拧紧过滤减压阀调整螺钉 b)气源管道堵塞，或管道泄漏，要求对症处理 c)清洗过滤减压阀
		2. 气源压力正常	2.a)喷咀，挡板沾染污物，要求揩干净 b)挡板变形，盖不住喷咀，要求用钳子校正 c)放大器恒节流孔堵塞，要求清洗或更换
		3. 输出管道漏气	3. 拧紧管接头或更换垫片
2	被调介质温度高于温度控制范围最高点时，而调节器输出压力达最大值	1. 减压阀输出压力过大	1. 修理减压阀
		2. 喷咀，恒节流孔堵塞 3. 放大器钢球和阀座有污物 4. 气源与输出管路接错 5. 反馈回路漏气 6. 测量温包破裂	2. 吹洗，揩干净 3. 清洗放大器 4. 重接 5. 更换波纹管或管子，拧紧接头 6. 更换，或送厂修理
3	调节器有输出信号，但很迟钝或达不到满值	1. 输出管道泄漏	1. 检查输出，并消除泄漏
		2. 执行机构气缸漏气 3. 挡板没装好 4. 减压阀流量不足	2 检查"O"型密封圈，并予以更换 3. 用钳子校直，重新装好 4. 清洗减压阀
4	调节器变差大	1. 喷咀挡板沾污 2. 放大器反馈和背压回路漏气 3. 测量温包真空度不足 4. 气源流量不足，压力不稳 5. 放大器特性不好 6. 十字弹簧片组的螺钉松动 7. 执行机构气缸泄漏或运动件卡住	1. 揩拭，清洗 2. 堵漏或更换零件 3. 更换温包或回厂修理 4. 清洗减压阀 5. 清洗放大器或更换零件 6. 找出松动螺钉，并拧紧 7. 清洗，更换"O"型密封圈
5	输出压力振荡	1. 输出管道或反馈回路泄漏	1. 堵漏，更换管子或拧紧波纹管接头或更换垫片
		2. 放大器或喷咀，挡板沾污	2. 清洗，揩干
		3. 执行机构气缸泄漏	3. 更换"O"型密封圈
		4. 执行机构运动件卡死	4. 检查运动件，清洗并消除卡死处
6	三通阀漏	1. 壳体，气缸盖或气缸下体砂眼和裂缝	1. 检查并补漏
		2. 气缸下体和活塞杆接触运动处泄漏	2. 更换"Y"型密封圈

3.2 中北(NAKAKITA)型气动温度调节器

3.2.1 作用原理

中北气动温度调节器是一个 PID 调节器。它能根据需要,实现 P 调节,PI 调节,和 PID 调节。图 9.2.3—6 和 9.3.1—14 分别为中北气动温度调节器和装置的原理图。调温装置由调节器,阀门定位器和三通阀组成。

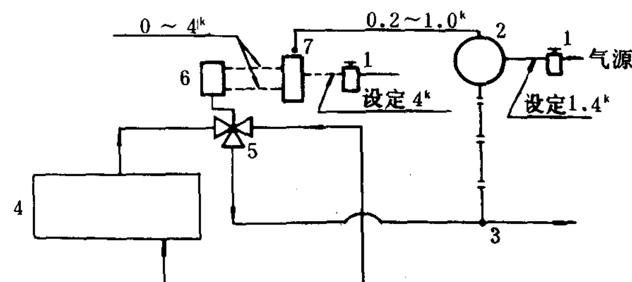


图 9.3.1—14 "中北"气动温度调节装置系统图
1—调压阀;2—调节器;3—温包;4—冷却器;
5—三通阀;6—执行机构;7—定位器

3.2.1.1 比例(P)调节

积分阀全关,微分阀全开,通常把积分阀放在 20 分位置,微分阀放在 0.05 分位置。当测量值比给定值高时,比例杆的上端移到右面,因此,挡板接近喷咀,从而使喷咀的背压增加,放大器的导阀打开,使流到输出端的空气压力增加,同时出现比例波纹管内压力增加,比例杆向上抬起,挡板离开喷咀,使测量值与给定值逐步接近,调节器输出 0.02～0.1MPa 的压力信号,并引到阀门定位器膜片 15 的下方(见图 9.3.1—15)。当信号压力变化时,膜片 15 带动挡板 10 上下移动。阀门定位器工作气源 0.4MPa,经膜片 13 的上方,和恒节流孔 14 引入膜片 17 的下方,该路空气又经喷咀 9 和挡板 10,受调节器来的信号压力控制排至大气。因此,膜片 17 下腔室的压力是随信号压力变化而改变。当调节器来的信号增大时,膜片 15 上升,挡板 10 盖住喷咀 9。这样一来。排至大气层空气减少,膜片 17 下腔室压力增大。由于膜片 17 的面积大于膜片 13 的面积,因此,导阀 6 向上移动,经通道 1 与气缸右端相通(见图 9.3.1—16),与气缸左端相通的通道 2 排大气。在活塞左移的同时,拉伸反馈弹簧,使挡板 10 脱离喷咀 9。这样一来。膜片 17 下腔压力也就降低,导阀重新恢复平衡位置。活塞达到新的位置。这样的过程在调节中反复进行,直到测量值和给定值一致,系统才重新处于平衡状态。测量(黑)指针和给定(红)指针重叠,偏差为零。

图 9.3.1—15 为"中北"阀门定位器。

图 9.3.1—16 为"中北"气动执行机构。

图 9.3.1—17 为"中北"气动三通阀。

3.2.1.2 比例积分(P·I)调节

(微分阀放在 0.05min 位置)

假定调整前,测量值与给定值一致,也就是偏差为零。这样,比例波纹管和积分波纹管具有与控制压力相同的压力。当测量值增加时,比例作用立刻发生,并使输出增加。该信号直接引至比例波纹管,而积分波纹管里的信号,须经积分阀,在比例波纹管里压力增加时,比例杆向上抬起,使挡板离开喷咀,减少输出压力,而积分波纹管里压力增加时,又使比例杆向下运动,挡板靠近喷咀(见图 9.2.3—6),背压增加,放大器输出增加。调节器的输出信号引至阀门定位器,使调节阀的冷却通道开大,旁通关小。积分作用在调节过程中始终进行,直至测量值重新恢复到给定值为止,也就是偏差为零,系统达到新的平衡(比例波纹管和积分波纹管里的压力重新达到平衡)调节器重新处于平衡状态。

图 9.3.1－15 "中北"阀门定位器

1—盖；2—滑阀体；3—本体；4—盖盘；5—盖盘；6—滑阀；7—滑阀衬套；8—中心盘；9—喷咀；10—挡板；11—中心盘；12—弹簧；13—膜片；14—恒节流孔；15—膜片；16—膜片；17—膜片；18—"O"型圈；19—"Y"形密封圈；20—零位调整螺钉；21—压力表；22—压力表

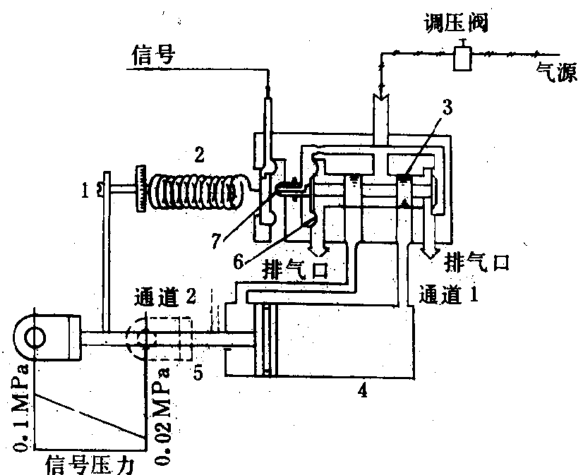


图 9.3.1－16 "中北"气动执行机构

1—给定螺钉；2—反馈弹簧；3—滑阀；4—气缸；5—活塞杆；6—挡板；7—喷嘴

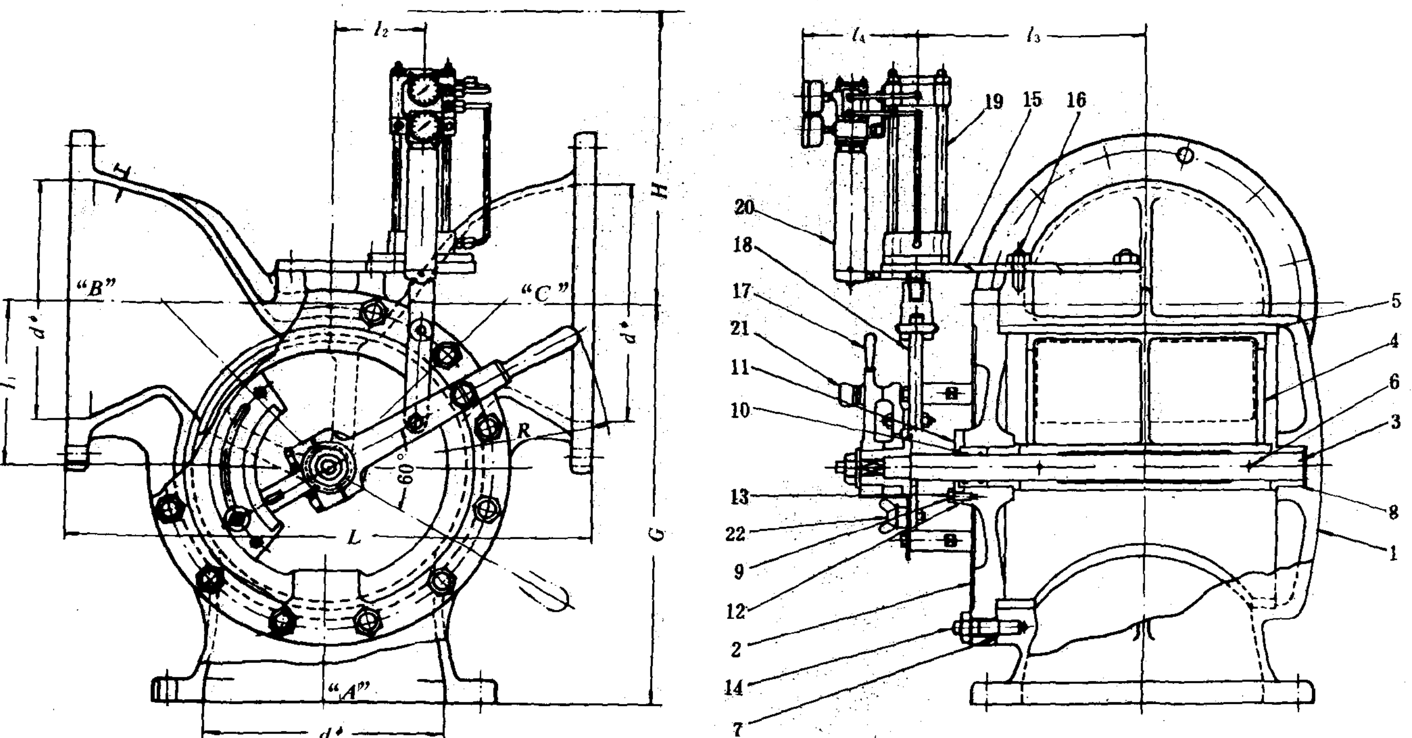


图 9.3.1－17 “中北”气动三通阀

1－本体；2－盖；3－轴；4－阀；5－衬套；6－销；7－垫片；8－轴衬；9－填料盖；10－“O”形圈；11－“O”形圈；12－盖；13－螺钉；14－螺栓和螺母；15－板；16－螺栓和螺母；17－手柄；18－杆；19－动力缸；20－定位器；21－螺钉；22－蝶形螺母

3.2.1.3 比例、积分、微分(P、I、D)调节

调节器放大器输出的控制压力分成二路,一路直接引到微分室波纹管内腔,另一路经微分阀分别引到比例波纹管和微分室波纹管外腔。

在讲述比例调节和比例积分调节工作原理时,我们已经知道比例波纹管里的压力是与测量值偏差成比例的,测量值变化时,输出压力跟着同步变化。所以,通过微分阀后产生的压力降,其值与测量值的波动速度成比例。放大器的输出,也就是控制压力将比比例波纹管的压力大或小。其差压的大小取决于微分阀的开度。因此,微分调节能使调节阀超前地被打开或关闭。

微分室的作用,就在于利用微分室内的波纹管的弹性变化,使微分室的容积发生变化,促使系统趋于稳定。

3.2.2 运行前的准备

在设备安装好和系统调整之前应进行检查。

3.2.2.1 手动转换成自动的步骤

a)全部关闭调节阀前后的截止阀和旁通阀。

b)调节器接通气源。

c)慢慢地打开旁通阀,注意观察调节器指针的动作,使测量指针接近给定点。

d)把调节阀后的截止阀打开。

e)观察调节阀的动作,慢慢地打开调节阀前的截止阀,同时关闭旁通阀。阀打开过快,过程平衡将被破坏,系统也就不能稳定。

3.2.2.2 NS732"自动一手动"转换开关

"自动一手动"转换开关是装在"中北"NS732指示温度调节器的下面。当启动或检查调节器时,用手动控制。NS732"自动一手动"转换开关能实现系统的人工遥控。如图9.3.1—18所示。

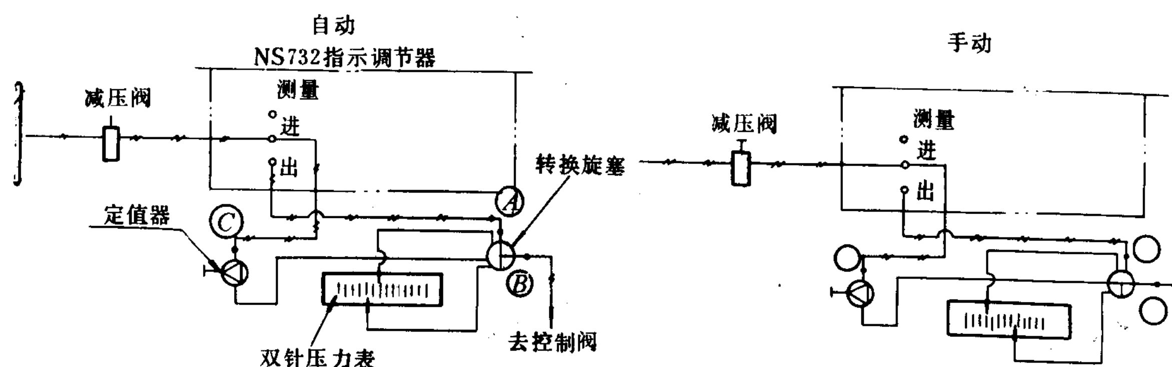


图9.3.1—18 NS732"自动一手动"转换系统

a)自动一手动开关的转换

自动:

从调节器来的输出信号,通过转换旋塞,自动地调节三通调节阀。

手动:

由减压阀来的控制气源,经转换开关对三通调节阀进行遥控。在实际操作时,一面调节定值器,一面观察调节器的测量指针。

b)自动调节和手动调节的转换

从手动转到自动调节。

通过手动操作使调节器的测量指针与给定指针重合。这时，双针压力表的二根（气源/输出）指针中的自动指针开始工作，待自动指针与手动指针相匹配瞬间，把转换开关转换到“自动”位置。

从自动调节转到手动。

通过手操定值器，使双针（气源/输出）压力表的手动指针和自动指针相匹配。然后把转换开关转到“手动”位置。

3.2.3 调整

3.2.3.1 给定值调整

旋转给定值转盘，将给定指针（红色）调到所要求的刻度上。

3.2.3.2 比例带调整

旋转比例带转盘，将比例带调整在合适的值上。由调节理论知，比例带小，调节灵敏度增加，但太小则易引起系统振荡。比例带大，调节灵敏度减小。偏差增大，引起超调。

3.2.3.3 积分时间调整

旋转积分转盘，将积分时间调整在合适的值上。当积分时间小时，达到平衡状态所需时间较短。但当积分时间太小时，易引起不稳定和振荡。而积分时间太长时，则被调量达到给定值的平衡时间过长。

3.2.3.4 微分时间调整

旋转微分转盘，将微分时间调整在合适的值上，微分作用通常用于有时间延迟的调节过程，为了补偿系统的时间延迟，使调节作用有一个超前量，当微分时间太长时，易引起振荡。当时间太短时，得不到预期的效果。

3.2.3.5 正一反作用的转换

薄膜调节阀的运行方向，取决于调节过程的性质和调节阀是正作用还是反作用。上面所述系统是反作用，如果要转换到正作用，须将比例值转盘向右转 3/4 圈。

3.2.4 维护

调节器装好后，应定期检查。表 9.3.1－2 给出常见故障及排除方法。

3.2.4.1 松开过滤减压阀底部的疏水闷头，排除沉积残水。

3.2.4.2 当过滤减压阀后的气源不稳定，修理或更换减压阀后，必须严格保持气源压力在 0.14MPa。

3.2.4.3 根据调节器的工作情况，检查喷咀或放大器的节流小孔。

1）当节流小孔堵塞的情况下。

按清洗按钮，对节流小孔进行清洗。当节流小孔需要从放大器里拆出时，应按下述步骤进行：

a）停止调节器气源。

b）用扳手小心地拆下放大器左端的整个小孔部分。

c）如有油粘在小孔表面，用细棒清洁，并用空气吹，然后组装。

2）当喷咀堵塞时，按下述步骤拆洗。

a）停止调节器气源。

b）用工具小心地拆下比例转盘上的喷咀，清洁闷头。

c）用小于 0.5mm 的导线通喷咀孔。

d)清洁沉积在挡板表面的灰尘。

表 9.3.1—2　　常见故障及排除方法

序号	故　障	故障分析	排除方法
1	输入变化，调节器输出不变	输出压力不增加	
		1. 气源压力不正常	1. 调到正常值
		2. 放大器节流小孔阻塞	2. 按清洗按钮
		3. 输出端管路泄漏	3. 调整到正常状态
		4. 调节器联接系统没有接好	4 同上
		5. 调节器里管子泄漏	5. 更换管子
		6. 测量元件损坏	6. 更换元件
		输出压力不减少	
		1. 喷咀堵塞	1. 用小于0.5mm的导线清洁
		2. 从放大器到喷咀的管子堵塞	2. 修复到正常状态
		3. 放大器的小孔松动	3. 重新拧紧
		4. 调节器联结部分没有接好	4. 修复到正常状态
		5. 调节器里管子泄漏	5. 更换管子
2	调节器输出变化，而阀门开度不变	阀杆卡住	拆开检查
		1. 定位器导阀卡住	1. 用细砂皮或细锉刀修复
		2. 膜杆和定位器没有联接	2. 修复到正常状态
3	当给定转盘向增加方向转动时，压力没有增加，或增加不正常	压力不增加	
		1. 膜片损坏	1. 调换元件
		2. 给定弹簧损坏	2. 调换元件
		3. 导阀卡住	3. 用细砂皮或细锉刀修复
		4. 附属的空气管泄漏	4. 修复到正常状态
		压力不下降	
		1 导阀卡住	1. 用细砂皮或细锉刀修复
		2. 端盖排气孔堵塞	2. 清洁

3.3 TOMOE型电动温度调节器

3.3.1 作用原理

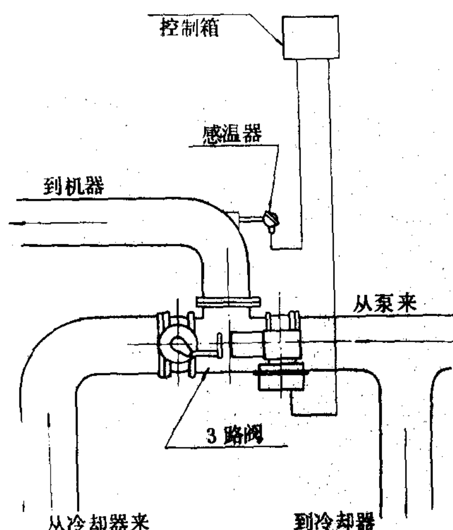


图 9.3.1—19 TOMOE 型调温装置原理图

TOMOE型调温装置由比例温度指示调节器和电动蝶阀组成，如图9.3.1—19所示。二个蝶阀组合在一起，由一台驱动电动机带动，如同通常的三通阀。调节器根据检测的温度偏差，使电动机转动。两个蝶阀一个装在冷却器的出水管路中，一个装在旁通管道上，通过连杆机构连接。当一个阀开大时，另一个阀关小，保持规定的温度。

温度指示调节器由输入电路，指示电路，控制电路和反馈电路等组成。图9.3.1—20为温度指示调节器框图。

3.3.1.1 输入电路

图9.3.1—21为输入电路简化原理图。

输入电路由测温电阻 R_t，电位器 W_3、W_1 和电阻 r_3、r_2、r_1、R_{23} 等组成电桥。电桥的电源为 E_N。电桥分别输出到指示电路的d和f端；控制电路的d和e端。输入电桥的作用是将对象的温度变化转变为相应的电压信号。

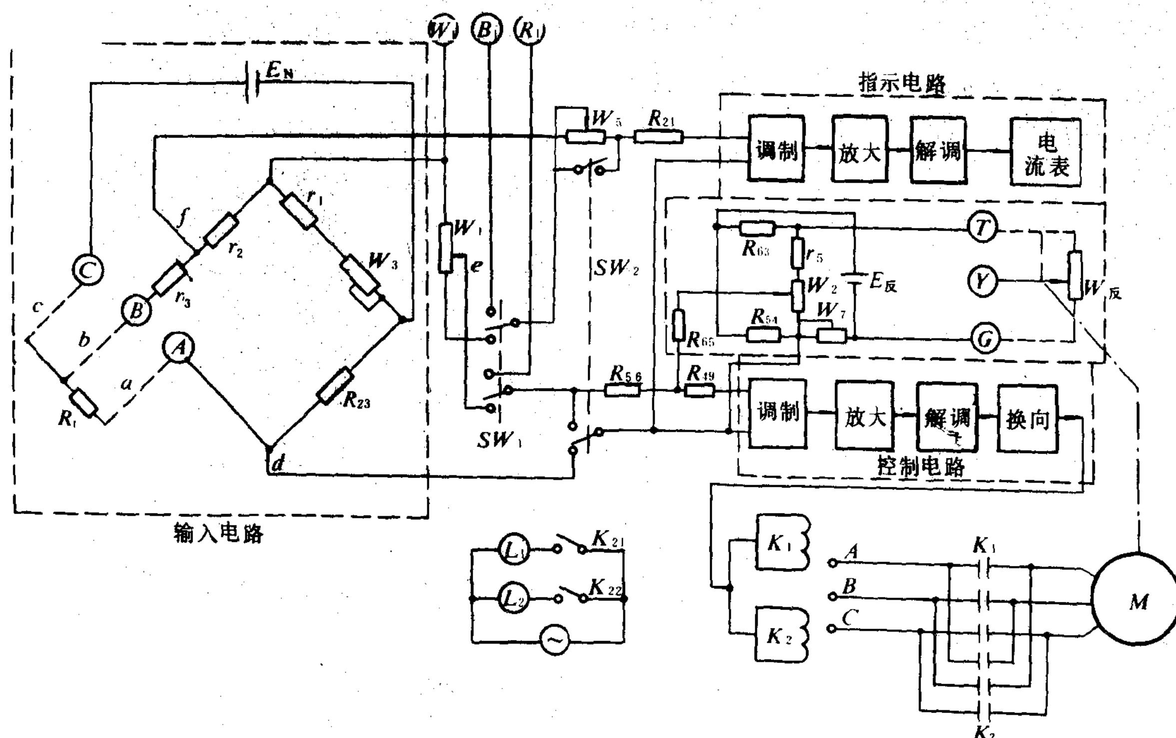


图 9.3.1—20 温度指示调节器方框图

W_1—给定电位器；W_2—比例带电位器；W_3—零点调整电位器；$W_{反}$—位置反馈电位器；W_5—指示量程调整电位器；W_7—手动重定电位器；K_1、K_2—正转、反转继电器；L_1、L_2—指示灯，开阀时 L_1 亮(绿色灯)；关阀时 L_2 亮(红色灯)；R_t—测温电阻；M—三相伺服电机；SW_1—定值控制/程序控制转换开关；SW_2—给定温度指示按钮

当控制对象的温度发生变化时，测温电阻 R_t 的值按比例为变化，使输出电压 u_1、u_2 随温度成比例地变化。用电位器 W_3 调整仪表的零点。控制电路的输入信号是 u_1，它的大小取决于伺服电机输出轴转角的大小，即阀门的位置。因此，只要改变电位器 W_1 的滑点 e，u_1 的值也就跟着改变，阀门位置随着变。因此，通过调节 W_1 可改变阀门初始位置。W_5 串接在指示电路的输入端，调节 W_5 可改变指示电路的量程。

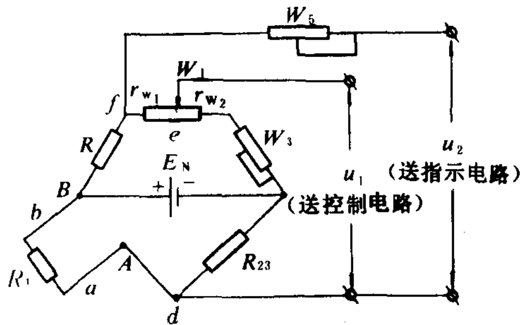


图 9.3.1—21 输入电桥原理图

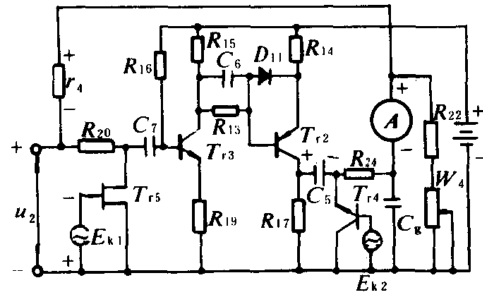


图 9.3.1—22 指示电路原理图

3.3.1.2 指示电路

指示电路输入电桥来的直流信号，通过调制，放大，解调，用 0—100μA 电表准确地指示实际温度值。图 9.3.1—22 为指示电路原理图。

u_2 加在场效应管 T_{r5}的源漏极之间。来自交流电源的交流电压经半波整流，得到开关信号 E_{k1}，加在 T_{r5}的栅源极之间。每 T_{r5}栅极有开关信号时，T_{r5}导通。这时，u_2 短路，另一方面 C_7 通过 T_{r5}放电。当栅极没有开关信号时，T_{r5}截止，u_2 对 C_7 放电。由于 C_7 能随开关信号进行充放电，所以，将 u_2 调制成交流信号。该信号经 T_{r3}和 T_{r2}放大后，由 T_{r2}集电极输出到 T_{r4}进行解调，把交流信号变为直流信号。

T_{r4}的基极电压 E_{k2}，也是经电源半波整流后取得。因此，E_{k2}和 E_{k1}同步。被解调的交流信号，通过耦合电容 C_5 加在 T_{r4}的集电极和发射极之间。当 E_{k1}为正半波时。T_{r5}栅极为负，T_{r5}截止。u_2 被截成的正半波信号加在 T_{r3}的基极上，T_{r3}集电极输出为负半波，T_{r2}集电极输出为正半波。通过电容 C_5 耦合到 T_{r4}的集电极和发射极之间。与此同时，E_{k2}也为正半波，T_{r4}的基极为正电值，T_{r4}导通，电容 C_5 充电。当 E_{k1}为负半波时，T_{r5}导通。同理，T_{r2}集电极输出为负半波，这时，E_{k2}也为负半波，T_{r4}基极电位为负，使 T_{r4}截止。电容 C_5 放电，放电电流由 C_5 正端经 R_{17}，W_4，R_{24}回到电容 C_5 的负端。为了使表头 A 指示稳定，指示电路中加了 R_{24}，C_9 组成的滤波电路。

3.3.1.3 控制电路

图 7.3.1—23 为控制电路原理图。u_1 是输入信号，u_f 是阀位反馈信号。这二个信号在控制电路的输入端进行比较后，作为控制电路的输入信号。该信号 u_{sr}加在调制器的场效应管 T_{r11}的源极和漏极之间，被调制成交流信号，输入到 T_{r10}的基极上，经 T_{r10}，T_{r9}，T_{r12}三级交流放大后，由 T_{r12}集电极输出，又经 R_{28}，C_{11}，C_{12}分别耦合到 T_{r6}和 T_{r7}的发射极与集电极之间。

T_{r11}栅极上的开关信号 E_{k1}与指示电路调制器的开关信号是同一信号。

晶体管 T_{r6}和 T_{r7}组成双晶体管解调器。解调开关信号 E_{k3}由变压器 B 和二极管 D_{15}，D_{17}全波整流后获得。E_{k3}加在两个晶体管基极上的电压是反相的，并交替使两个管子饱和导通和截止。

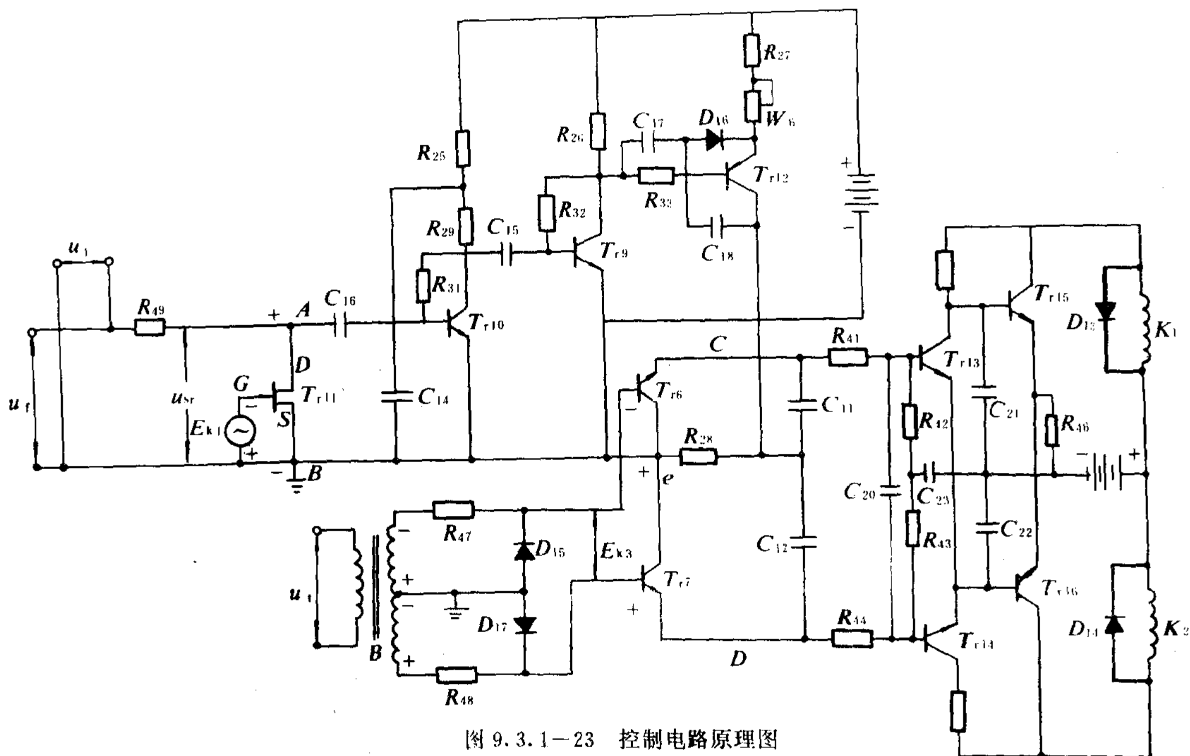


图 9.3.1－23　控制电路原理图

假设实际温度超过给定值 $u_{sr}>0$，当调制开关信号 E_{k1} 为正半周时，T_{r11} 栅极电位为负。A 点为正，加在 T_{r10} 基极上为正半波电压，其集电极输出反相为负半波。通过 C_{15} 耦合到 T_{r9} 基极上，其集电极输出为正半波。这样使 T_{r12} 集电极输出为负半波，加在 T_6，T_7 的发射极和集电极之间，这时 e 点为正电位。与此同时，解调开关信号也为正半周，T_{r6} 基极为负，T_{r7} 基极为正，使 T_{r7} 导通，T_{r6} 截止。这样又使 T_{r14}，T_{r15} 导通，T_{r13}，T_{r16} 截止，正向继电器线圈 K_1 有电，电机正转。

同理，当调制开关信号为负半周时，T_{r11} 导通，A 点电位由正变负。这时，输入信号 u_{sr} 仍大于零。由于 T_{r11} 导通所形成的负信号加在交流放大器的输入端，使 T_{r12} 集电极输出信号同上述相反，为一个正半波，e 点为负。与此同时，E_{k3} 也为负半波，T_{r6} 基极为正，T_{r7} 基极为负，使 T_{r6} 导通，C 点变为负电位。T_{r7} 截止，D 点为正电位。这样，T_{r14}，T_{r15} 导通，T_{r13}，T_{r16} 截止，继电器线圈 K_1 仍有电，电机仍正转。

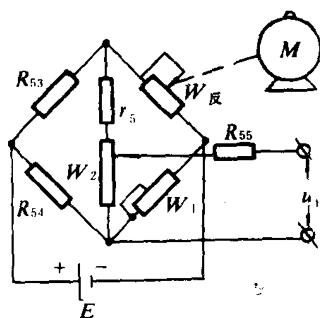


图 9.3.1－24　位置反馈电桥

W_1－手动重定；W_2－比例带调节电位器；M－伺服电机；$W_反$－位置反馈电位器

当 u_{sr} 变极性时，A 点为负，B 点为正。同理可知，解调后的信号 C 端为正，D 端为负，继电器线圈 K_2 有电，电机反转。

通过以上分析，当被调温度超过给定值时，$u_{sr}>0$，k_1 动作，电机正转，关小旁通阀，开大冷却器的出口阀，使被调温度回到给定值。当被调温度低于给定值时，$u_{sr}<0$，K_2 动作，电机反转，关小冷却器出口阀，开大旁通阀，使被调温度回到给定值。

3.3.1.4　位置反馈电路

图 9.3.1－24 为位置反馈电路原理图。

调节阀开度越大，u_f 越大。由于位置反馈是负反馈，因此改变定位器 W_2 可以调整调节器的比例带。其范围为 0～25％。W_7

为手动重定定位器，它可使阀门从全开到全关，或相反。当调节器静差太大时，调节 W_f 可减少或消除静差。

图 9.3.1－25 为温度指示调节器外部接线图，表 9.3.1－3 为运行状态表。

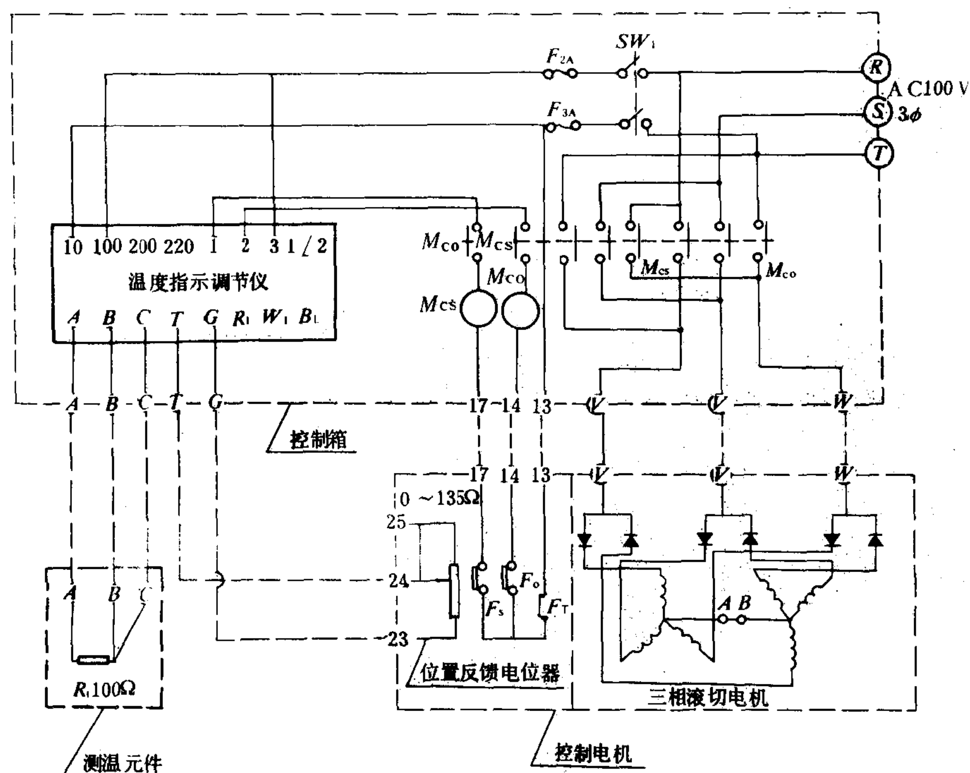


图 9.3.1－25　温度指示调节器接线图

F－保险丝；Fs、F0－限位开关；SW1－电源开关；Mcs、Mco－正、反转交流三相接触器

表 9　　－3　　**温度指示调节器运行状态表**

电桥状态	控制继电器状态	指示灯状态	伺服电机状态
被调温度下降时，电桥平衡破坏	K_1 灭电，K_2 有电	绿色灯亮，红色灯灭	阀门朝提高温度方向转
被调温度等于给定温度时	K_1、K_2 都无电	两灯都灭	阀门停在相应的位置
被调温度升高时，电桥又不平衡	K_1 有电，K_2 无电	绿灯灭，红灯亮	阀门朝降低温度方向转

3.3.2　运行前的检查与试验

1）运行前用电动机上的手柄转动几圈，确认转动无困难。

2）确认接线正确。

3）确认测温电阻的极性无误。

4）合上电源，启用温度指示调节器。这时，调节器应指出测温端温度。

5）通过下述试验确定电动机转动方向。

a）按下“设定”按钮，并顺时针捻动，红灯亮，冷却器侧的阀开大，旁通阀关小。

b）按下“设定”按钮，并逆时针捻动，绿灯亮，冷却器侧的阀关小，旁通阀开大。

c)在上述二种情况下，当阀门全开或全关时，限位开关应能使电动机停止。

6)将温度调节器上的调整旋钮，调整到相应于阀门开度50%的温度刻度。

7)使比例带刻度在“2”。

8)呆滞区的调整，在设定温度附近，如电动机振荡，则加大呆滞区，直到振荡消除为止。

9)只有在发生超调，刻度已调到最小，才需要调再调旋钮。

10)红灯或绿灯亮，说明阀在动作，几秒钟内灯熄，电动机停止。重复这样动作，直到阀全开或全关，说明工作正常。

表9.3.1－4给出常见故障及排除方法

表9.3.1－4 **常见故障及排除方法**

序号	故　　障	排　除　方　法
1	冷却阀和旁通阀转向相反	换接电动机接线u和V
2	阀全开和全关位置时，电动机不停	换接接线端14和17
3	在阀全开或全关时，转向正确，但发生振荡	换接接线端G和T
4	红灯亮，温度指针不在刻度上	1. 测温电阻的电线是否断开 2. 将测温电阻之间接头分开 3. A－C之间的电阻应为100Ω 4. A－B之间的电阻应为零 5. 如果A和B或B和C之间没有连接，B和C之间的电阻为零，则换测温电阻
5	绿灯亮，温度指针不在刻度上	1. 测温电阻输入端接头A，B和C接错了 2. 接头没有接错，换测温电阻
6	阀已全开或全并，温度指针靠近设定值	1. 电动机的电位器反馈线路可能处于断路状态 2. 拆下电动机的接线23、24和25 3. 手动操作使阀开大或关小。如果接线端23和24之间的电阻是3～5Ω或125～132Ω，电位计是正常的。如果可变电阻0～135Ω之间的电阻是无穷大，则说明电位器中的线路已断，需要更换

4　调节系统的参数整定

实践证明，柴油机冷却循环温度控制系统投入运行时，只有通过整定调节器的参数，才能获得满意的调节效果。确定调节器的整定参数可以运用理论计算，最后得出P_D、T_i、T_d，但是采用这种方法得出的整定参数误差较大，目前多用工程整定法，。如经验法，衰减曲线法，和临界比例带法等。

4.1　经　验　法

是将调节器整定参数调到其数值后，现场观察调节过程曲线的形状，若曲线不够理想，可按一定程序反复凑试，直到合乎要求为止。对温度控制系统，开始的整定参数选为$P_B(\%)=20$

~60，T_i=3.0~10min，T_d=0.5~3min。然而，经验法对于PID三作用调节器参数整定，可能花费较长时间，还找不到最佳的整定参数。

4.2 临界比例带法

首先切除积分，微分作用，将比例带放在较大的位置，加上阶跃扰动，记录过渡过程。再逐次把比例带减少，直到过渡过程出现等幅振荡过程。此时比例带称为临界比例带 δ_K，振荡周期为 T_k，然后按表9.3.1－5公式求出PID的参数。

表9.3.1－5

整定参数 / 调节规律	比例带 P_B(%)	积分时间 T_i	微分时间 T_d
P	$2\delta_k$		
PI	$2.2\delta_k$	$0.85T_k$	
PID	$1.7\delta_k$	$2.5T_k$	$\frac{1}{8}T_k$

4.3 衰减曲线法

衰减曲线法是以4：1的衰减比作为整定要求。首先切除积分，微分作用，把比例度放在较大，系统稳定后，在现场允许的范围内，适当地改变给定值，观察调节过程曲线的衰减比，若衰减比高于4：1，减少比例带。反之，加大比例带，一直调到规定的衰减比为止，记下此时的比例带 P_{BS} 和周期 T_S，按表9.3.1－6示出的公式，求出PID的参数。

表9.3.1－6

整定参数 / 调节规律	比例带 P_B(%)	积分时间 T_i	微分时间 T_d
P	P_{BS}		
PI	$1.2P_{Bs}$	$0.5T_s$	
PID	$0.8P_{Bs}$	$0.3T_s$	$0.1T_s$

按以上三种方法，找到最佳整定参数后，都应重新记录在此整定参数时的过渡过程。然后，稍为减小和放大一点，看过渡过程能否更好一些，以便使参数整定得更正确。在观察每一过渡过程时，不应有其它扰动，否则调试值不正确。

5 改善冷却循环温度调节系统品质的措施

1)气源净化是气动调节仪表正常使用的必要条件。经验表明，单用过滤减压阀不能完全除去压缩空气中的水，油和灰尘。必须设置气源净化装置。

2)合理选择冷却器和调节阀。冷却器和调节阀选得太大，易引起系统振荡。

3)采用合适的调节系统，对于柴油机冷却系统的温度调节采用比例或比例积分调节是适宜的。

4)合理地确定调节器的整定参数，才能获得满意的调节效果。

5)调节器的温包必须放在合适的位置，避免流动介质的冲击和混合不均匀所造成的测温不正确和系统振荡。

6)运行前的检查和定期维修保养。

第2章　燃油粘度自动控制系统

1 概　述

1.1 燃油粘度的控制

粘度表示燃油自身流动中的内阻力，其大小直接影响燃料的喷散程度和燃料与空气形成混合气的均匀性，也影响滞燃期的长短。

燃油的粘度越小，则雾化的颗粒越小，总表面积越大，因而有利于燃烧前的雾化。但是，粘度过小，会引起喷油泵柱塞、喷油器针阀偶件的润滑不良而加剧磨损。

粘度过大能导致雾化不良，燃油和空气混合不均匀，燃烧不完全，冒黑烟，使燃料消耗增加。另外，还会使燃油的流动性变差，易出现供油中断，使柴油机不能正常工作。

因此，必须将燃油在喷射系统中的粘度限制在一定范围之内。表 9.3.2—1 示出某些柴油机的燃油喷射最佳粘度。

表 9.3.2—1　**柴油机的燃油喷射最佳粘度**

柴油机型号	最佳雾化粘度	
	雷氏粘度(sRWN0.1)	恩氏粘度(°E)
MAN	80以下	2.85以下
SULZER	61～75	1.83～2.35
B&W	52～68	1.56～2.04
三菱重工(UEC)	60～80	1.65～2.85
76/160	60～80	1.65～2.85

1.2 各种燃料油的粘温曲线

图 9.3.2—1 为各种燃料油的粘度—温度曲线图。从图中可以找出各种燃料油达到最佳喷射粘度时所需设定的加热温度。

2 燃油粘度控制系统

2.1 燃油粘度控制系统图

图 9.3.2—2 为燃油粘度控制系统图。系统由粘度发讯器、差压变送器、调节器、调节阀及辅助设备等组成。通过粘度发讯器，把测得的燃油粘度按比例转换成差压信号，然后进入差压变送器，转换成标准信号进入到粘度调节器，一方面作为粘度指示，另一方面与调节器上的设定值进行比较后，输出控制信号到调节阀来改变燃油的加热温度，达到控制燃油粘度的目的。

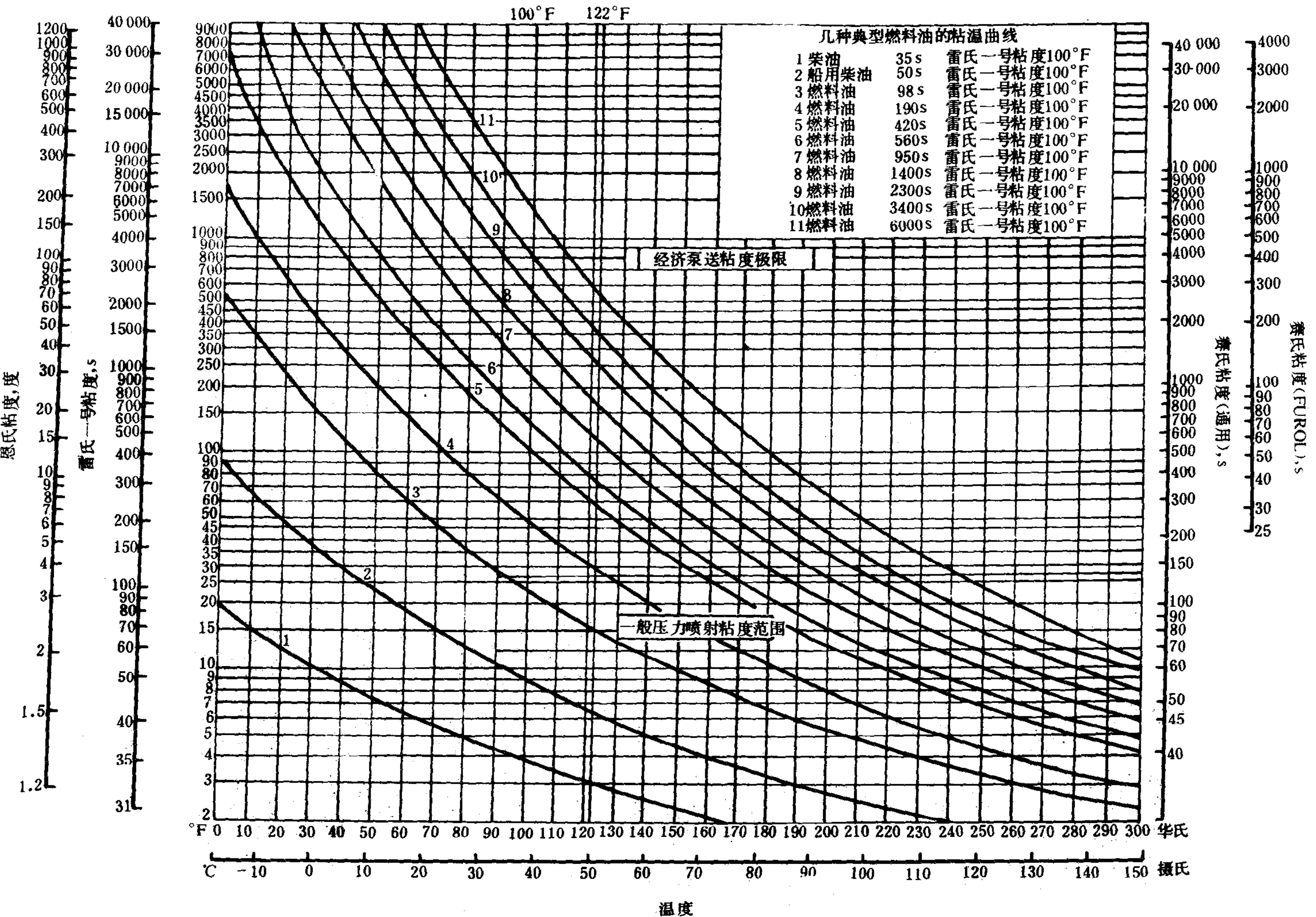


图 9.3.2-1 几种典型燃料油的粘一温曲线

2.2 燃油粘度控制系统的组成及原理

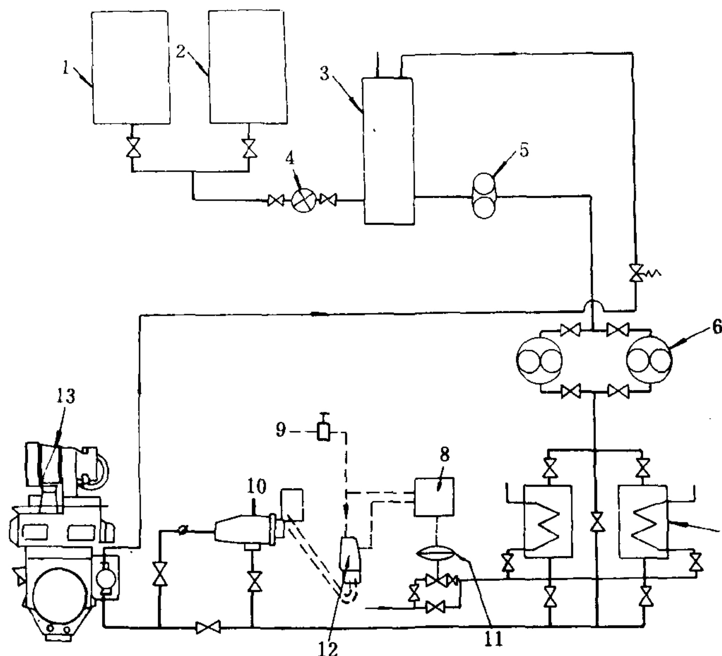


图 9.3.2-2 燃油粘度控制系统图

1-燃料油柜;2-柴油柜;3-混合油柜;4-燃油流量计;5-燃油过滤器;6-增压泵;7-加热器;8-调节器;9-空气过滤减压阀;10-测粘计;11-薄膜调节阀;12-差压变送器;13-柴油机

2.2.1 粘度发讯器

其工作原理,详见第 9 卷第 2 篇第 2 章的 2.7 叙述,在此从略。

2.2.2 差压变送器

差压变送器是根据力矩平衡原理进行工作,它的特点是没有大的机械位移和可动摩擦部分,因此具有较高的灵敏度。

当比较部分(膜盒和波纹管)承受由粘度发讯器来的差压时,破坏了杠杆的平衡,使杠杆以十字簧片作为支点转动,引起喷嘴挡板之间的间隙发生变化,结果使放大器按比例输出信号。放大器的输出,一路送至调节或显示单元,另一路进入反馈波纹管,改变反馈作用力的大小,直到作用在杠杆上的反馈作用力矩与输入信号及调零弹簧拉力对杠杆所产生的力矩相平衡为止,这时杠杆处于平衡状态,变送器的输出就稳定在某一值上。其结构原理,详见第 9 卷第 2 篇第 3 章 2.1.2 变送单元的叙述。

2.2.3 调节器

粘度调节器可以采用比例积分调节,也可采用比例积分加微分调节。它既可按力矩平衡原理进行工作,又可按位移平衡原理进行工作。

粘度调节器是整个粘度控制系统的“大脑”,对进主机的燃油最佳雾化粘度实现连续调节,使燃油粘度保持在所要求的给定值上。

图 9.3.2-3 为按力矩平衡构成的气动调节器。

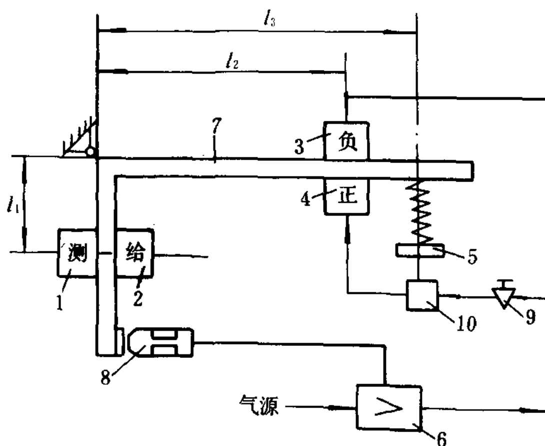


图 9.3.2-3 力矩平衡式调节器工作原理图

1-测量波纹管;2-给定波纹管;3-负反馈波纹管;4-正反馈波纹管;5-调零弹簧;6-压力功率放大器;7-杠杆;8-喷嘴挡板机构;9-积分阀;10-气容(节流盲室)

2.2.4 调节阀

调节阀是燃油粘度控制系统的执行机构,按照粘度调节器输出的信号,使阀门开度发生变化并改变进入燃油加热器的加热蒸汽量,实现燃油粘度的调节。

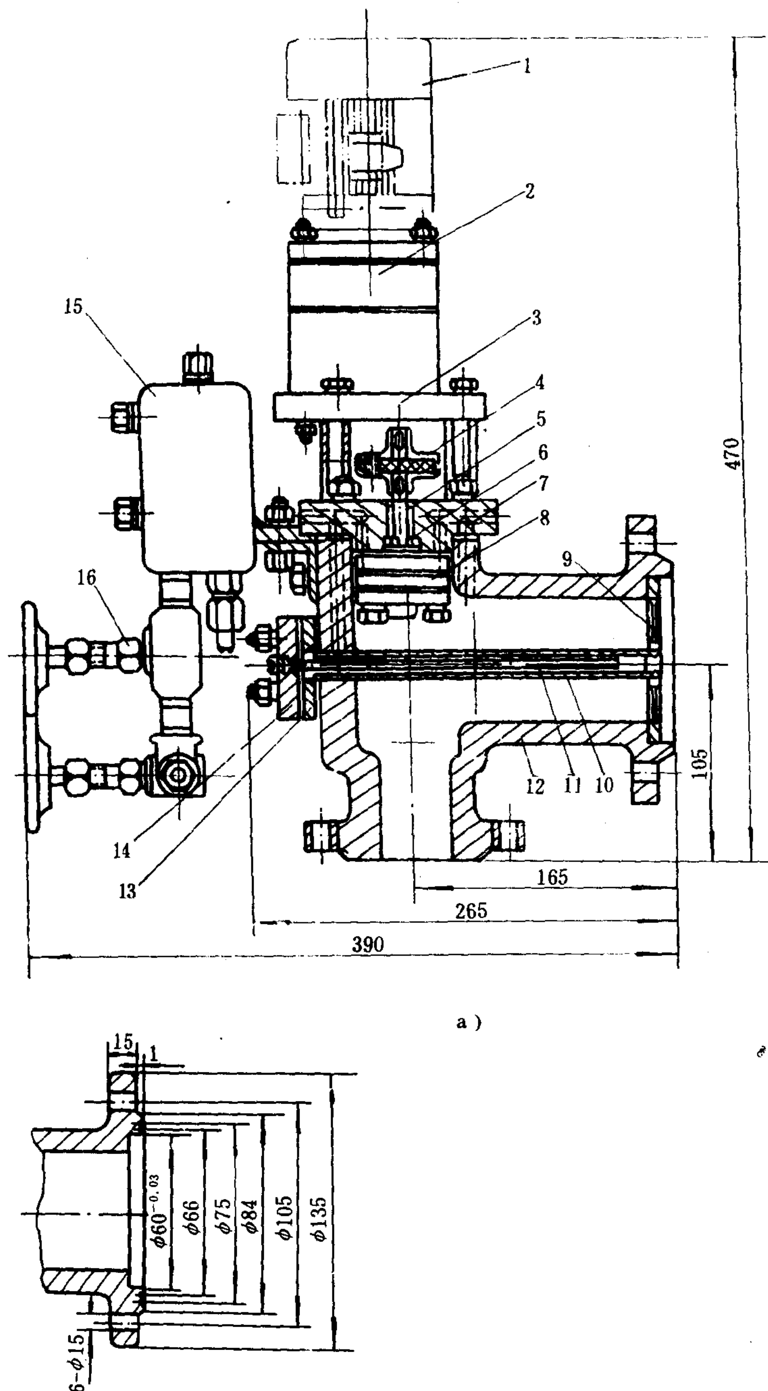
调节阀由气动薄膜执行机构及阀二部分组成。

气动薄膜调节阀按其作用方式可分为气关式和气开式两种。

3 燃油粘度控制系统实例

3.1 概　　述

燃油粘度控制系统有气动和电动二种方式。其中气动控制系统用得较为广泛。

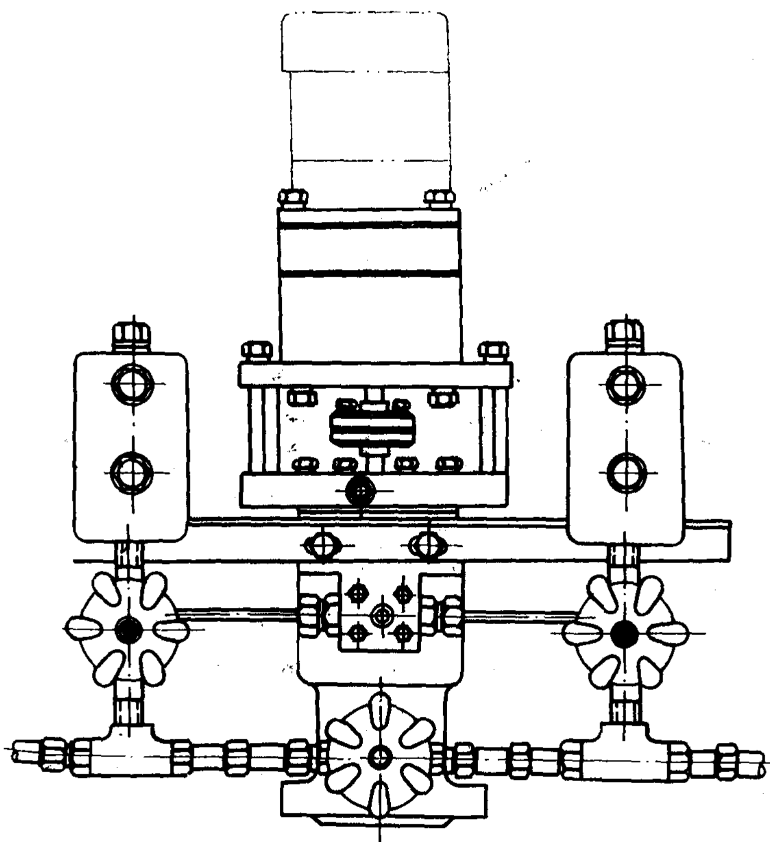


a）

气动控制系统有交通部上海船舶运输科学研究所生产的CNT型燃油粘度调节装置；日本中北株式会社NS777型燃油粘度控制系统和荷兰ITT公司VAF型燃油粘度控制系统等（见图9.3.2－4～9）。

电动控制系统有荷兰ITT公司VAF电动燃油粘度控制系统。

虽然，目前船上使用的燃油粘度控制系统有多种型号，但就控制的基本原理都是一样的。通过毛细管型的粘度发讯器，把测得的燃油粘度按比例地转换成差压信号，经变送器变成标准信号，由调节器控制粘度变化的大小和指示粘度值。



b）

图 9.3.2—4　CNT 型粘度发讯器

1—电动机；2—减速箱；3—隔热板；4—联轴节；5—封油圈；6—轴承；7—端盖；8—余摆线泵；9—支撑架；10—热平衡管；11—毛细管；12—壳体；13—内盖板；14—外盖板；15—隔离罩；16—平衡阀

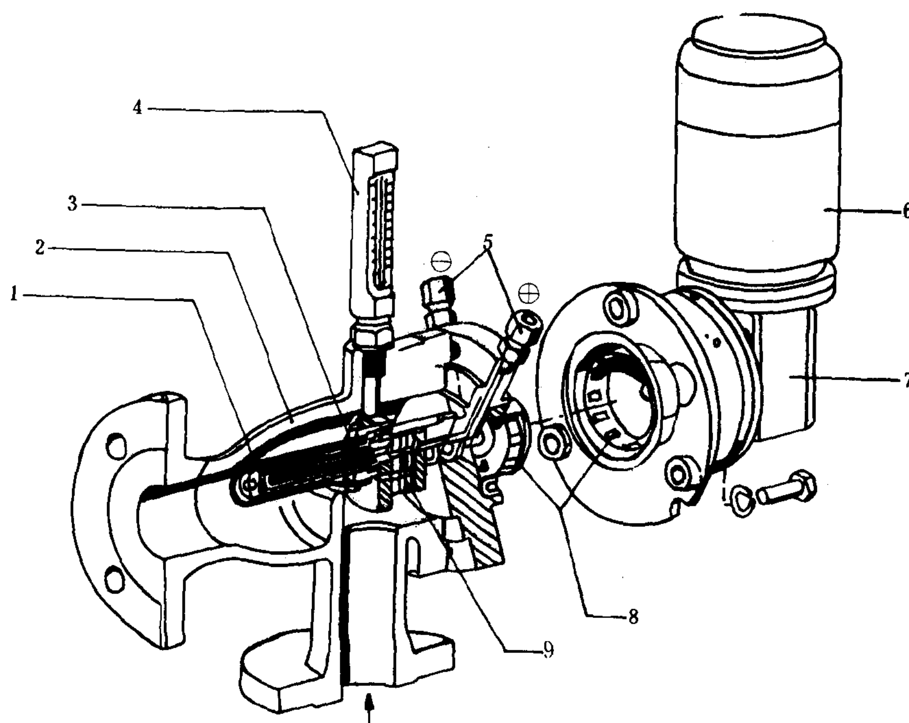


图 9.3.2—5　VAF 型粘度发讯器结构图

1—阻尼毛细管；2—外壳；3—测量毛细管；4—温度计；5—压力管接头；6—电动机；7—减速齿轮箱；8—磁离合器；9—齿轮泵

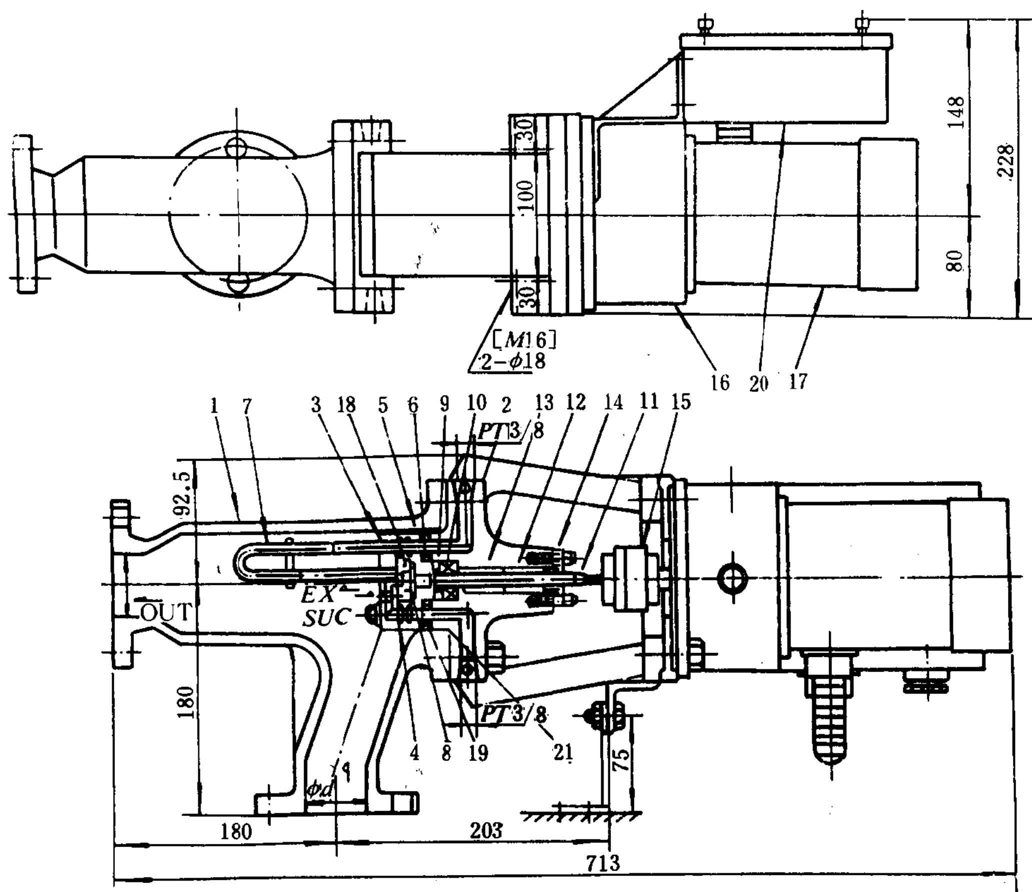


图9.3.2—6　NS型粘度发讯器

1—壳体；2—座架；3—管座；4—泵盖；5—泵座；6—隔离环；7—毛细管；8—泵轮；9—轴承；10—轴承；11—轴；12—V型圈；13—弹簧；14—压盖；15—联轴节；16—齿轮箱；17—同步电动机；18—O形圈；19—O形圈；20—电容器及接线盒；21—O形圈

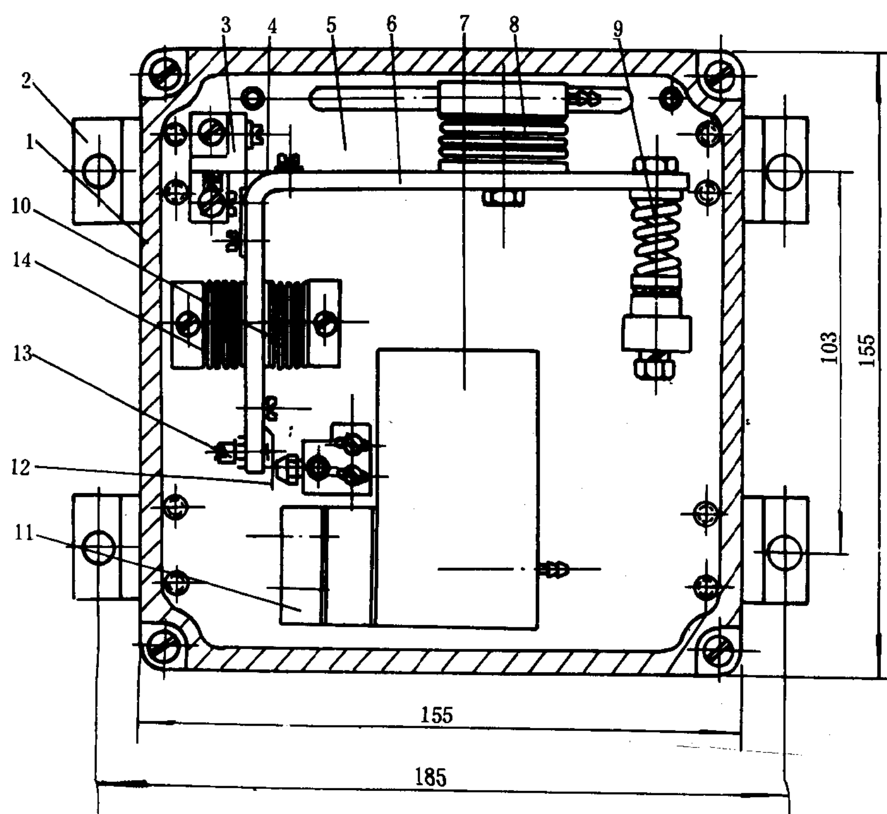


图9.3.2—7　CNT型粘度变送器

1—罩壳；2—固定架；3—杠杆支架；4—十字簧片；5—底板；6—杠杆；7—放大器底座及气容；8—反馈波纹管；9—调零弹簧；10—低压波纹管；11—放大器总成；12—挡板；13—调节螺钉；14—高压波纹管

图 9.3.2-8 CNT 型粘度调节器

1—固定架；2—罩壳；3—杠杆支架；4—十字簧片；5—底板；6—杠杆；7—负反馈波纹管；8—正反馈波纹管；9—气容；10—调零弹簧；11—给定波纹管；12—放大器组件；13—挡板；14—调节螺钉；15—积分阀；16—信号波纹管

图 9.3.2-9 VAF 型调节器原理示意图

1—从差压变送器来的信号空气；2—测量波纹管；3—凸轮；4—测量指针(黑色)；5—反馈波纹管；6—积分阀；7—输出信号；8—压力表；9—气源；10—放大器；11—排气口；12—导阀；13—进口；14—输出膜片；15—喷咀膜片；16—比例带调整钮；17—开关；18—减压阀；19—压力指示器；20—节流孔；21—给定旋钮；22—给定指针(红色)；23—喷咀；24—挡板

3.2 气动控制系统

表 9.3.2—2 为各种型号燃油粘度控制系统的技术性能比较。

表 9.3.2—2 **各种型号燃油粘度控制系统技术性能比较表**

型号		CNT 型	VAF(荷兰)	NS777(日本)
粘度发讯器	型　式	毛细管型	毛细管型	毛细管型
	毛细管内径	1.9mm		1.4mm
	毛细管长度	220mm	200mm	200mm
	毛细管内的流量	0.2l/min	0.25l/min	0.15l/min
	恒流量控制方式	定量泵(余螺线泵)	定量泵(齿轮泵)	定量泵(余螺线泵)
	减速箱与泵连接方式	弹性联合器	磁性联合器	弹性联合器
	布置型式	立　式	卧　式	卧　式
	附带温度计	无	有	有
	粘度测量范围	0—125s 雷氏一号粘度	0—200s 雷氏一号粘度	0—125s 雷氏一号粘度
	结构附图	图 9.3.2—4	图 9.3.2—5	图 9.3.2—6
变送器	平衡方式	力　矩	力　矩	力　矩
	测量元件型式	波纹管式	膜盒式	膜盒式
	工作气源	0.14MPa	0.14MPa	0.14MPa
	输出压力	0.02—0.1MPa	0.02—0.1MPa	0.02—0.1MPa
	变送范围	0—3.5 至 0—9.5mH_2O	0—1 至 0—6mH_2O	0—0.5 至 0—4mHg
	结构附图	图 9.3.2—7	图 9.2.3—2	图 9.2.3—2
调节器	平衡方式	力矩	位移	位移
	工作气源	0.14MPa	0.14MPa	0.14MPa
	输出压力	0.02—0.1MPa	0.02—0.1MPa	0.02—0.1MPa
	调节方式	比例积分	比例积分	比例积分微分
	结构附图	图 9.3.2—8	图 9.3.2—9	图 9.2.3—6
辅助设备	滤波稳压器	有	无	
附加设备			粘度记录器 报警装置	

3.3 电动控制系统

VAF 电动控制系统原理图如图 9.3.2—10 所示。

带有电动差压变送器的粘度发讯装置输出标准电信号（4—20mA）到带有一个或多个微处理机片子的粘度控制单元，与设定值进行比较后，输出一个信号。它取决于采用的加热形式。若加热器由晶体管开关电路控制，则输出一个 4—20mA 的信号。若为蒸汽加热，则采用输出放大器直接控制电磁阀。

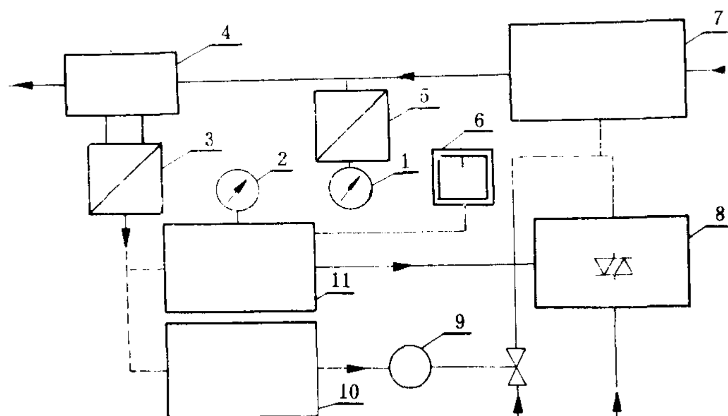


图 9.3.2－10 VAF 型电动粘度控制系统

1－温度指示针；2－粘度指示计；3－差压变送器；4－粘度发讯器；5－温度变送器；6－记录器；7－燃油加热器；8－可控硅控制箱；9－控制阀；10－粘长调节器－阀门定位；11－粘度调节器

装置控制单元的电子控制显示板的功能如下：

. 显示燃油粘度的测量值；

. 显示燃油粘度的设定值；

. 显示电磁执行阀的开启度；

. 显示比例带和积分时间；

. 显示输出信号；

. 显示各种粘度换算值。如雷氏一号粘度、运动粘度、恩氏粘度和赛氏粘度。

4 燃油粘度控制系统的安装和操作

4.1 粘度发讯器

4.1.1 安装

1）粘度发调器应安装在加热器的出口端。

2）粘度发讯器前须装燃细滤器，防止泵和毛细管阻塞。

3）在主燃油管路上须装截止阀和旁通阀，供发讯器保养维修用。

4）燃油应从粘度发讯器的下法兰流入，边法兰流出。

5）为了维修保养，粘度发讯器安装时，周围应留有足够余地，要求大于 300mm。

6）电源开关应装在附近方便之处。

7）CNT 燃油粘度调节装置，发讯器的下法兰应略高于仪表板。

8）粘度发讯器应装在无腐蚀性气体、无尘埃、湿度小、易于维修保养和机械振动小的地方。

4.1.2 操作注意事项

1）使用前做下列常规检查

（1）油隔离罩中就有足够的乙二醇，并将残余空气从放气阀放净。

（2）稳压器的充气：利用随机工具以主油管路中最低压力的 60%之气体压力充入，一般充氮气，当燃油管系中压力低于 1MPa 时，可充空气。

2）主油管路建压后的调整和检查

(1)微开隔离罩的放气阀或放气闷头，当有油溢出时关掉。

(2)微开油隔离罩的下部检查塞，确认有隔离液滴出时，将检查塞旋紧，如流出的是燃油，应立即充入乙二醇。

(3)装置及连接部件不应有漏泄现象。如发现漏泄应及时修理。

4.2 差压变送器

差压变送器一般装在仪表板上或附在粘度发讯器上。它的安装位置由发讯器或仪表板决定。

4.2.1 差压变送器的零位调整

如测量指针所指的值不为零，差压变送器的输出压力也不是0.02MPa，这时应调整变送器上的零位调整螺丝，使输出压力调至0.02MPa，指针指示值为零。

若指示值不为零，即有错误，则按变送器的操作说明书进行调整。

进行零位调整时必须注意：

1)装在高低压处的二个控制阀必须全部关闭。

2)与差压变送器信号管上相连接的旁通阀全部开足，这时差压变送器输入信号为零。

3)调妥后，应关旁通阀，开高、低压端上的检测阀。

4.3 粘度调节器

4.3.1 粘度调节器的安装

1)粘度调节器应安装在温度、湿度、灰尘以及振动小的地方。

2)管路安装好以后，必须进行检漏试验，应特别严格地检查调节器和调节阀之间的管路接头。

4.3.2 操作注意事项

1)给定旋钮：确定设定值的大小。

2)比例带调整

比例带小，使调节灵敏度增加。如果比例带太小，将引起系统振荡。当比例带增加时，会使调节灵敏度减小，如果比例带太大，使给定值与测量值的偏差增大，引起超负荷。

3)积分时间调整

当积分时间短时，达到平衡状态所需时间较短。但当时间太短时，将引起系统的不稳定和振荡。当时间太长时，则对象达到给定值的平衡时间增长，即消除调节偏差的时间增长。

4)微分时间调整

通常用于有时间延迟的调节过程。为了补偿系统的时间延迟，使调节作用有一个超前量。当微分时间太长时，将引起振荡。但时间太短时，不能达到预期的效果。

4.4 薄膜调节阀

1)调节阀应安装在振动较小，环境温度不超过70℃，维护保养方便的地方。并应考虑调节阀垂直拆装的空间。

2)调节阀基本上应垂直安装。管路成水平位置，执行机构装在上面。

3)在阀体上有浇铸箭头符号，以表示调节阀介质流动的方向。

4)在调节阀前后须安装截止阀和旁通阀。

5)对于带有阀门定位器的调节阀，为了便于调整，需考虑标有阀门定位器进气方向的箭头。

6)如果在流动介质内含有灰尘和污垢，在调节阀的进口端应考虑安装滤器。

5　燃油粘度控制系统的故障及其维修

表 9.3.2—3 为燃油粘度控制系统的故障及其维修方法。

表 9.3.2—3　　**燃油粘度控制系统的故障及其维修**

故障	产生故障的部件	产生原因	排除方法
粘度指示低	粘度发讯器	内部漏泄	进厂修理
	差压变送器	从粘度发讯器到差压变送器高压边管路漏泄	排除漏泄
		重新拆装仪表和系统后，在传送管路内进入空气	排除空气
		零位漂移	重新调整零位
		粘度发讯器和差压变送器不匹配	检查粘度发讯器的铭牌和差压变送器铭牌上的数据是否匹配，如不匹配，应通知工厂更换
	调节器	调节器和差压变送器输出之间的管路漏泄	排除漏泄
粘度指示高	粘度发讯器	毛细管阻塞	清洁毛细管
	差压变送器	从粘度发讯器到差压变送器低压边管路漏泄	排除漏泄
		零位漂移	重新调整零位
		粘度发讯器和差压变送器不匹配	检查铭牌，如不匹配应通知工厂更换
调节器至调节阀(或控制箱)的输出压力过高	调节器	给定指针设定错误	调整给定指针到所需粘度
		喷咀堵塞	清洁喷咀
		节流孔组件松动	旋紧节流孔安装螺母
		挡板紧贴，关闭喷咀	检查挡板
粘度指示停留在最大值	燃油	燃油太冷	在起动粘度发讯器电动机之前预热燃油和粘度发讯器及差压变送器之间的传递管路
	差压变送器	恒节流孔堵塞	清洁恒节流孔

续上表

故障	产生故障的部件	产生原因	排除方法
没有粘度指示或粘度指示相反方向	粘度发讯器电动机	电动机不转	检查主电源，电动机电压是否正确
		交流电动机转向错误	检查电动机的电源线接线，并纠正错误
	差压变送器	粘度发讯器和差压变送器之间传送管路漏泄	排除漏泄
		在系统和仪表重新拆装后传送管路内有空气	排除空气
		恒节流孔堵塞	清洁恒节流孔
		平衡阀开或旁通阀关	关平衡阀；开旁通阀
	气源	到差压变送器或调节器去的气源压力低	调整空气过滤减压阀到0.14MPa
	调节器	调节器和差压变送器输出管路之间的漏泄	排除漏泄
		元件损坏或超范围指示	掉换测量元件
		内部杠杆联动机构松动	检查内部杠杆联动机构，重新连接
在控制点附近振荡	燃油管路	粘度发讯器和加热器之间燃油管路太长	长度不应超过4m
		燃油循环不恰当	参照系统安装图
	调节器	比例带太窄	增加比例带
		积分时间太短	增加积分时间
		积分阀关闭或堵塞	检查积分阀
	调节阀	蒸汽阀或加热油阀尺寸过大	检查阀的尺寸，如果要缩小阀的尺寸应与工厂联系
		阀杆摩擦力大	检查阀的填料函
在控制点附近漂移	调节器	比例带太宽	减小比例带
		积分时间太长	减小积分时间
	调节阀	蒸汽阀或加热油阀的尺寸过小	检查阀的尺寸，如果要加大阀的尺寸应与工厂联系
不能进行自动控制	调节器	连接喷咀的管路漏气	检查喷咀管路的漏泄
		挡板弯曲或不能贴住喷咀	在喷咀边拆去放大器和喷咀之间的连接软管，用手指捏紧软管，如果输出压力增加，问题可能出现在喷咀组件，清洁喷咀组件，如果输出压力不增加，则问题在放大器上
		放大器膜片损坏	掉换膜片
		喷咀堵塞	清洁喷咀
		节流孔堵塞	撤恒节流孔按钮或拆下节流孔组件检查和清洁
		杠杆联动机构松动	检查松动的联动机构

第 3 章　柴油、燃料油自动切换系统

1 概　述

在主机停车前，为了保持主机燃油管路的畅通和主机机动操纵的需要，在船舶进港前，宜转换使用柴油。反之，当船舶出港后，为了降低运输成本，需转换成使用燃料油。这就提出了所谓的柴油、燃料油自动切换系统。

2 柴油、燃料油自动切换系统

2.1 柴油、燃料油自动切换系统图

如图 9.3.3—1 所示，电气控制箱 3 通过三通电磁阀 15 控制三通调节阀 14 的开闭达到控制柴油、燃料油自动切换的目的。

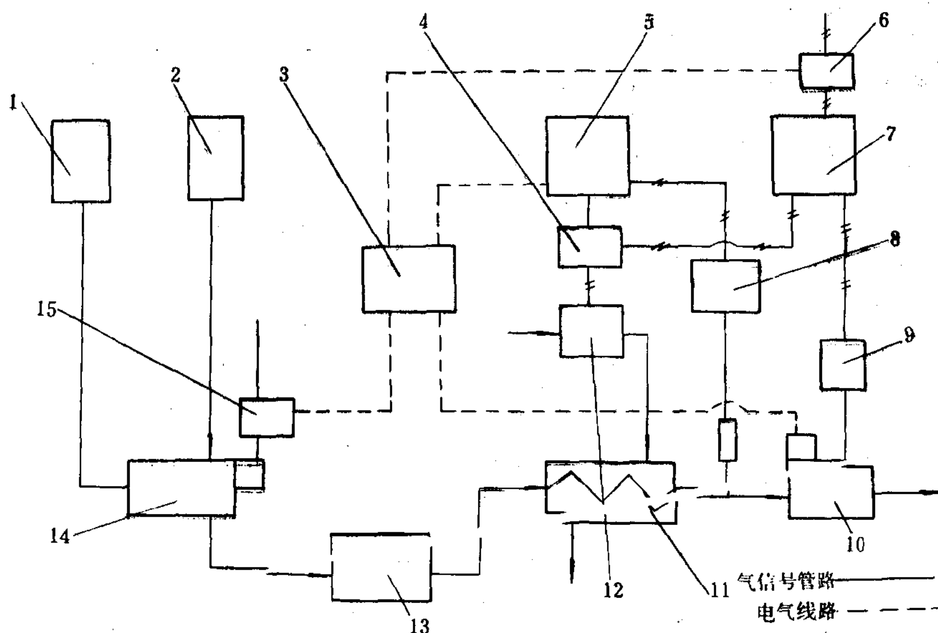


图 9.3.3—1　柴油、燃料油自动切换系统原理图

1—柴油柜；2—燃料油柜；3—电气控制箱；4—高灵敏继动器；5—程序温度调节器；6—电磁阀；7—粘度调节器；8—温度变送器；9—粘度变送器；10—测粘计；11—燃油加势器；12—薄膜控制阀；13—输油泵；14—三通调节阀；15—三通电磁阀

当主机在使用柴油的情况下，柴油和燃料油的自动切换过程是这样的：由温度变送器测得燃油加热器后的燃油温度，通过温度变送器 8 转换成 0.02—0.1MPa 的气压信号，并与在程序温度调节器 5 中按油的混合状态的特定程序设定温度值进行比较后(即每分钟增加的设定温度值)，输出 0.02—0.1MPa 气压信号来调节薄膜控制阀 12 的开度，达到调节加热蒸汽量的目

的。当柴油、燃料油切换开关转到燃油位置时，测粘计10的电动机启动，随着进入主机的混合油中燃油的比例增加，混合油的加热温度由于温度设定值的升高而提高，当温度升高到设定值的上限时，电气控制箱3将三通电磁阀6打开，此时，由于高灵敏继动器4的作用，由温度控制系统转换到粘度控制系统。粘度调节器7，通过高灵敏继动器4来控制薄膜控制阀12的开启。

反之，从燃料油转换到柴油时，按上述的反过程进行。

2.2 柴油、燃料油自动切换系统的基本组成及功能

图9.3.3－1柴油、燃料自动切换系统由温度控制系统、粘度控制系统和辅助单元等组成，它由高灵敏继动器来协调工作。

2.2.1 温度控制系统的基本组成及功能

温度控制系统由温度变送器、温度程序调节器和薄膜控制阀等组成。

温度变送器——通过水银膨胀型温包，将测得的温度值通过变送器转换成0.02－0.1MPa的气压信号，送到温度程序调节器作为调节器的输入信号。

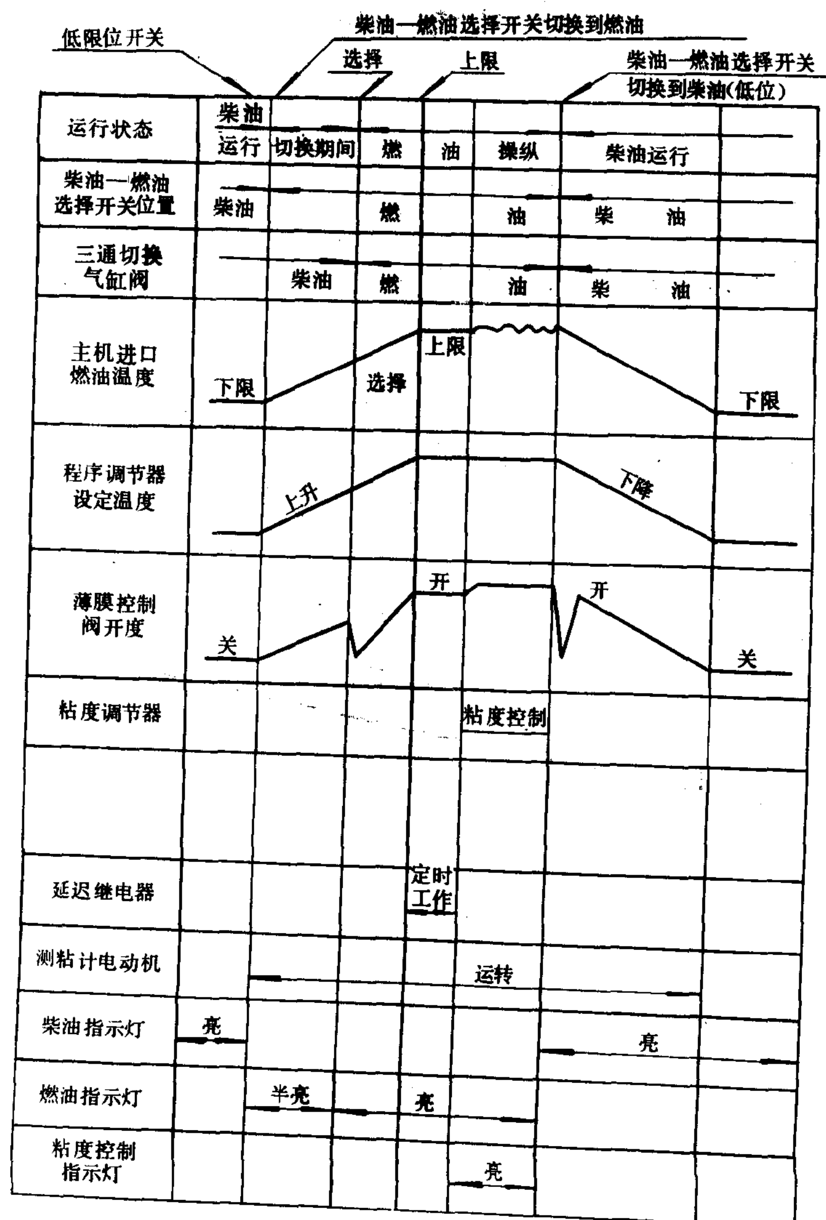


图9.3.3－2 柴油－燃料油自动切换程序

程序控制说明

设定温度范围

下限温度……℃

上升段开关动作的平均温度在70℃/min

柴油－燃油切换气缸阀切换到柴油……132℃

上限温度……132℃

设定时间范围

上升和下降的温度梯度

0，1，2，3，5，℃/min

粘度控制说明

设定粘度……cst温度（约℃）RWNo.1s秒（在℃）

温度程序调节器——能自动地调整进入主机的燃油温度。而且，通过特定程序能调节符合柴油、燃料油自动切换期间混合油状态的燃油温度值。温度范围是根据柴油、燃料油的自动切换电信号，调整在柴油的低限设定温度和燃料油的高限设定温度之间。

薄膜控制阀——与燃油粘度自动控制系统中的薄膜控制阀相同，可参阅9.3.2。

2.2.2 粘度控制系统

请参见9.3.2的燃油粘度自动控制系统。其不同之处：粘度调节器的气源由三通电磁阀控制，测粘计的电动机和三通电磁阀由电气控制箱的自动切换电信号控制。

2.2.3 辅助单元

高灵敏继动器——继动器接受温度程序调节器和粘度调节器的输出信号，再根据它的输入信号的强弱来确定由温度程序调节器控制或者粘度调节器控制。

三通切换阀——三通电磁阀由电气控制箱的电信号控制。三通电磁阀作为导阀，并通过气压信号在阀的活塞二侧进排气来控制阀的开度，籍以调节柴油和燃料油的混合比例。

2.3 柴油、燃料油自动切换程序

图9.3.3－2为柴油、燃料油自动切换程序图，它表明了在自动切换过程中，温度控制和粘度控制的关系，以及主机进口燃油温度、三通切换阀、薄膜控制阀和设定温度的变化过程。当然，下限温度和上限温度可根据燃油品种以及实船使用情况进行人为设定。

3 柴油、燃料油自动切换系统实例

3.1 NS型柴油、燃料油自动切换系统

NS型柴油、燃料油自动切换系统由日本中北株式会社制造。

图9.3.3－3为它的系统原理图。它由温度控制系统、粘度控制系统和辅助单元等组成。电气控制线路如图9.3.3－4所示。

3.1.1 "柴油－燃料油"的切换情况(当主机在使用柴油的情况下开始切换)

1)"D－H"切换开关拨到"H"位置

(1)程序调节器中的同步电动机"SM"开始运转。按照预设程序，使油温增加。("RH"通电，"LGH"失电。)

(2)"PLH"处于半熄灭状态；

"PLD"熄灭。

(3)"SM"运转开始；

"LLS"被切换；

"AX－3"脱开。

(4)测粘计电动机"M"开始运转，并进行粘度检测。

2)当程序设定温度上升，并达到70℃时，(设定点)，"MLS"被切换。

(1)电磁阀"SV－1"线圈通电状态改变；"TL－2"通电。

(2)"SV－1"打开，供应气源；三通气缸阀立即从柴油切换到燃油供应。

(3)"DL"和"HL"改变通电状态。

(4)"PLH"全熄。

(5)2—3s 后，"TL—2"通电，"TL—2"触头闭合

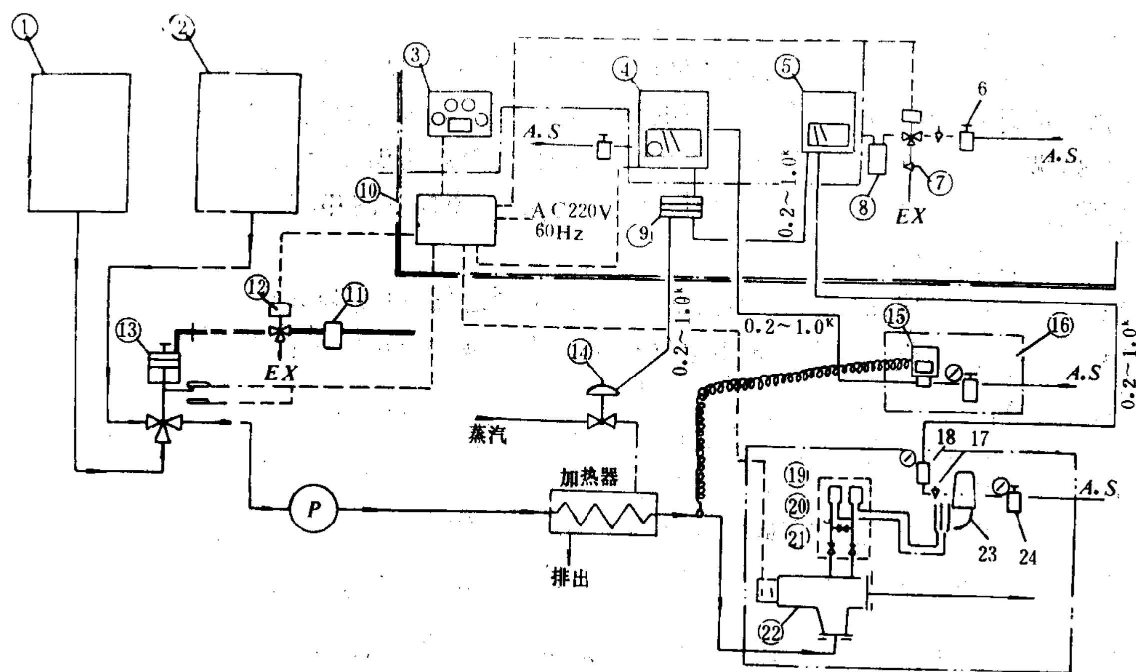


图 9.3.3—3 NS 型柴油、燃料油自动切换系统原理图

1—柴油柜；2—燃料油柜；3—选择开关；4—程序温度调节器；5—粘度调节器；6、24—过滤减压阀；7、17—针阀；8、18—气室；9—高灵敏继动器；10—继动器箱；11—空气滤器；12—三能电磁阀；13、15—温度变送器；14—薄膜调节阀；16—安装板；19—油隔离罩；20—平衡阀；21—截止阀；22—测粘计；23—差压变送器

如果三通"D—H"气缸阀未完成切换动作，"AX—2"通电；程序定时器停止工作。

然后，"PLAL"熄灭。

如果需要，可进行报警。

3)当达到程序设定温度的上限值(132℃)时，"ULS"(微动开关)被切换。

(1)程序调节器中的"SM"停止运转。

"RH"失电；

"LGH"熄灭。

(2)延时继电器"T—1"(0—60min)开始计时。

4)在"T—1"延时完成后，"T—1X"触头闭合。

(1)"SV—2"线圈通电。

(2)"SV—2"供应气源，送至粘度调节器。

(3)"TL—3"通电。在 2—3s 后，"TL—3"触头闭合。

(4)"AX4A"通电。

(5)"PLV"熄灭。

(6)时间继电器"T—1"失电。

(7)"T"触点脱开(防止继电器的重复工作)。

3.1.2 "燃料油→柴油"的切换情况(当主机使用燃料油的情况下开始切换)

1)把"D—H"切换开关拨到"D"的位置。

(1)"SV2"线圈通电。

(2)"SV2"放大气。粘度调节转换到温度调节，"PLV"熄灭。

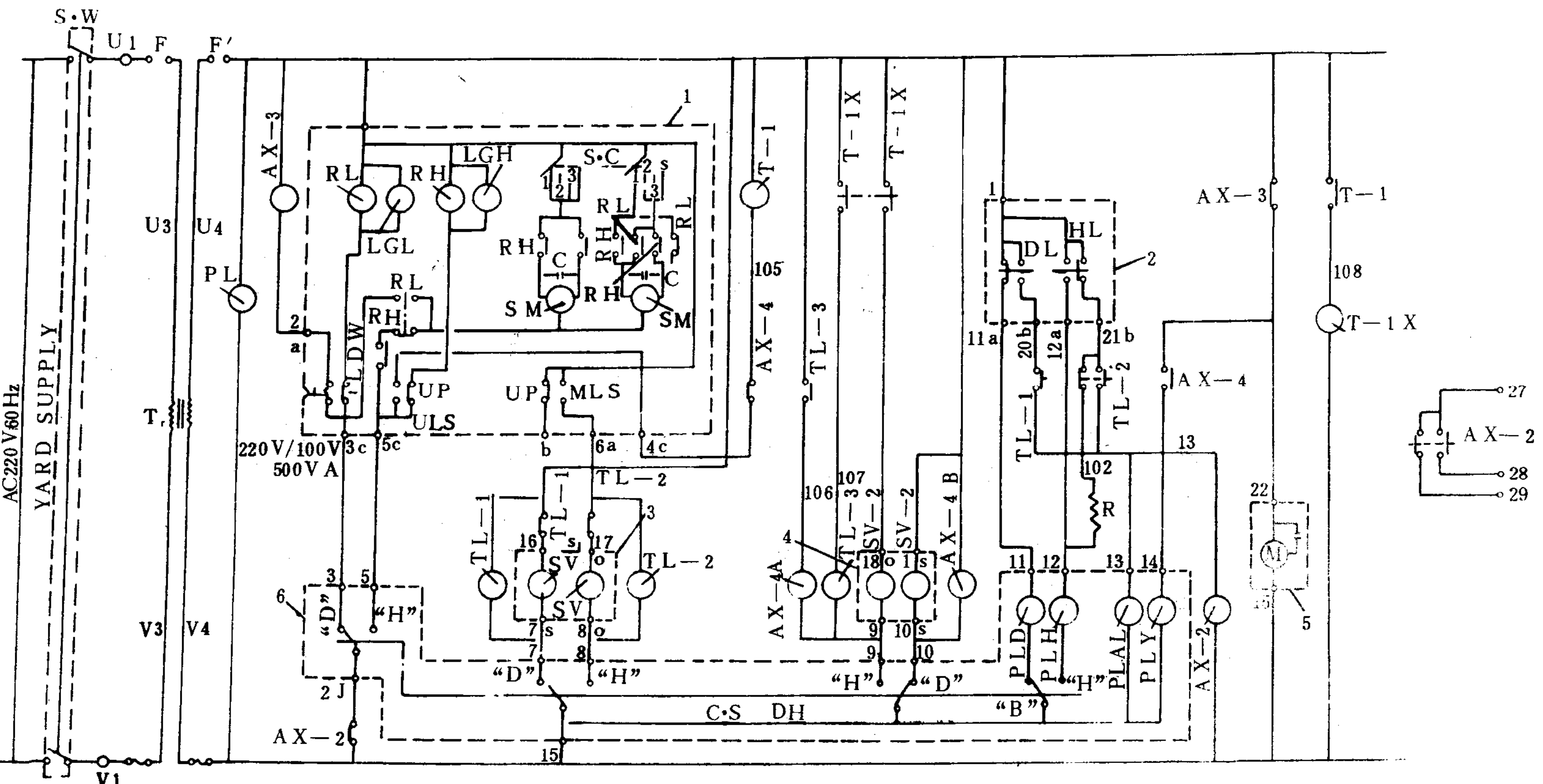


图 9.3.3—4　NS型柴油、燃料油自动切换系统电气控制线路图

①程序控制器　RL、RH—继电器；LGL、LGH—指示灯；LLS、ULS、MLS—微动开关；SC—选择开关；C—电容；SM—同步马达；②三通气缸阀　DL、HL—微动开关；Tr—变压器；F—F′—保险丝；SW—开关；PL—电源指示灯；C.S—选择开关(柴油—燃料油)；M—电动机；AX—2、3—磁性继电器；TL—1.2.3—时间继电器；T—1时间继电器；③—电磁阀(控制三通气缸阀)；④—电磁阀(控制粘度计)；⑤—测粘计；⑥—柴油—燃料油选择开关　T—1X—磁性继电器；AX—4—保持继电器；R—电阻；PLD、PLH—指示灯；PIAL—故障切换；PLV—粘度控制；

(3)程序调节器中的“SM”开始运转，按照设计程序，设定温度下降。(“RL”通电；“LGL”熄灭。)

(4)“SV1”线圈通电；

“TL－1”通电。

(5)“SV1”放大气。三通气缸阀从“燃料油”立即切换到“柴油”。

(6)“HL”和“DL”也被切换。

(7)“PLD”熄灭。

(8)10－20s 后“TL－1”励磁，“TL－1”触点闭合。

当三通气缸阀末能正确执行切换步骤时，“AX－2”励磁，程序定时器停止。“PLAL”熄灭。

2)当程序设定温度达到常设温度时，“LLS”被切换。

(1)程序调节器“SM”停止；“LGL”熄灭。

(2)“AX－3”励磁；测粘计电动机“M”停止运转。

3)从粘度至“燃料油－柴油”的切换步骤完成。

3.1.3 在运行期间，出现电源故障

1)柴油－燃料油切换过程中失电时。

(1)三通电磁阀“SV1”是自保型，在“SM”停止的情况下，温度控制自动转到常设温度定值控制。

(2)辅继电器“AX4AB”是自保型，在运行时不会发生错误动作。

2)在粘度控制过程中失电时。

(1)测粘计电动机停止运转，并自动转到程序控制，按上限温度(132℃)进行定值控制。

(2)在上述情况下，当复电时，“AX4A”是自保型，电路通电，测粘计电动机开始运转，仍改为粘度控制。

3.1.4 三通气缸阀故障报警

在程序调节器设定温度上升期间，当柴油温度上升到70℃且因三通气缸阀故障而不能进行切换时，为了阻止柴油温度的继续上升(如有必要)，可进行报警。

3.2 VAF型柴油、燃料油自动切换系统

VAF型柴油、燃料油自动切换系统由荷兰制造。图9.3.3－5示出它的系统原理图。

3.2.1 概述

系统包括粘度调节器、温度调节器、带有V/I转换器的程序器(调节燃油温度)和辅助单元(调节柴油温度)。电源主开关和运行状态指示灯布置在控制箱的面板上。在程序切换过程中，通过调节阀控制进入热交换器的蒸汽量来达到调节燃油温度的目的。从温度调节器和粘度调节器来的信号通过高灵敏继动器的选择来控制薄膜控制阀的开度。选择的依据取决于二个调节器的输出信号。

VAF型柴油、燃料油自动切换系统与NS型柴油、燃料油自动切换系统原理完全一样，它的差异仅在于：VAF型柴油、燃料油自动切换系统中的温度调节器仅起到温度调节作用，而它的程序控制则由程序器(包括V/I转换器)和辅助单元完成。但在NS型柴油、燃料油自动切换系统中的温度调节和程序控制功能由程序温度调节器来完成。

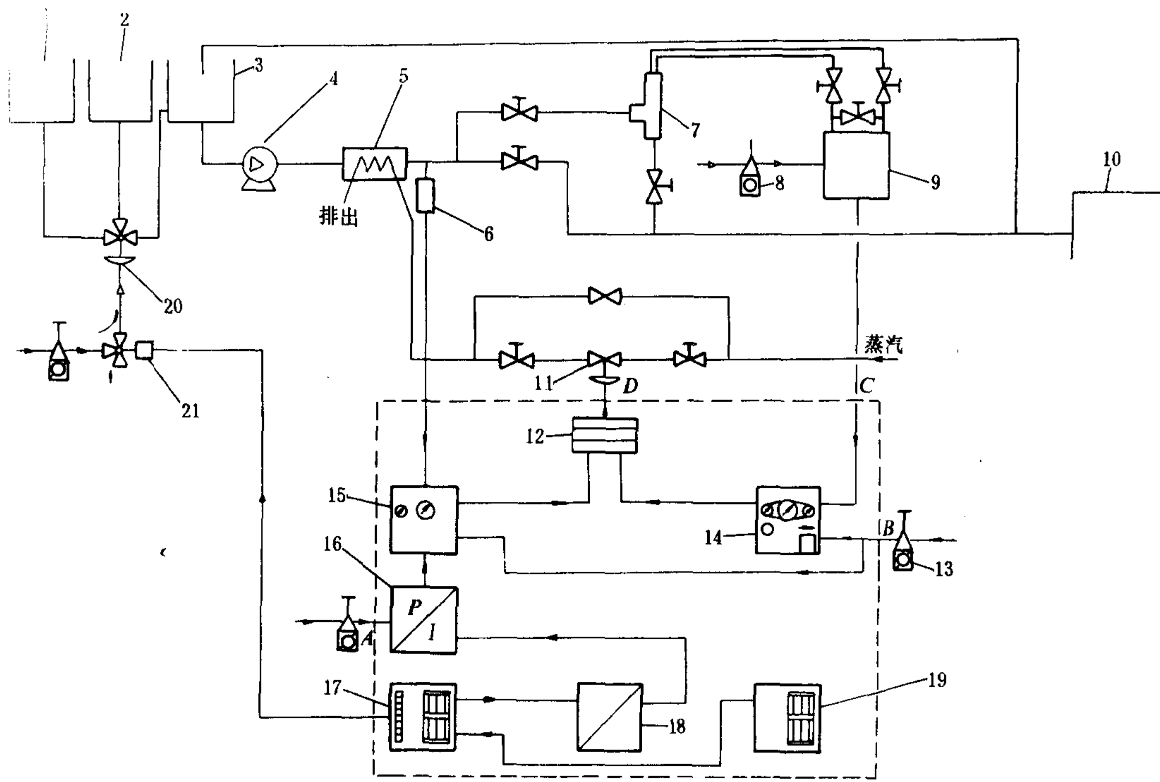


图 9.3.3－5 VAF 型柴油－燃料油自动切换系统原理图

1－柴油柜；2－燃油柜；3－混合油柜；4－泵；5－加热器；6－温度变送器；7－测粘计；8－过滤减压阀；9－差压变送器；10－主机；11－气动蒸汽控制阀；12－高灵敏继动器；13－过滤减压阀；14－粘度调节器；15－温度调节器；16－电气转换器；17－程序器；18－V/I 转换器；19－辅助单元；20－三通气动控制阀；21－三通电磁阀

3.2.2 VAF 型自动切换器系统操作程序

在主机使用柴油的情况下开始切换。

合上电源开关(MS)，指示灯(L3)和柴油指示灯(L1)亮。

按起动按钮(PB1)，程序器(TP)使温度调节器(TC)的设定值增加。由程序器(TP)的手轮开关(TW2)确定设定温度每分钟的递增率(℃/min)。

薄膜调节阀由温度调节器(TC)控制。

调整程序器(TP)中的手轮(TW3)使燃油温度上升到 50℃。

此时，三通阀动作，燃料油流入混油柜。指示灯(L1)熄灭，指示灯(L2)亮。

程序器(TP)被切换到辅助单元(AU)。

辅助单元(AU)将使温度调节器(TC)的设定温度进一步提高；温度递增率(℃/min)由手轮(TW1)控制；进一步调整手轮(TW4)，直至达到所选择的上限温度为止(例如 120℃)。

由于混合油柜中燃料比例增加，使混合油的粘度随之增加，当混合油的粘度超过粘度调节器(VI)的设定粘度值时，此时由粘度调节器输出信号，通过高灵敏继动器来控制薄膜控制阀。

及之，当按下按钮(PB2)时，系统从燃料油切换到柴油。

3.2.3 VAF 型自动切换系统的安装和起动

1)安装

(1)将电源(电压 220VAC－50/60HZ)接入控制箱内。

(2)三通电磁阀的连接线接到控制箱内。

(3)空气过滤减压阀输出用 Φ6mm 紫铜管与控制箱连接。

(4)空气过滤减压阀的输入与清洁的气源相连。(最大的气源压力为 2MPa)

(5)用 Φ6mm 的紫铜管将差压变送器(DP)的输出与控制箱相连。

(6)用 Φ6mm 的紫铜管将薄膜控制阀与控制箱相连。

2)启动

(1)将程序器的设定数字开关(TW3)拨到 50℃的位置。

(2)将辅助单元的设定数字开关(TW4)拨到 120℃的位置。

(3)将温度递增选择开关(程序器中的 TW5)(辅助单元中的 TW6)拨到"1"的位置(F 表示快速递增,仅用于试验)。

(4)通过程序器的递增选择开关(TW2)和辅助单元的递增选择开关(TW1)来确定温度的递增率。

柴油温度的递增取决于加热能力和燃油消耗。

将(TW2)的开始位置选择在 1℃/min,使温度调节器的设定信号按此规律变化。

当设定值和测量值存在差异时,应减少温度递增率。差异小,递增率的减少也小。

柴油和燃料油的混合油温度递增率可用辅助单元的开关(TW1)选择。设定值的选取决定于混合油柜的容积和耗油量。

(5)按以上所述确定选择程序器中的按钮(PB3)或辅助单元中的按钮(PB4)。

(6)合上主开关(MS);按复位按钮(PB2)。

绿色信号灯(L3)亮;同时,兰色柴油指示灯(L1)亮。系统用柴油工作,准备切换到使用燃料油。

(7)按起动按钮(PB1)

系统开始将柴油加热到 50℃,在达到该温度后,切换开关转到燃料油位置。当要使用柴油时,按复位按钮(PB2)。

如果需要得到超过 120℃的某一温度时,通常调整辅助单元(AU)的手轮开关(TW4)即可实现。

第 4 章　辅锅炉控制系统

在以柴油机为动力装置的干货轮上，为了加热燃油、滑油、水以及供应生活上所需要的蒸汽，都装有小型锅炉，称为辅锅炉。它的型式很多。辅锅炉的特点是：蒸发量小（一般小于 5t/h），汽压低（一般小于 980kPa）。这种锅炉对水位和汽压的控制要求不高，容易实现全自动化控制。辅锅炉全自动化的内容包括：水位自动控制，汽压自动控制、启动和停炉的时序控制以及安全保护等。

1　辅锅炉水位控制

1.1　对辅锅炉水位控制的要求

水位自动控制的任务是保证辅锅炉的给水量适应锅炉蒸发量的变化，使锅炉的水位波动不超过一定的范围。辅锅炉水位允许的波动范围约为 60～120mm，一般用双位控制即可满足要求。在水位双位控制中，可采用浮子式或电极式水位传感器。

1.2　辅锅炉水位控制原理

1.2.1　浮子式双位水位控制原理

浮子式双位水位控制原理如图 9.3.4－1 所示。

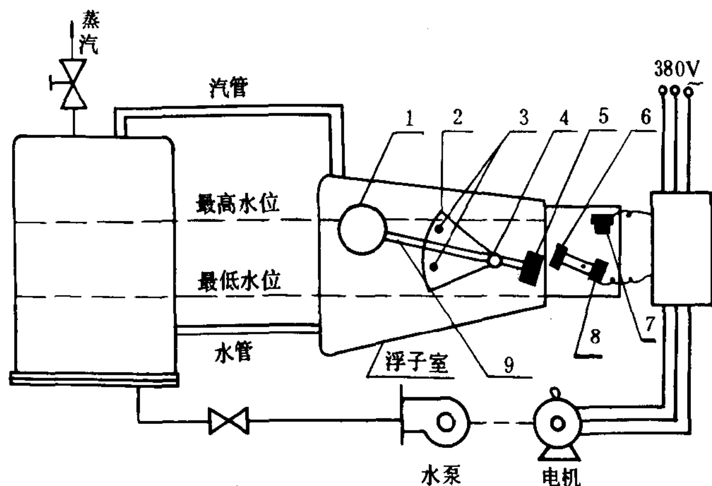


图 9.3.4－1　浮子式双位水位控制原理图

1－浮子；2－调节板框架；3－销钉；4－枢轴；5－永久磁铁；6－与 5 同极性磁铁；7－开关静触头；8－开关动触头；9－浮子杆

浮子室分别有汽管和水管与锅炉的汽空间和水空间相通，浮子室的水位反映了锅炉的实际水位。浮子 1 与水位一起上下波动，它使滑套在枢轴 4 上的浮子杆 9 转动。浮子杆通过位置可调的销钉 3 带动调节板框架 2 以及和调节板框架固定在一起的磁铁 5 绕枢轴 4 转动。当水位达到最高水位时，浮子杆带动调节板框架上面的销钉使磁铁 5 顺时针向下转动，并与同极性的磁铁 6 靠近，由于磁铁 5 和 6 同性相斥，使磁铁 6 逆时针向上转动，开关触头 8 和 7 断开，切断给水泵电机的电源，停止向锅炉供水。当水位下降时，浮子杆转过两个销钉之间的空档距离后，带动下面销钉逆时针转动。当达到最低水位时，磁铁 5 和 6 正好靠近，使磁铁 6 逆时针向下转动，开关触头 8 与触头 7 闭合，接通给水泵电机的电源向锅炉供水。调整销钉位置即可调节锅炉水位的波动范围。

1.2.2　电极式双位水位控制原理

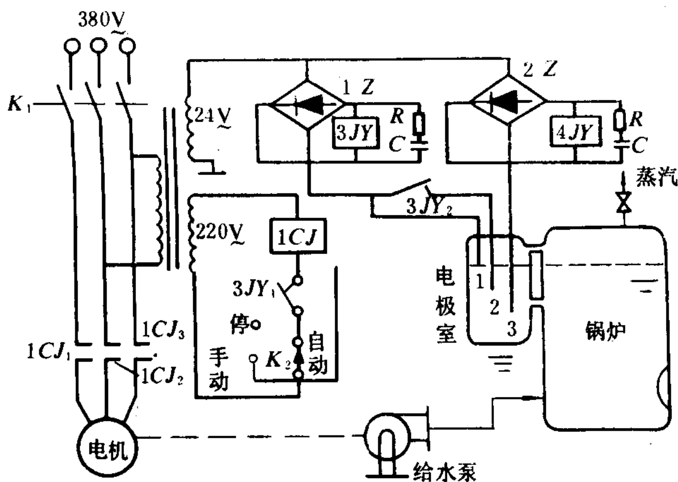


图 9.3.4--2 电极式双位水位控制原理图

图 9.3.4--2 为电极式双位水位自动控制系统原理图。

电极室的水位与锅炉的实际水位近似相等。锅水有一定盐分，它是导电的。电极室内有三根电极 1、2、3，其中电极 1、2 控制高、低水位；电极 3 作为最低危险水位报警用。1Z、2Z 是二极管桥式整流电路。电话继电器 3JY、4JY 的电源是直流电，而经过电极和锅水导电的电流是交流的。当锅水降到电极 1、2 均露出水面的低水位时，电极 1 和 2 均不和地相通，1Z 断路，继电器 3JY 断电，使常开触头 $3JY_2$ 断开。同时常闭触头 $3JY_1$ 闭合，它使接触器 1CJ 通电动作，其触头 $1CJ_1$～$1CJ_3$ 闭合，电动机带动给水泵向锅炉供水。随着水位上升，由于常开触头 $3JY_2$ 已经断开，尽管水位高于电极 2，1Z 仍然断路，水泵继续向锅炉供水。当水位超过电极 1，即达到高水位时，1Z 通过电极和锅水与地相通，构成交流电通路。继电器 3JY 通电动作，$3JY_1$ 断开，给水泵停止向锅炉供水，$3JY_2$ 闭合。当水位下降到使电极 1 露出水面时，继电器 3JY 通过电极 2 和锅水继续和地相连而通电。调整电极 1、2 的位置即可调整水位上、下限的波动范围。如果供水系统发生故障，水位下降到电极 3 露出水面时，即达到危险低水位时，2Z 断路，继电器 4JY 断电，通过它的触头（图中未画出）发出电光报警，同时送出一个自动停炉的信号，以确保锅炉的安全。

1.3 水位控制系统管理要点

双位式锅炉水位控制系统结构简单、工作比较可靠，但在使用中也应注意正确管理。

1）正确调整高低水位。浮子式控制系统可调整调节板框架上销钉 3 的位置和两个销钉之间的距离。对电极式可调整电极 1、2 的上、下位置，使水位在允许范围内波动。销钉之间的距离或电极 1、2 之间的垂向距离不要调得过小，否则电机起停频繁，会影响电机和水泵的寿命。

2）对水位发讯器要经常进行维护，保证它处在良好的工作状态。

定期对浮子室检查零件是否有锈蚀和机械磨损等现象。检查时，先关闭汽、水管上的截止阀，放掉浮子室的水，然后用手上、下移动浮子 1，检查是否活络，有否卡死现象；检查销钉 3 是否锈蚀，以及磁铁 5 和 6 是否退磁。经过清洗和修复后，用手上移浮子 1 直到开关触头 7 和 8 断开，浮子的位置就是锅炉的最高水位，如果高、低水位不准，可分别调整上、下两个销钉的位置来校准。

电极室要定期放水，如长时间不放水，电极室中水的纯度会逐渐提高，加之电极棒上会产生水垢，就会影响其导电性。把电极室的水放掉以后，抽出电极棒，除去电极棒上的水垢，装复时，要检查电极棒与电极室壳体之间的绝缘材料是损坏，若损坏需换新，以保证电极棒与电极室壳体绝缘。

2　辅锅炉燃烧自动控制

锅炉燃烧自动控制是锅炉在正常燃烧阶段对蒸汽压力的控制，使蒸汽压力维持恒定值或在一个允许的范围内波动。控制蒸汽压力是通过改变喷油量和供风量来实现的。由于辅锅炉产生的蒸汽压力较低，用汽设备对蒸汽压力变化要求不严格，所以辅锅炉燃烧自动控制一般采用双位控制，有的采用比例控制。

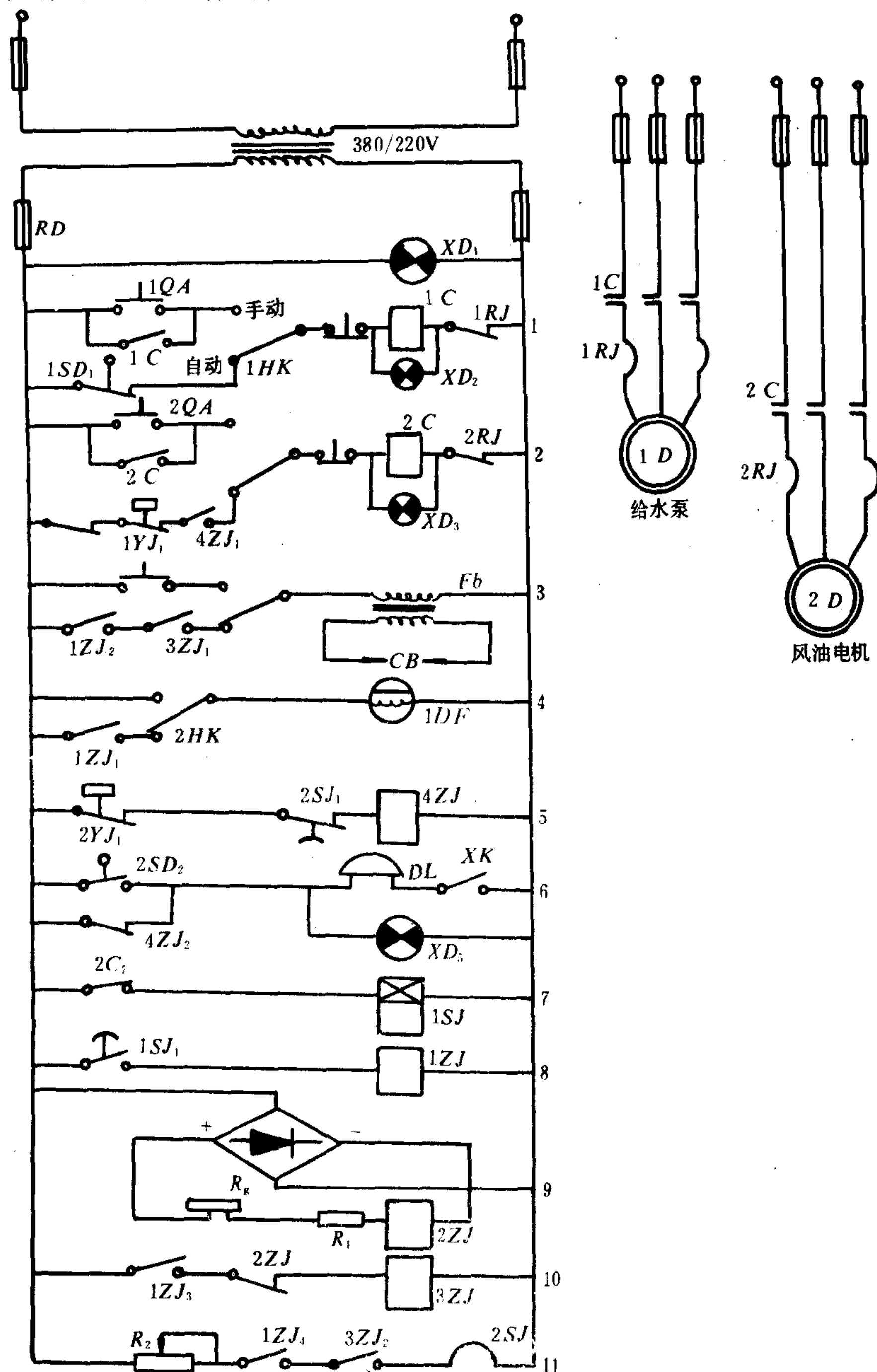


图 9.3.4－3　辅锅炉燃烧双位控制第一种方案原理图

1－水泵控制；2－风油电机控制；3－点火控制；4－喷油控制；5－安全保护；6－报警电路；7－预扫风定时；8－预扫风定时；9－火焰监视；10－火焰监视；11－连续点火定时；

2.1 双位控制

在双位控制中，蒸汽压力在一个允许的范围内波动。在控制系统中设有蒸汽压力检测开关。其控制方案有两种：第一种，当蒸汽压力达到允许的高限值时，自动停炉；当蒸汽压力下降到允许下限值时，锅炉自动启动。第二种，当蒸汽压力达到高限值时，锅炉自动转为“低火”燃烧，即控制系统自动使风门关得最小。这时，为减少喷油量可以使与风门同轴的回油阀开得最大，或者自动关闭“高火”燃烧器燃油阀，停止“高火”燃烧器的工作，维持“低火”燃烧。当蒸汽压力下降到下限值时，锅炉自动转为“高火”燃烧，即控制系统自动把风门开得最大，为增加喷油量，使与风门同轴的回油阀关得最小，或者自动打开“高火”燃烧器的燃油阀，使“高火”燃烧器与“低火”燃烧器一起工作。

第一种方案的工作原理如图 9.3.4－3 所示。

$1YJ$ ——汽压检测开关，高压整定值为 490.5kPa(5kgf/cm²)断开，低压值整定为 392.4kPa(4kgflcm²)闭合；

$2YJ_1$——汽压高压保护开关；

Fb ——点火变压器，点火时，C、B 间有一万伏左右的高压放电；

1DF——燃油电磁阀，通电时，打开燃油阀，向炉膛喷油；

1SJ ——控制预扫风时间的延时继电器；

2SJ ——控制点火时间的延时继电器，在这个时间内炉膛没有火焰，自动停炉；

Rg ——光敏电阻，它的工作电流是电源经二极管桥式整流电路后的直流电，有光照射 Rg 时，继电器 2ZJ 通电；

DL——报警蜂鸣器，XK 是消音开关。

1RJ、2RJ ——给水泵电机、风油电机过载保护继电器。

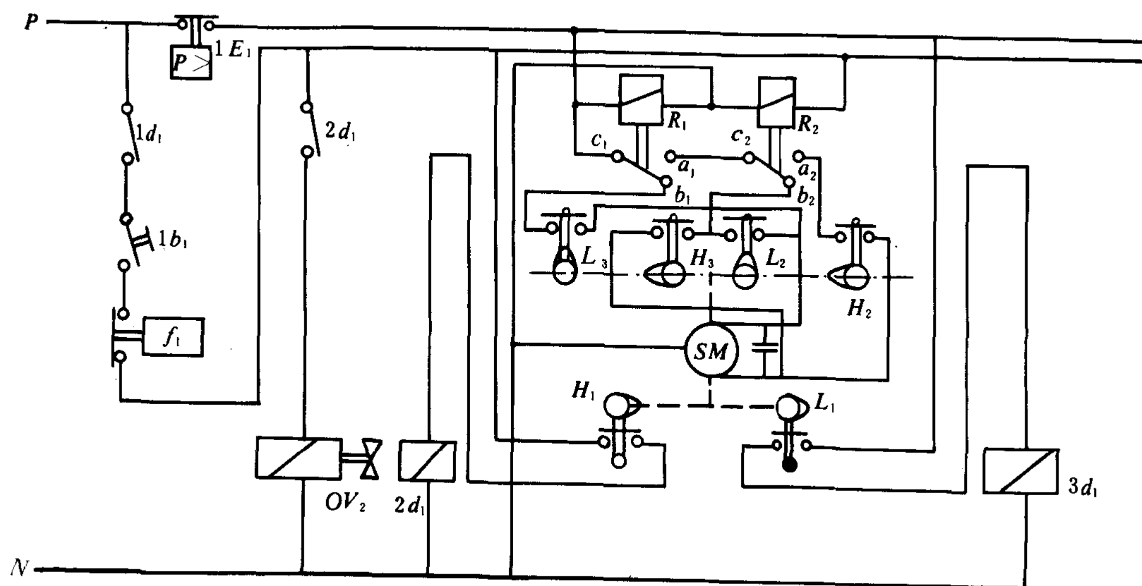


图 9.3.4－4 辅锅炉燃烧双位控制第二种方案原理图

当锅炉汽压下降到下限值(如 392.4kPa)，压力检测开关 $1YJ_1$ 闭合，继电器 2C 通电，启动风、油电机进行预扫风。此时 1SJ 通电计时，延时时间达到，继电器 1ZJ 通电，其常开触头 $1ZJ_1$、$1ZJ_2$、$1ZJ_3$ 和 $1ZJ_4$ 均闭合，点火变压器 F_b 通电打出电火花，燃油电磁阀 1DF 通电向炉膛喷油点火。炉膛内有火焰，继电器 2ZJ 通电动作，3ZJ 断电，其常开触头断开，切除点火变压器的工

作。此时，时间继电器 2SJ 不会通电，继电器 4ZJ 始终通电，锅炉内进行正常燃烧。当汽压上升到上限值(如 490.5kPa)时，压力检测开关 $1YJ_1$ 断开，接触器 ZC 断开，风、油电机停转，自动停炉。此时，时间继电器 1SJ 断电，其常触头 $1SJ_1$ 马上断开，为下一次启动锅炉进行预扫风作准备，当锅炉蒸汽压力又下降到下限值时，$1YJ_1$ 又闭合，重新启动锅炉。

第二种方案的工作原理如图 9.3.4—4 所示。

$1d_1$——火焰感受器继电器(图中未画出)的常开触头，在正常燃烧阶段炉内有火焰，火焰感受继电器通电动作，其常开触头 $1d_1$ 闭合。锅炉因故障熄火时，触头 $1d_1$ 断开；

$1b_1$——蒸汽压力双位控制开关。当蒸汽压力达到允许高限值时 $1b_1$ 断开，当蒸汽压力低到允许下限值时闭合；

f1——燃油压力检测开关，燃油压力正常时 f_1 闭合。

$1E_1$——蒸汽压力检测开关。当蒸汽压力超过上限值时断开；

SM——风门挡板伺服电机，H_2、H_3、L_1 及 L_2、L_3、H_1 是伺服电机 SM 的限位开关；

OV_2——燃油阀。通电打开使“高火”燃烧器投入工作。

在“低火”燃烧时，伺服电机 SM 使风门挡板转至最小开度位置，其供风量与主燃烧器(图中未画出)喷油量相适应。在风门挡板处在最小开度位置时，限位开关 H_2、H_3 和 L_1 闭合。此时触头 $1d_1$、$1b_1$、f_1 和 $1E_1$ 均闭合。继电器 R_1 和 R_2 均通电动作，使 c_1a_1、c_2a_2 接通，电流经电源 P、触头 a、限位开关 H_2，由 SM 上端通到电源另一端 N，使伺服电机 SM 朝着开大风门的方向转动。当风门转至最大开度位置时，限位开关 H_2、H_3 和 L_1 断开，而 L_2、L_3 和 H_1 闭合。这时因 H_2 断开伺服电机 SM 停转，风门保持在最大开度位置。H_1 闭合使继电器 $2d_1$ 通电，其常开触头 $2d_1$ 闭合，打开燃油阀 OV_2 使 2 号“高火”燃烧器投入工作。在“高火”燃烧时，两个燃烧器同时工作，其风门处于最大开度位置，供风量与两个燃烧器的喷油量相适应。当蒸汽压力升至允许上限值时，蒸汽压力双位控制开关 $1b_1$ 断开，使继电器 R_2 断电，c_2b_2 接通；继电器 R_1 通电，c_1a_1 接通，电流经电源 P、触头 a_1、b_2、限位开关 L_2，由 SM 端通到电源另一端 N，使伺服电机 SM 朝着关小风门的方向转动。当风门关至最小时，限位开关 L_2、L_3 和 H_1 断开。L_2 断开时，SM 停转，风门保持在最小开度位置。因 H_1 断开，继电器 $2d_1$ 断电，其常开触头 $2d_1$ 断开，关闭燃油阀 OV_2，“高火”燃烧器停止工作，只保留主燃烧器工作。

在“低火”燃烧时，限位开关 L_1 闭合，继电器 $3d_1$ 通电，它送出一个风门开度最小，锅炉可以点火的信号。在正常燃烧阶段 $3d_1$ 不起作用。如果锅炉负荷太低，用“低火”燃烧汽压仍然上升，当汽压升至最高设定压力时，触头 $1E_1$ 断开，送出一个自动停炉的信号。只有蒸汽压力下降到下限值时，锅炉再次自动启动。

这种控制方案避免了锅炉的频繁启动和停炉，对锅炉负荷的变化适应能力较强，是常见的一种控制方案。

2.2 比例控制

辅锅炉采用燃烧比例控制系统可维持蒸汽压力基本恒定。当蒸汽压力高于给定值时，比例控制系统会自动地按比例减少喷油量和供风量，直到蒸汽压力回到给定值附近为止，反之亦然。图 9.3.4—5 为比例燃烧控制系统的框图。

平衡电桥有两个划针 A 和 B，把电阻分别分成 R_1、R_2 和 R_3、R_4。划针 A 受锅炉蒸汽压力控制，其原理如图 9.3.4—6 所示。

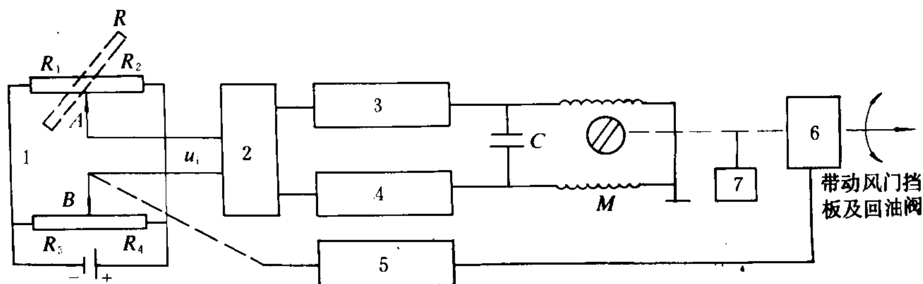


图 9.3.4－5　比例燃烧控制系统框图

M－可逆转伺服电机；1－平衡电桥；2－晶体管差动放大器；3－正转可控硅交流开关；4－反转可控硅交流开关；5－反馈凸轮；6－减速装置；7－制动装置

锅炉蒸汽压力的变化会改变波纹管的伸长量，划针 A 将沿着电阻滑动。改变 R_1 与 R_2 的比值。当蒸汽压力升高时，划针 A 逆时针转动，R_1 值减小，R_2 值增加，反之亦然。当蒸汽压力等于给定值时，划针 A 和 B 均调整在电阻的中央，即 $R_1=R_2$；$R_3=R_4$。这时电桥平衡，输出电压 $u_i=0$。晶体管差动放大器 2(图 9.3.4－5)输出为零，伺服电机 M 停转。该电机轴所带动的风门挡板及燃烧器的回油阀开度都固定不变，燃烧强度与锅炉负荷相适应。当锅炉负荷减小，蒸汽压力升高时，使划针 A 转动，电阻 R_1 减小，R_2 增大。这时 $R_1.R_4<R_2.R_3$，破坏了电桥的平衡，产生一个极性为下正上负的不平衡电压信号 u_i，经放大后，根据偏差信号 u_i 的极性使可控硅交流开关 4 触发导通，电机反转，将回油阀开大和关小风门，减小炉膛内的燃烧强度，使汽压下降到给定值附近。同时，电机带动反馈凸轮转动，使划针 B 向左偏移，使电阻 R_3 减小，R_4 增大。当划针移动到使 $R_1\cdot R_4=R_2\cdot R_3$ 时，电桥重新平衡，$u_i=0$，伺服电机停转。当蒸汽压力下降时，比例控制系统的动作方向与上述相反。

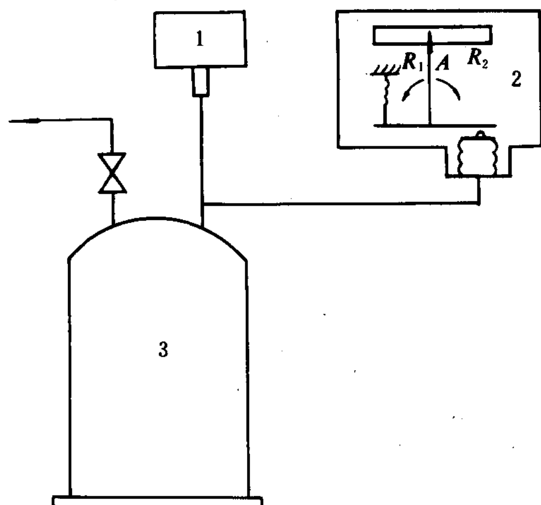


图 9.3.4－6　辅锅炉蒸汽压力检测变送原理图

1－高压保护开关；2－蒸汽压力检测变送器；3－锅炉

改变电阻 R_1 和 R_2 的倾斜角，例如变到图 9.3.4－5 的虚线位置时，蒸汽压力改变同一数值使划针 A 转动相同一个角度时，R_1 和 R_2 的变化量较 R_1、R_2 在水平位置时要大一些，电桥变会产生一个较大的偏差信号 u_i，电机将转一个较大的角度，使风门和回油阀开度变化较大，能较快的使蒸汽压力恢复到给定值附近，即比例作用增强。

3　燃烧时序控制系统

3.1　燃烧时序控制系统框图

启动锅炉的准备工作做好以后，按下时序控制系统的启动按钮，锅炉便可自动进行预扫风、点火，如果点火成功自动转入正常燃烧；如果点火失败或在正常燃烧情况下出现低水位、汽压过高等故障时，可自动停炉，待排除故障后方可再启动。其时序控制框图如图(9.3.4－7 所示。

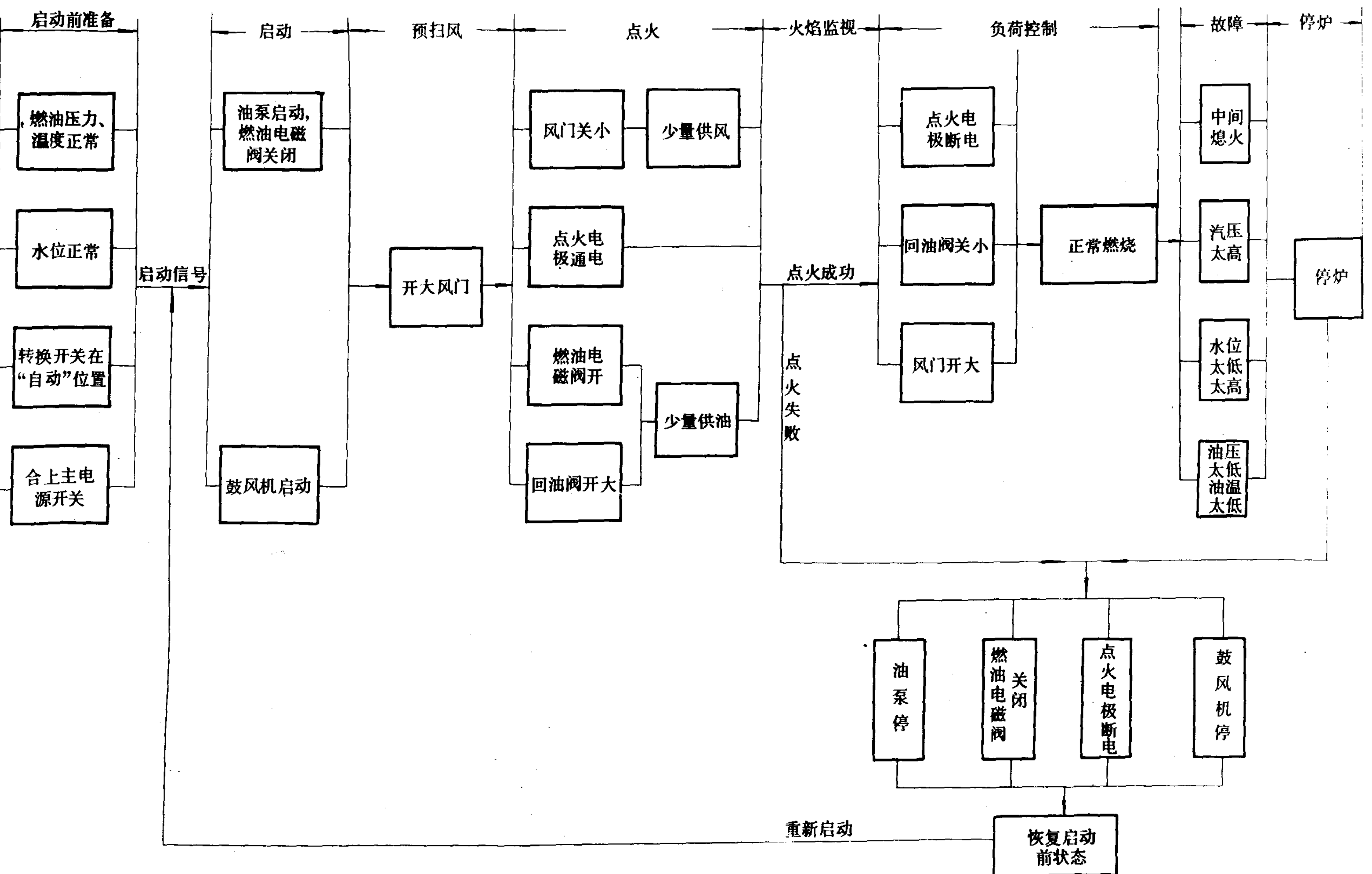


图 9.3.4—7 燃烧时序控制系统框图

3.2 燃烧时序控制主要元件

组成辅锅炉时序控制系统主要元件有:信号发送器、时序控制器、火焰感受器及其它控制元件。

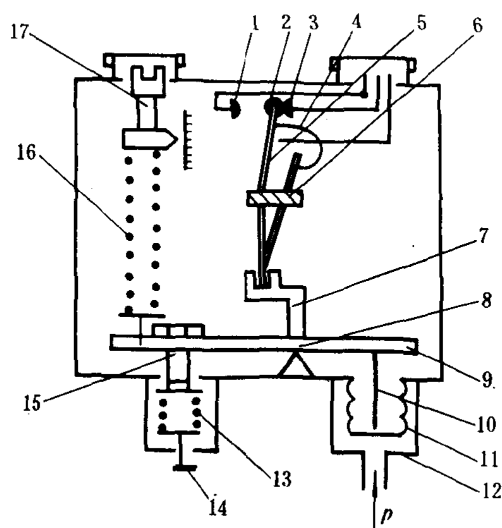


图 9.3.4－8 YT－1226压力自动开关结构原理图

1、3－静触点;2－动触点;4－跳簧;5－簧片;6－跳簧支点;7－拨臂;8－支点;9－杠杆;10－顶杆;11－波纹管;12－测量室;13－幅差弹簧;14－幅差调整螺钉;15－作用螺钉;16－给定弹簧;17－给定调整螺钉

3.2.1 信号发送器

信号发送器包括手动信号发送器(如按钮和选择开关等)和自动信号发送器(如压力开关、温度开关、液位开关等自动开关)。图 9.3.4－8 是 YT－1226 型压力自动开关结构原理图。

汽压信号经导管引入测量室 12,经波纹管顶杆 10 对杠杆 9 产生测量力矩。这个力矩与给定弹簧 16 产生的力矩、幅差弹簧 13 产生的附加力矩相平衡。当汽压上升时,杠杆逆时针转动,只有压力上升到一定值,杠杆转过 φ 角,方能在跳簧 4 的作用下,使簧片 5 带动的动触点 2 突然与静触点 3 断开而与静点 1 闭合。压力再增加该状态不变。当汽压下降时,杠杆顺时针转动。只有压力下降到一定值,在跳簧作用下,动点才突然与静点 1 断,而与静点 3 闭合,压力再降低该状态保持不变。

压力的上、下限值可以调整。杠杆处在水平位置是压力的下限值 p_x。此时作用螺钉 15 已离开幅差弹簧座。幅差弹簧对杠杆平衡不起作用。转动给定调整螺钉 17 可改变给定弹簧 16 的张力,由此可调整下限值(给定值)p_x。螺钉 17 带动的指针指示下限值 p_x。转动幅差调整螺钉 14,如果压缩幅差弹簧,这时使杠杆转过相同的 φ 角需要较高的蒸汽压力,即提高了压力的上限值 p_z。上限值和下限值之差 $\Delta p = p_z - p_x$,称为幅差。在幅差调整螺钉 14 上有红漆标记,旁边圆柱面上有 0～10 共 10 档刻度,红漆标记对准不同刻度就得到不同幅差值。

温度开关的动作原理与压力开关相似。它有一个感受温度变化的温包,把温度的变化按比例转变为压力的变化。所以,用类似上述压力开关的结构可送出温度变化的开关信号。

3.2.2 时序控制器

时序控制器是辅锅炉燃烧时序控制的核心部分。它根据信号发送器送出来的电信号,或根据预先规定的时间间隔和顺序来接通或切断电路,完成锅炉的启动、预扫风、点火、正常燃烧以及停炉等程序动作。

目前,广泛采用的时序控制器有点式和无点式两大类。

1)有触点式的时序控制器

在有触点式的时序控制器中,应用最广泛的是多回路时间继电器,其结构原理如图 9.3.4－9所示。

同步电机 1 通过离合器 3、4 带动标度盘 11 转动。标度盘上的爪形块 12 随标度盘一起转动并顶动相应的微动开关,控制有关电路。各种锅炉时序控制器的标度盘的个数是不同的,一般为 6～13 个。不同系统中的标度盘转一周所需的时间不同,有的需 1min,有的需 2min。标度盘带动爪形块顶动微动开关的时刻是根据程序动作要求调整的。调整时,先松开锁紧螺母 14,

转动该微动开关所对应的标度盘。调好后再把锁紧螺母扭紧即可。

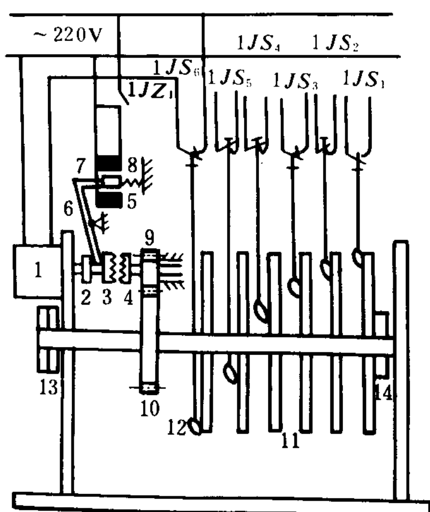


图 9.3.4—9 多回路时间继电器结构原理图

1—同步电机；2—传动轴；3、4—离合器；5—控制线圈；6—杠杆；7—铁芯；8—拉力簧；9、10—减速齿轮；11—标度盘；12—爪形块；13—复位弹簧；14—锁紧螺母

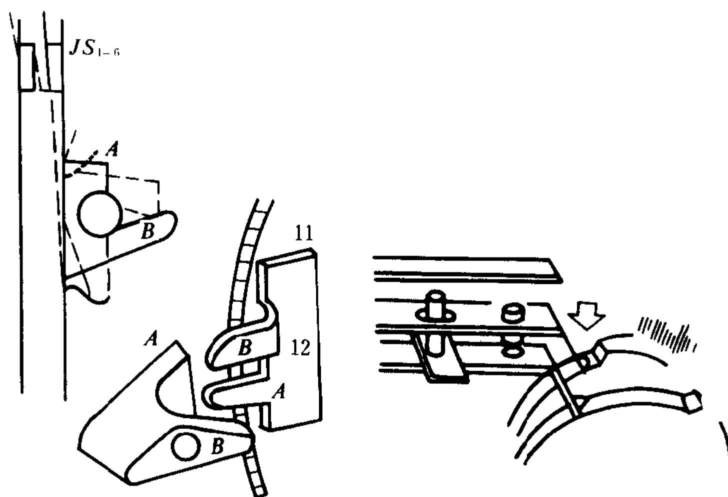


图 9.3.4—10 凸轮式时序控制器

有触点式的时序控制器除多回路时间继电器外，还有凸轮式时序控制器，其结构原理如图 9.3.4—10 所示。它由同步电机经过减速齿轮带动凸轮轴转动，于是若干个凸轮依次使微动开关动作，控制时序回路的电路，改变凸轮的相对位置可调整微动开关接通和断开时刻。

2）无触点式时序控制器

无触点式开关是利用晶体管的开关特性，使晶体管工作在饱和或截止状态，从而控制继电器通电或断电。延时作用是用电容充放电原理组成的 RC 延时环节来实现的，其工作原理如图 9.3.4—11 所示。

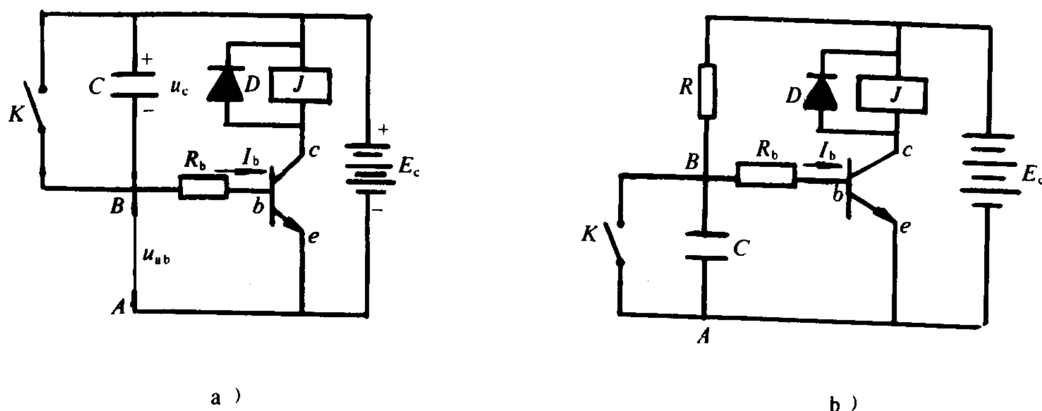


图 9.3.4—11 晶体管开关延时电路

a）延时释放开关电路；b）延时吸合开关电路

图 9.3.4—11a）为单管延时释放开关电路。当开关 K 闭合时，它将电容 C 短路，三极管导通，继电器 J 立即通电动作。当开关 K 断开时，电源立即向电容 C 充电，由于电容两端电压不能突变，开始时 $u_c=0$，$u_{ab}=Ec$，这时三极管工作状态与 K 闭合时相同。但是，随着电容 C 的充电，电容两端电压 u_c 逐渐升高，u_{ab}逐渐降低。三极管集电极电流随之减少。经 7s 延时后，流

过继电器J电流不足以使继电器保持通电状态，继电器J释放。延时时间的长短取决于电路的时间常数Rb·C及继电器释放电流的大小。改变R_b和C可调整延时时间。

图9.3.4－11b）为单管延时吸合开关电路，当K闭合时，电容C被短路，晶体管截止，继电器J释放。当K断开时，电容C充电，晶体管集电极电流逐渐增大，经7s延时，晶体管导通，继电器J通电吸合，延时吸合时间可通过改变R_b和C进行调整。

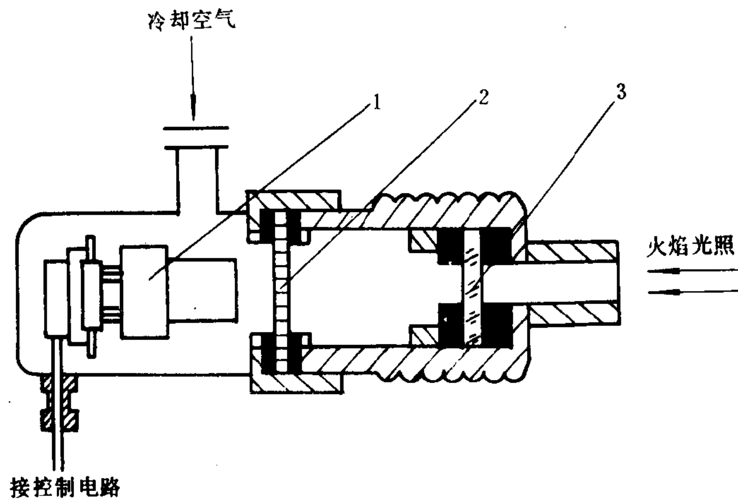


图9.3.4－12　光敏电阻火焰感受器结构原理
1－光敏电阻；2－磨砂玻璃；3－耐热玻璃

晶体管延时开关的延时时间从小于1s到几十分钟，可以实现时间的无级调整。

3.2.3　火焰感受器

火焰感受器用来监视炉膛内有无火焰。当喷油后没有点着火，或在正常燃烧时中间熄火，为避免向锅炉继续喷油引起故障，要求立即关闭燃油电磁阀停止供油。火焰感受器常用的有光敏电阻，光电池和紫外线灯泡。

1）光敏电阻火焰感受器

光敏电阻火焰感受器结构原理如图9.3.4－12所示，它的伏－安特性如图9.3.4－13所示。

光敏电阻由涂在透明底板上的一片光敏层，经金属电极引出线而构成的(见图9.3.4－13)。光敏层是铊、镉、铅等一些硫化物或硒化物。它的特性是，有光照射比无光照射时其电阻值小得多。当光敏电阻两端加相同电压时，有光照射比无光照射流过光敏电阻的电流大得多。

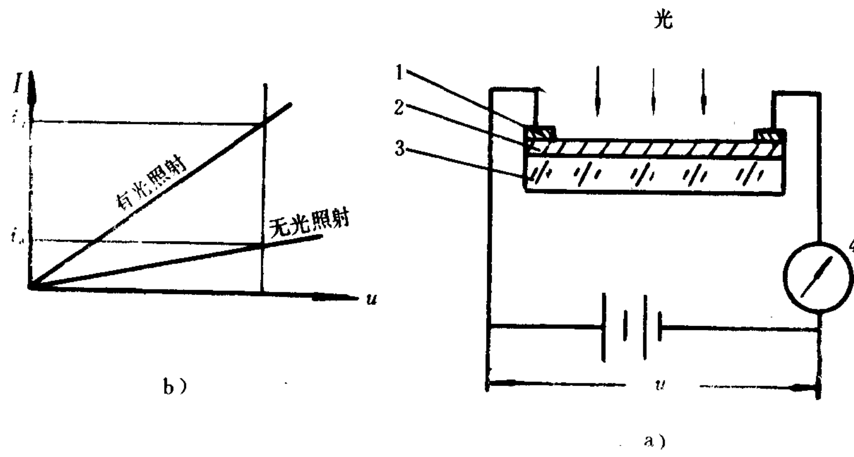


图9.3.4－13　光敏电阻及其特性
1－金属电极；2－光敏层；3－透明底板；4－电流表；u－外加电压；i_1－暗电流；i_2－亮电流

光敏电阻不能承受高温，否则会影响使用寿命。所以光敏电阻火焰感受器要加散热片并用空气冷却。在安装时要避免高温炉墙辐射线的可见光和红外线直接射到光敏电阻上，否则会使

光敏电阻动作延迟或误动作。

2)光电池

光电池实际上是一种半导体材料。有光照射时,两电极之间产生电压。图 9.3.4—14 为光电池的控制电路。RAR 型光电池在光照射下会在正负两极之间产生小于 1V 的电压,而 2CR11 型光电池在光照射下会产生 0.5V 的电压。它们分别经磁放大器和晶体管放大器放大,足以使继电器 J 动作。光电池使用寿命长,而且它的光谱敏感范围仅限于可见光而不透紫外线,适用于炉膛内的火焰监视。

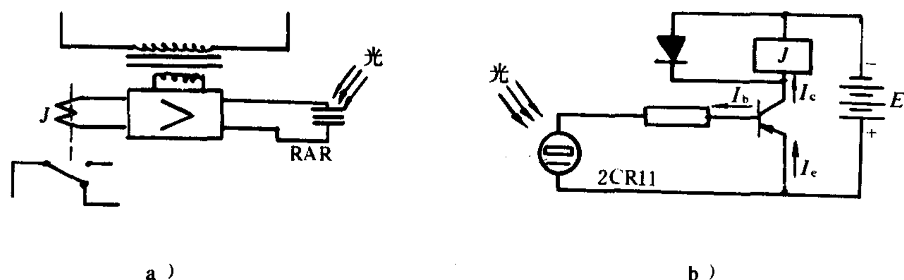


图 9.3.4—14　光电池控制原理

a)用 RAR 型硒光电池作为光敏元件的磁放大电路;

b)用 2CR11 型光电池作为光敏元件的晶体管放大电路

3)紫外线灯泡

紫外线灯泡属于光电管一类。它的结构原理如图 9.3.4—15 所示。

管泡是用能透过紫外线的石英玻璃制成,管泡内充满惰性气体,两个电极对称布置。当阴极接受足够数量的紫外线时,就有光电子放射出来。在外电场作用下,光电子加速运动,使惰性气体电离,管子导通。无光时,紫外线管截止,紫外线管的优点之一是不受高温炉墙幅射的影响,它的特性较光敏电阻为好。

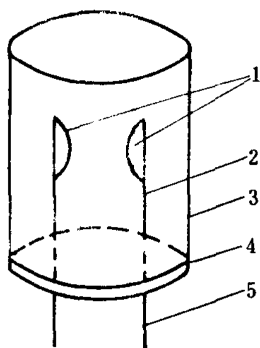


图 9.3.4—15　紫外线灯泡结构原理

1—电极;2—引线;3—透紫外线的玻璃管泡;4—管座;5—管脚

3.3　辅锅炉时序控制系统

各种辅锅炉燃烧时序控制系统的具体形式和线路是千差万别的,但它所实现的逻辑功能是基本相同的。即启动锅炉的准备工作完成以后,按复位按钮或启动按钮,辅锅炉自动时序控制就会按图 9.3.4—7 的框图进行。图 9.3.4—16 是 LAE1 型辅锅炉时序控制电路图;图 9.3.4—17 是该控制系统的开关时间表。图中符号说明如下:

SM——时序控制器同步电机,转一周需 2min;

I～XIII——SM 带动的 13 个微动开关,各微动开关触点 a 或 b 闭合、断开时间见图 9.3.4—17;

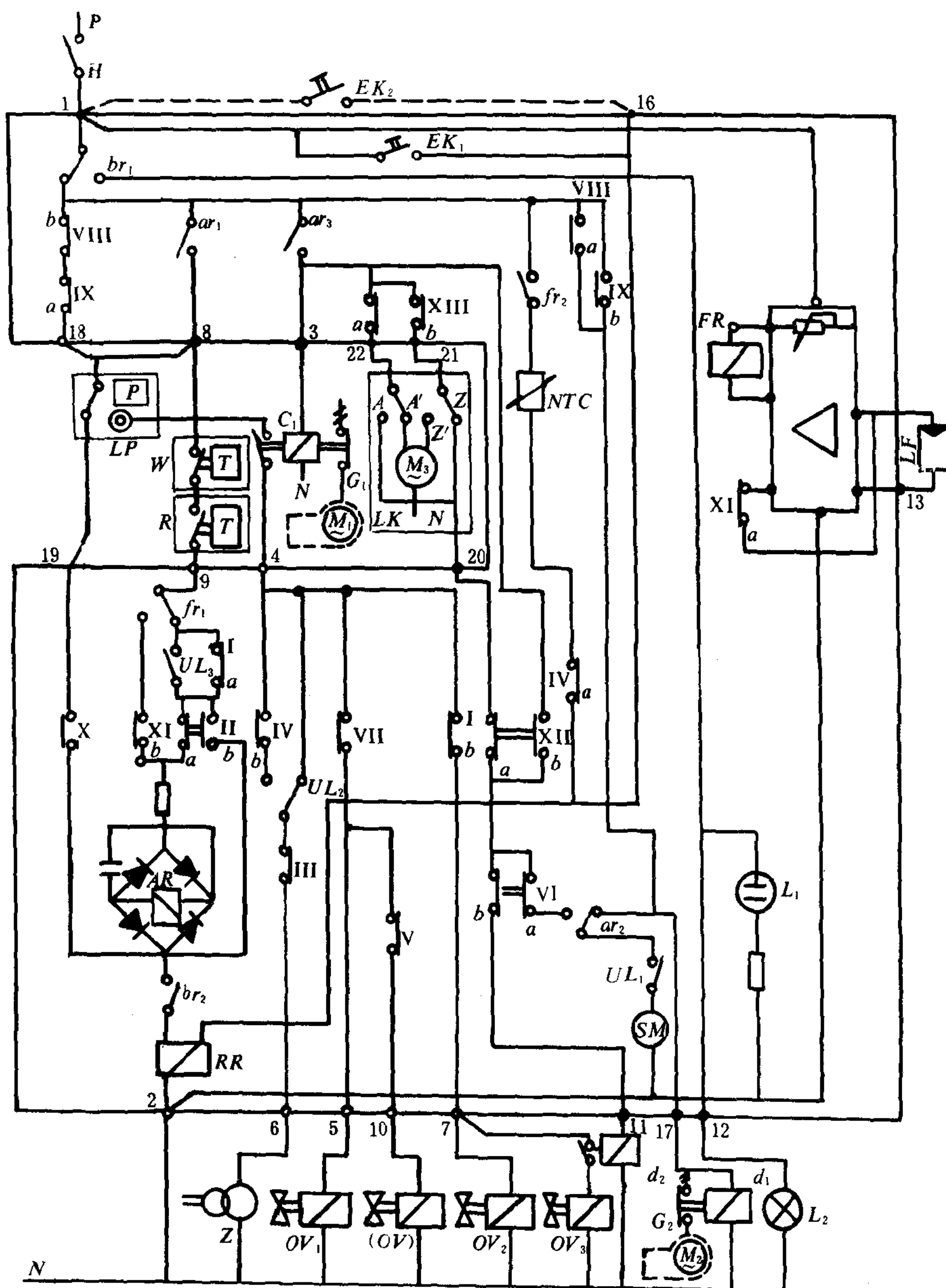


图 9.3.4—16　LAE1 型辅锅炉燃烧时序控制电路

c_1—控制油泵电机 M_1 运转的继电器；

d_1—控制风机 M_2 运转的继电器；

d_2—控制"高火燃烧器"工作的继电器；

LP—风压检测器，风压正常时右边触头闭合，否则左边触头闭合；

FR—火焰感受器继电器，炉膛内有火焰通电动作；

L_2—故障停炉报警指示灯；

LK—由风门电机带动的风门开度调节装置；

EK_1—复位按钮，启动锅炉时必须先按 EK_1；

BR—锁定继电器，停炉时继电器 BR 断电，按 EK_1 后通电动作；

AR—负荷继电器。锅炉启动后等 SM 转到启动位置时，继电器 AR 通电动作；

W、R—分别为锅炉危险低水位和蒸汽压力过高的检测开关，不是危险低水位或不是蒸汽压力过高时，对应的开关闭合；

Z—点火电极；

OV_1—点火燃油电磁阀；

(OV)—轻油点火电磁阀；

OV_2—"低火"燃烧燃油电磁阀；

OV_3—"高火"燃烧燃油电磁阀。

LAE1 型辅锅炉时序控制动作见表 9.3.4—1。

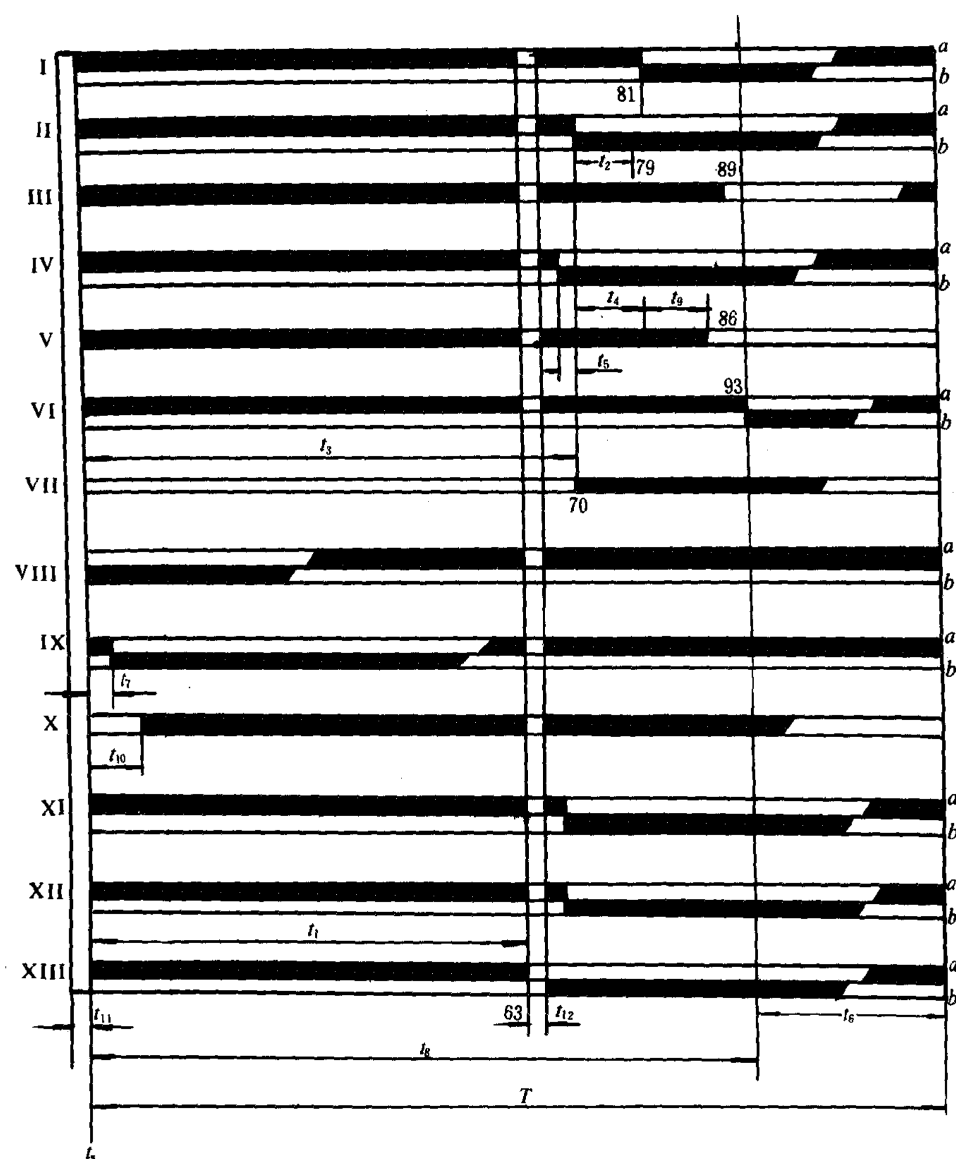


图 9.3.4—17 LAE_1 型辅锅炉燃烧时序控制开关时间表

表 9.3.4—1

LAE1 型辅锅炉燃烧时序控制过程

操作名称	手动操作	SM 位置	微动开关状态	有关继电器及触头工作状态		功　　能
启　　动	按 EK_1	上次停炉 SM 在任意位置	VIII_a、IX_b 至少有一个闭合	BR 通电动作，br_1 合于左 br_2 闭合		SM 转到启动位置，即微动开关断、合情况是处于时间表中最左边位置
开大风门，为预扫风作准备		SM 在启动位置 t_a	VIII_b 闭合，IX_a 闭合，I_a 闭合，II_a 闭合，VI_a 闭合，XII_a 闭合，XIII_a 闭合	炉膛内无火焰继电器 F_R 断电释放，fr_1 合于右，fr_2 断开，AR 继电器通电动作，ar_1、ar_3 合于右，ar_2 合于左		ar_3 合于右，继电器 C_1 通电，启动燃油泵 M_1，又为点火作准备，XIII_a 闭合，风门电机 M_3 向开大方向转动，其通电电路：电源 P→br_1 左→ar_3 右→A'→M_3→N(接地)。当风门开到最大位置时，限位开关从 A'断开，合于 A，Z 断开合 Z'。在风门开大过程中，SM 停转，其时间为 t_{11}
启动鼓风机进行预扫风		风门开到最大位置 SM转动，其通电电路：P→br_1 左→ar_3 右→接线点 22、A→接线点 20→XII_a→VI_a→ar_2 左→SM→N。当 SM 处在 3s 到 63s 时	IX_a 断开，IX_b 闭合	继电器 d_1 通电动作，触头 G_2 闭合		启动鼓风机 M_2 进行预扫风，预扫风从 SM 在 3s 位置开始一直进行到 63s 共 60s
关小风门准备点火		63s＋t_{12}	XIII_a 断开 XIII_b 闭合			风门电机 M_3 向关小风门的方向转动，其通电电路：P→br_1 左→ar_3 右→XIII_b→接线点 21→Z'→M_3→N。当风门电机带动风门转至最小时，A 断开，合于 A'，Z'断开合于 Z，在风门关小过程中 SM 停转，时间为 t_{12}

续上表

操作名称	手动操作	SM 位置	微动开关状态	有关继电器及触头工作状态		功　　能
2. 中途熄火		93s		II_b 闭合，炉膛内有火焰，FR 通电 fr_1 合于左，若中途熄火 FR 断电 fr_1 合于右	故障排除后需按复位按钮 EK_1，使 BR 通电方能再起动	因在 93s 处，VIII_b 断开，I_a 断开，继电器 AR、BR 都断电。BR 断电 br_1 合于右，控制系统断电，故障停炉，故障指示灯 L_2 亮
3. 预扫风时建立不起来风压		$t_{11}+t_{10}\sim t_{11}+t_{10}+9s$	X 闭合		故障排除后需按复位按钮 EK_1，使 BR 通电方能再起动	从预扫风开始后 3s 开始 X 闭合，若风压建立起来，风压检测开关 LP 合于右，若没有建立起来合于左。这时，二极管桥式整流电路被旁路，AR 断电，在 9s 内风压建立起来 LP 合于右，AR 继续通电。程序照常进行，若在 9s 内风压建立不起来 AR 触头动作 ar_1、ar_3 断开，ar_2 合于右，切断控制电路电源，BR 断电 br_2 断开，br_1 合于右，故障指示灯亮
4. 其它：蒸汽压力太高。鼓风机失灵下位下降到危险低水位等		93s			故障排除后，需按复位按钮 EK_1，使 BR 通电，方能再起动	燃烧锁定继电器 BR 断电，br_1 合于右，切断控制电源自动停炉，故障指示灯 L_2 亮

续上表

操作名称	手动操作	SM 位置	微动开关状态	有关继电器及触头工作状态		功　　能
正常燃烧		93s	V_{Ia}断开，V_{Ib}闭合			①SM 停在 93s 位置，在正常燃烧时 SM 不转动。②打开燃油阀 OV_3 表明正常燃烧阶段的开始。③在此阶段风门电机的转向受蒸汽压力开关的控制，压力低于下限整定值，接线点 22 与电源接通电源，电机 M_3 带动风门朝开大方向转动，同轴所带动的回油阀关小进行"高火"燃烧。当汽压上升至上限整定值时，接线点 21 接通电源，电机 M3 带动风门朝关小的方向转动，同轴带动的回油阀开大，进行"低火"燃烧
故障 1. 点火失败		70～79s	VII 闭合，II_a 断开 II_b 闭合	IIb 闭合，二极管桥式整流电路 AR 断电，若 9s 钟内炉膛无火焰，FR 仍断电 fr 仍合于左，AR 仍然断电	故障排除后需按复位按钮 EK_1 使 BR 通电方能再起动	继电器 AR 断电超过 9s，触头动作：ar_1、ar_3 断开，因此时 VIII_b 与断开所以整个控制电路与电源断开，油泵、鼓风机停转、燃油阀全关闭，即故障停炉，此时锁定续电器 BR 断电，br_1 从左面断开合于右面，故障指示灯 L_2 亮

续上表

操作名称	手动操作	SM 位置	微动开关状态	有关继电器及触头工作状态		功　　能
预点火		$63s+t_{12}+t_{13}$到$63s+t_{12}+t_{13}+t5$	XII、XI　IV 同时从 a 断开合于 b			①XII_a断开，XIIb 闭合，切除风门电机限位开关 A、Z 对 SM 的控制，因此时VI_a闭合，所以 SM 继续转动 ②XI_b闭合为监视炉膛火焰作准备，IV_b闭合，点火变压器 Z 通电 ③在预点火时，燃油电磁阀全部关闭，预点火时间为 3s
点火		70～89s	VII 闭合，II_a断开，II_b闭合	II 从 a 断开合于 b，二极管桥式整流电路被旁通继电器 BR 继续通电，继电器 AR 断电，其触头ar_1～ar_3延时 9s 动作，在点火 9s 内炉膛有火焰，FR 通电fr_1合于左，AR 继续通电		①开关UL_2合于右，从预扫风开始就点火(点火变压器 Z 通电点火电极打出电火花)开关UL_2合于左，点火从IV_b闭合时开始点火(包括预点火)称为“短点火”。 ②VII 闭合，V 闭合，同时打开轻油阀(OV)和燃油阀OV_1，用电火花点燃轻油油头喷出的轻油，再点燃引火油头喷出的燃油，喷油量较少，对锅炉进行预热。 ③到 81s，I_a断开，I_b闭合，打开燃油阀OV_2，加强燃烧强度 ④86s 时 V 断开，轻油燃烧器的工作 ⑤到 89s，III 断开切除点火变压器的工作，点火结束

第五章　油船主锅炉控制系统

在采用以柴油机为动力装置的大型油船中，其主锅炉的结构和工作特点与辅锅炉类似。它所产生的蒸汽用来加热货油，驱动甲板机械，如货油泵、锚机、绞缆机等。故要求主锅炉的蒸发量比较大，蒸汽压力比较高。为保证主锅炉经济、安全、可靠的工作，它在运行时水位和汽压应保持稳定。因此，这种锅炉的控制与小型辅锅炉相比又有一些不同。

1　油船主锅炉自动控制系统的组成

油船主锅炉自动控制系统是由水位和燃烧等自动控制系统组成。图 9.3.5—1 为油船主锅炉自动控制系统的简图。图中各标号所代表的元件或设备的名称和功用见表 9.3.5—1。

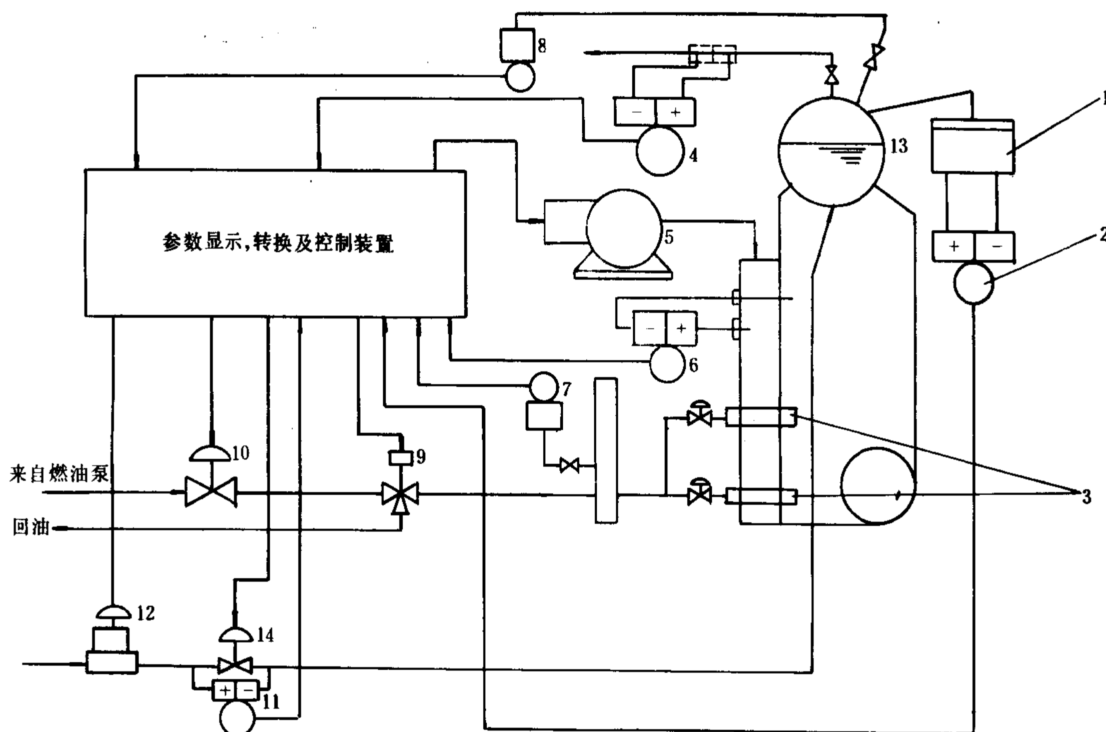


图 9.3.5—1　油船锅炉自动控制系统简图

2　水位自动控制系统

油船主锅炉水位要求定值控制。当主锅炉负荷变化时，控制系统能使锅炉水位保持在给定值。为实现无差控制，水位控制系统中往往采用比例积分调节器。

表 9.3.5—1　　系统功能表

标号	名　称	功　用	备　注
1	参考水位罐	测量水位，把锅炉水位的变化转变为毫米水柱压差信号	用于气动控制
2	差压变送器	把锅炉水位的变化按比例转换成标准的气压信号	
3	燃烧器	一台锅炉可能有几个燃烧器，向锅炉喷油燃烧	
4	蒸汽流量差压变送器	检测锅炉负荷的变化，作为水位控制的前馈信号	
5	鼓风机供风装置	向炉膛送入燃烧所需的空气量，并要保持合适的风油比	
6	空气压力变送器	检测风道和炉膛内的压力差，该值与送风量成正比	
7	燃油压力变送器	检测燃烧器前燃油压力，在某一负荷下其燃油压力保持不变	
8	蒸汽压力变送器	把蒸汽压力转变为统一信号，作为控制供油量和送风量的依据	
9	三通电磁阀	锅炉点火燃烧时打开。锅炉不工作时关闭，燃油在锅炉外循环	
10	燃油量控制阀	根据锅炉的负荷改变其开度，从而改变喷油量	
11	给水差压变送器	检测给水阀 14 前后压差，并输出成电例的信号	
12	给水泵	根据给水差压信号改变转速，保证给水阀前后压差不变	
13	锅　炉	保证产生所需要的蒸汽量和保持蒸汽压力	
14	给水调节阀	根据锅炉负荷改变阀的开度，从而改变进入锅炉的给水量	

2.1　双回路控制

当锅炉负荷变化时，水位出现偏差。水位控制系统将根据偏差的方向和大小改变给水阀的开度，从而改变进入锅炉的给水量，消除偏差，使水位逐渐回到给定值。但是，进入锅炉的给水量 G 不仅与给水阀的流通面积有关，而且还与给水阀前后压差 ΔP 有关，它们之间的关系是

$$G=\mu F\sqrt{\Delta P}$$

式中 μ 是流量系数，通常它是个常数。从上式可知，只有在 ΔP 不变的情况下，给水量 G 才与给水阀开度 F 成比例。对用蒸汽往复泵做给水泵来说，如果不改变往复泵每分钟往复次数，往复泵的排量基本不变，改变给水阀开度只是改变了给水阀前后压差，而给水量基本不变。因此，锅炉水位控制需要两个控制回路：一个是根据水位偏差调节给水阀开度的水位控制回路。二是根据给水阀前后压差来改变给水泵的转速，维持给水阀前后压差恒定的给水差压控制回路。双回路水位控制原理如图 9.3.5—2 所示。

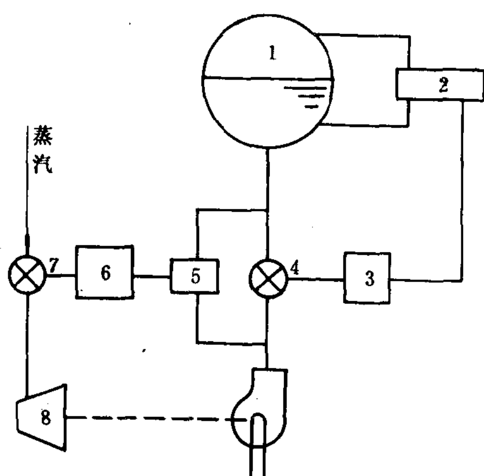


图 9.3.5—2　双回路水位控制原理

1—锅炉；2—水位检测变送单元；3—水位调节器；4—给水调节阀；5—给水差压检测变送单元；6—给水差压调节器；7—蒸汽调节阀；8—汽轮机给水泵

双回路水位控制系统的控制过程如下：

蒸汽量↑→水位↓→给水调节阀开度↑→蒸汽调节阀开度↑→ 给水压差 给水量↑→ 水位↑
(负荷) 给水压差↓ (恢复给定值) (恢复给定值)

2.2 双冲量控制

锅炉在运行时，锅水中含有一部分汽泡。现代锅炉水面下的汽泡总量可能占到全部水容积的15%～20%。当锅炉负荷突然增大时，由于汽压下降，一方面汽泡比容增大，另一方面锅水变成过热水而产生自蒸发现象，这样水面下汽泡总容量会大大增加。这时，尽管流出的蒸汽量大于给水量，水位会虚假的上升。相反，在锅炉负荷突然减小的短时间内，锅炉水位会虚假的下降。因此，仅根据锅炉水位来调节给水阀开度的单冲量水位调节，在负荷变动的短时间内，会使蒸汽流量与给水流量之间的差值增大。为了克服单冲量水位控制的缺点，有的船用锅炉采用双冲量的水位控制。它的检测装置有两个，一个检测水位的变化，得到水位冲量。另一个检测蒸汽流量的变化，如图9.3.5—1中的4，得到蒸汽流量的冲量。这两个冲量信号都送到双冲量调节器中。在锅炉负荷变化短时间内，蒸汽冲量信号能使给水阀正确动作。双冲量水位控制原理如图9.3.5—3所示。

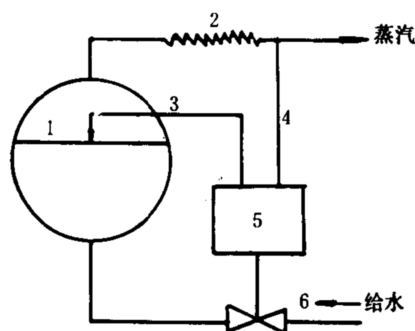


图9.3.5—3 双冲量水位控制原理
1—锅炉；2—过热器；3—水位冲量信号；4—蒸汽流量冲量信号；5—双冲量调节器；6—给水调节阀

双冲量水位控制主要用于蒸汽压力高，负荷变动大，锅炉的水容量相对较小的锅炉水位控制。

2.3 锅炉水位的检测和变送

为了实现锅炉水位的定值控制，必须对锅炉水位进行连续检测，检测锅炉水位的方法很多，在气动控制系统中普遍采用参考水位罐，其工作原理如图9.3.5—4所示。参考水位罐上部空间与锅炉汽空间相通，测量水位管3与水空间相通，测量管液面与锅炉水位一致。由于蒸汽在参考水位罐中不断凝结，参考水位罐的水位保持在测量管口处不变，叫参考水位。调整参考水位使与锅炉允许的最高水位一致。这样参考水位管与测量水位管之间的水位压差Δp就是锅炉最高水位与实际水位的差值。锅炉水位升高时，Δp减小；水位下降时，Δp增大，Δp的大小反映了水位的高低。所以参考水位罐的作用是把锅炉水位的变化转变为压差信号Δp的变化。

参考水位罐的测量水位管和参考水位管要分别接到差压变送器的正、负压室，以便把反映水位高低的压差信号Δp转变为标准的气压信号19.6～98.1kPa输出，一方面送到显示仪表，指示水位的实际值，另一方面送到调节器作为水位的测量信号。

图9.3.5—5示出单杠杆差压变送器的结构原理图。差压变送器的测量信号是$\Delta p = p_1 - p_2$。$\Delta p = 0$(即$p_1 = p_2$)时，差压变送器的输出$p_{出} = 19.6$kPa，它是通过调零弹簧9改变挡板1对喷咀2的初始开度来实现。当Δp达到最大值时，$p_{出} = 98.1$kPa，它是通过上下移动反馈波纹管来实现的。上移波纹管增大量程，下移波纹管减小量程。

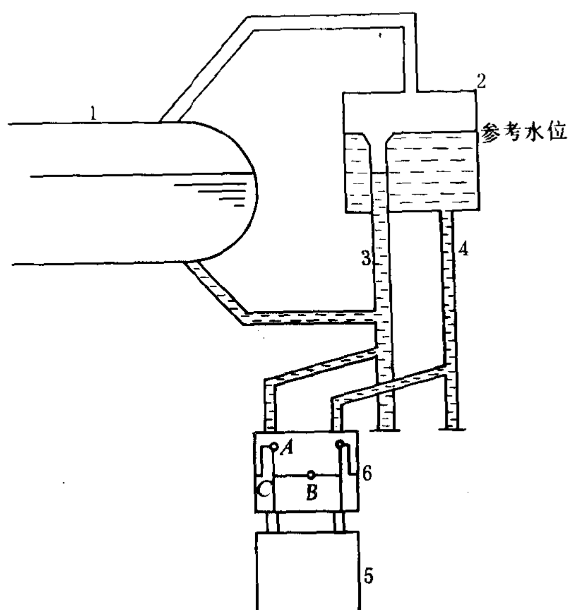


图 9.3.5—4　参考水位罐测量水位装置

1—锅炉；2—参考水位罐；3—测量管；4—参考水位管；5—差压变送器；6—阀箱

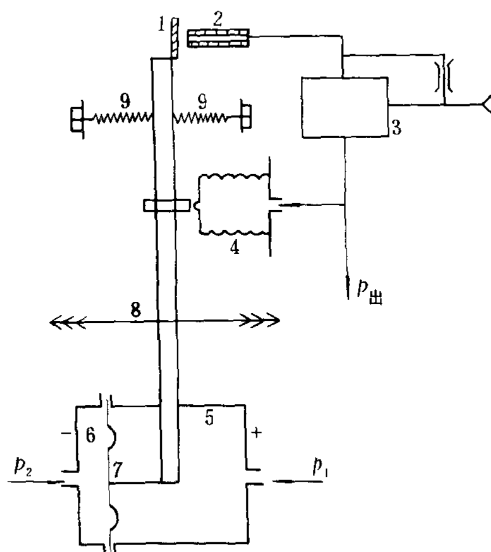


图 9.3.5—5　单杠杆差压变送器的结构原理

1—挡板；2—喷嘴；3—放大器；4—反馈波纹管；5—正压室；6—负压室；7—测量膜盒；8—密封弹簧片支点；9—调零、迁移弹簧

如果把参考水位管接在正压室，把测量水位管接在负压室，这样差压变送器正压室压力高于负压室，这是差压变送器正常工作情况。但是，这时随着水位的升高，Δp 会减小，差压变送器的输出 $P_出$ 也会减小，这会给人们造成错觉。因此，这种接法是不合适的。另一种接法是把测量水位管接在正压室，把参考水位管接在负压室，这时 Δp 是负值。在一般情况下差压变送器是不会有输出的。假定锅炉最低和最高水位相差 600mmH_2O，那么当锅炉处于最低水位时，Δp＝－600mmH_2O。这时可用迁移弹簧 9 拉动主杠杆使挡板 1 靠近喷咀 2，直到 $p_出$＝19.6kPa 为止，即把 Δp＝0 变送器输出 p 出＝19.6kPa 迁移到 Δp＝－600mmH_2O 时使变送器输出 $p_出$＝19.6kPa。这就是迁移原理，迁移量是－600mmH_2O。迁移后，随着水位的上升，Δp 的负值减小，$p_出$ 增大。当 Δp＝0 时，锅炉水位达到最高水位，$p_出$＝98.1kPa。在锅炉水位控制中，变送器的迁移后特性如图 9.3.5—6 所示。

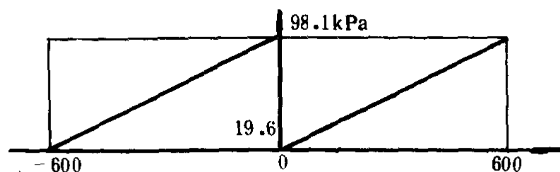


图 9.3.5—6　变送器的迁移后特性

2.4　水位控制系统实例

图 9.3.5—7 为双回路水位控制的一个实际系统，图中各标号的名称和作用见表 9.3.5—2。

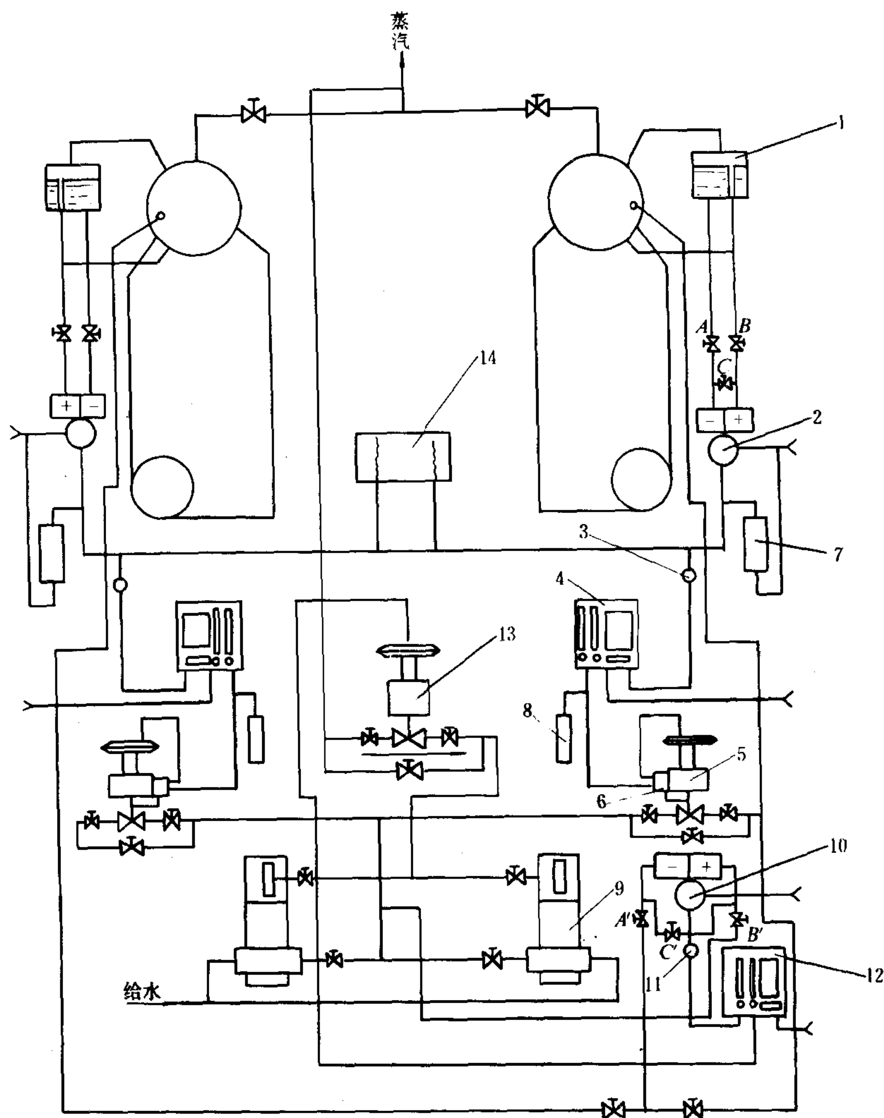


图 9.3.5—7　油船锅炉水位控制系统

3　油船锅炉燃烧控制系统

在锅炉燃烧控制系统中，蒸汽压力是被控量，蒸汽压力调节器叫主调节器。这个调节器接受汽压的偏差信号并输出一个控制信号改变进入炉膛的燃油量和空气量。为保证锅炉中燃油完全燃烧，在改变喷油量的同时要求改变进入炉膛的空气量。事先可设定在某一个喷油量下，喷油器前应保持多大的风压。空气压力调节器根据喷油量来调节风压，从而保证向炉膛供给相应的空气量。为使喷油器喷出的燃油处于雾化状态，系统还应设有燃油温度和燃油压力控制系统。油船锅炉燃烧控制系统框图如图 9.3.5—8 所示。由图可见，锅炉燃烧自动控制系统是由两个控制系统组成的。第一个控制蒸汽压力，通过控制喷油量维持锅炉蒸汽压力不变，它是定值控制系统。第二控制空气压力，它的给定值是随喷油量变化的，按预先设计好的空气和油之间的函数关系控制进入锅炉的空气压力。

表 9.3.5　2　**锅炉水位控制系统说明**

标号	名称	功　能	管　理　要　点
1	参考水位罐	把锅炉水位的变化转变为毫米水柱的压差信号送至差压变送器 2	参考水位罐与差压变送器之间的管路，每月要冲洗一次，冲洗时，先打开平衡阀 C，使差压变送器膜片两边压力相等，然后关闭截止阀 A、B，松开正、负压室管接头，并将管路稍向外弯开，再慢慢开启截止阀 A、B 等蒸汽从管路冲出后关闭截止阀，再将管路接到正、负压室，开启 A、B 关闭 C，等一段时间，正、负压室方会建立正常的压差信号
2	水位差压变送器	把水位的压送信号成比例地转变为标准的气压信号 19.6～98.1kPa 对差压变送器要进行负迁移，迁移量为最高和最低水位之间的毫米水柱	
3	阻尼元件	由节流阀和气容串接而成，用它滤掉由于船舶摇摆所引起的水位波动信号	通过调整节流阀的开度调整阻尼元件的时间常数，使之对应于船舶摇摆周期(10s 左右)，若在船舶摇摆时，发现阀位指针有较大的波动，应关小节流阀，若正常工作时水位变化后，阀位指针变化很慢或不变化，说明节流阀或管路堵塞，应用通针或压缩空气冲洗节流阀和管路
4	气动调节器	PI 调节作用。输入信号是水位的偏差信号，即为调节器内部给定值的气压信号与差压变送器输出的与实际水位成比例的气压信号相比较得到的，调节器输出一个控制信号送到阀门定位器 6	系统投入工作后，比例带和积分时间调整盘不要轻意扭动，确实发现水位控制不理想如水位波动太大，或出现偏差后回复到给定值太慢，可先调比例带，注意观察水位变化，比例带调好后再调积分时间，积分时间宁大勿小。若发现水位在稳态时高于或低于给定值，可通过调节调节器内部给定值使水位能稳定在给定值上
5	给水调节阀	采用气关式。膜片上面的气压信号达最大值时阀全关，压力达最小值时阀全开，在出现气源中断或其它故障时，保证阀全开，防止给水中断	若阀门指针不能正确定位或波动较大，可能膜片损坏或阀杆因摩擦过大使运动受阻甚至卡住，需要拆卸修复
6	阀门定位器	调节器输出信号送至阀门定位器，定位器输出的气压信号变化范围较大，能克服阀杆因摩擦而产生的卡牢现象，较大的气压信号迫使阀杆带动阀盘移动，在移动过程中通过负反馈来实现阀门的正确定位。	若阀门开度指针不能正确定位，可能是定位器失灵，如气路堵塞、弹簧断裂、波纹管接头松动等，需拆卸修复

续上表

标号	名称	功能	管理要点
7	水位指示仪	指示实际水位的高低，当水位高于最高水位或低于最低水位进行报警	
8	阀位指示仪	调节器输出信号实际上与阀位的开度成比例，阀位指示仪的开度应与阀门上开度指针相一致。	若开度不一致说明阀门定位器出现故障，若阀位指示仪指针波动太大，或指针不动说明调节器出故障，需修复
9	蒸汽往复给水泵	向锅炉供水，	
10	给水差压变送器	正、负压室分别接给水阀前后压力管，检测压差，当压差为零时变送器输出为19.6kPa，当压差信号达最大值时，输出为98.1kPa	定期清洗正负压室的测量管，清洗方法与水位差压变送器冲洗方法相似。注意截止阀A、B和平衡阀C的操作顺序
11	阻尼元件	对给水压力波动信号起滤波作用	同阻尼阀3
12	气动调节器	PI调节作用。输入量是给水差压的偏差信号，即给定的差压值与实际给水差压值相比较得到的。它输出一个控制信号送到蒸汽调节阀13	参考气动调节器4
13	蒸汽调节阀	气关式，参看给水调节阀5	若调节阀有卡牢等现象，可手动调节使阀杆上、下活动数次，再把手动手柄旋至最高位置若经手操作后仍不能使阀正常工作需拆卸修复
14	气动双针记录仪	记录锅炉水位变化过程，画出波动曲线	

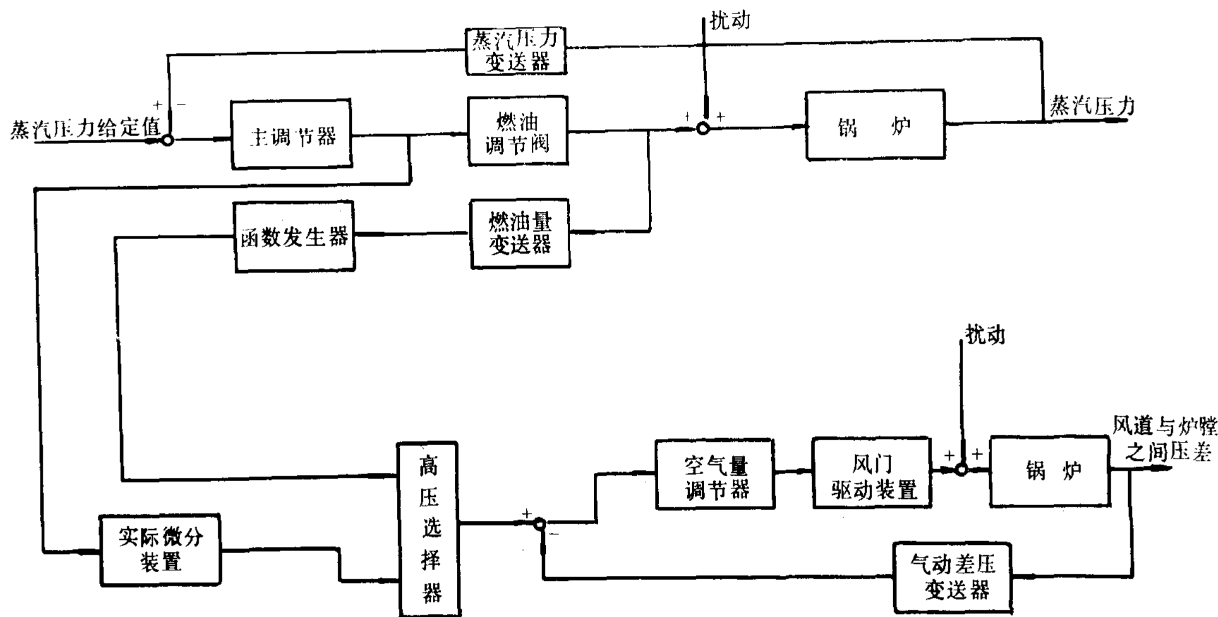


图 9.3.5—8 锅炉燃烧自动控制系统方框图

4 燃烧过程的控制

主调节器一般采用比例积分 PI 调节器，其输入是蒸汽压力的偏差信号(设定的蒸汽压力的气压信号，例如 58.8kPa，它与锅炉实际汽压经压力变送器输出的 19.6～98.1kPa 相比较得到的)。经 PI 控制作用输出一个控制信号送到燃油调节阀，从而可根据锅炉负荷改变喷进锅炉的燃油量。改变进入锅炉的燃油量有三种办法。

4.1 燃油量调节方式

1)根据负荷改变投入工作的喷油器个数。低负荷只有 1～2 个喷油器投入工作，高负荷时增加投入工作的喷油器个数。这种喷油器的调节方法及所对应的喷油曲线如图 9.5.3—9 所示。圆杯形转阀开有两个孔，它由一个总的扇形齿轮传动装置与调节器的伺服器相连的传动杆转动。转阀外面的套筒也有两个孔，哪个转阀的两个孔与套筒上的两个孔相配合，哪个喷油器就向炉膛喷油。当锅炉负荷最高时，所有喷油器均投入工作。图 b)画出了喷油量 F_0、喷油前的压力 p 与转阀转动角度之间的关系。由图可见，当接通一个喷油器时，喷油前的压力会暂时下降。经 b、c 管检测油压的变化并经燃油压力调节器的控制作用，使喷油器前的燃油压力又恢复到额定压力。

2)通过改变燃油压力来改变喷油器的喷油量。燃油在喷油器中的流动是紊流，其喷油量与喷油器前后压差成平方根的关系。

$$F_0 = \zeta\sqrt{\Delta p} = \zeta\sqrt{p}$$

式中 ζ 为流量系数，它与喷油器的流通面积、管路的阻力及燃油的比重等因素有关。p 为燃油压力(因炉膛内的压力与燃油压力相比很小可略去不计，所以 Δp=p)。从上式可知，燃油量 F_0

增大一倍(乘 2),燃油压力要成平方的增加(乘 4),这往往受到燃油泵输出压力的限制,因此这种喷油器喷油量的调节幅度较小。

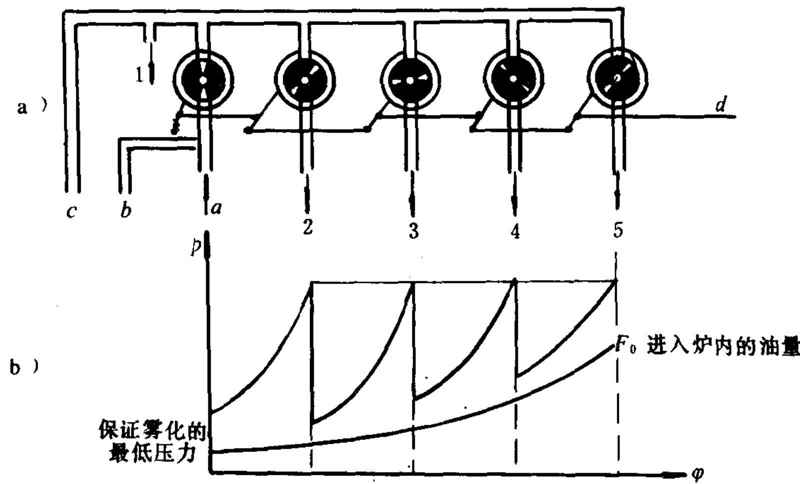


图 9.3.5—9 控制喷油器工作个数的调节机构及工作特性

a)顺次接通喷油器的调节机构;b)燃油量、油压与转阀转角的关系曲线 a—燃油泵来的燃油;b、c—接燃油差压变送器;d—伺服机构传动杆 1,2,3,4,5—去被顺次接通的喷油器。

3)通过改变喷油器涡流室的回油量来控制进入炉膛的喷油量。与第一种办法相似,不过它有一、两个可调喷油器,其余都是不可调喷油器。当根据锅炉负荷顺次接通不可调喷油器时,为防止进入炉膛的燃油量突然增大,可从可调喷油器的涡流室中回流一部分燃油。以后随着负荷的增大,回油量减小,喷油量增大,直到回油量为零。

在油轮锅炉喷油量控制中,采用第一种办法较多。

4.2 空气量调节器和空气量控制机构

空气量调节器一般采用比例积分调节器。调节器的输出信号控制进入炉膛的空气量。调节器的输入量是空气量的偏差值,这个偏差值是由空气量的给定值与送入炉膛空气量的实际值相比较而得到的。空气量的实际值由风道与炉膛内的压力差来反映,它经差压变送器送出一个与之成比例的气压信号。空气量原给定值是随喷油量而变化的,这种变化关系是按预先设计好的函数关系进行的。

4.2.1 函数发生器

由实验测定,为保证完全燃烧和适当的过量空气,空气压力(空气量)与燃油量之间的最佳关系曲线如图 9.3.5—10 所示,空气压力与喷油量之间近似于平方关系。

函数发生器的输入信号是燃油量变送器输出的气压信号。函数发生器的输出信号是与输入信号(油量)成平方关系的气压信号,这一信号作为空气量调节器的给定值。函数发生器结构原理如图 9.3.5—11 所示。

燃油量变送器的输出信号也就是函数发生器的输入信号。当喷油量为零时,这一信号应为 19.6kPa。通过调零弹簧的螺钉 2 使函数发生器的输出为 19.6kPa。随着喷油量的增加,函数发生器的输入信号增大,靠预先设计好的凸轮外形,保证函数发生器的输出与输入信号之间成平方关系。当喷油量达到最大时,通过调整量程调整螺钉 3,改变 A 点的上、下位置使函数发生器输出信号为 98.1kPa。

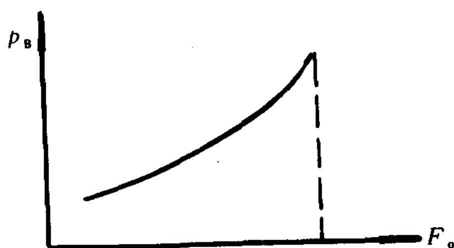


图 9.3.5—10　空气压力随喷油量的变化曲线

P_B—空气压力；F_0—燃油量

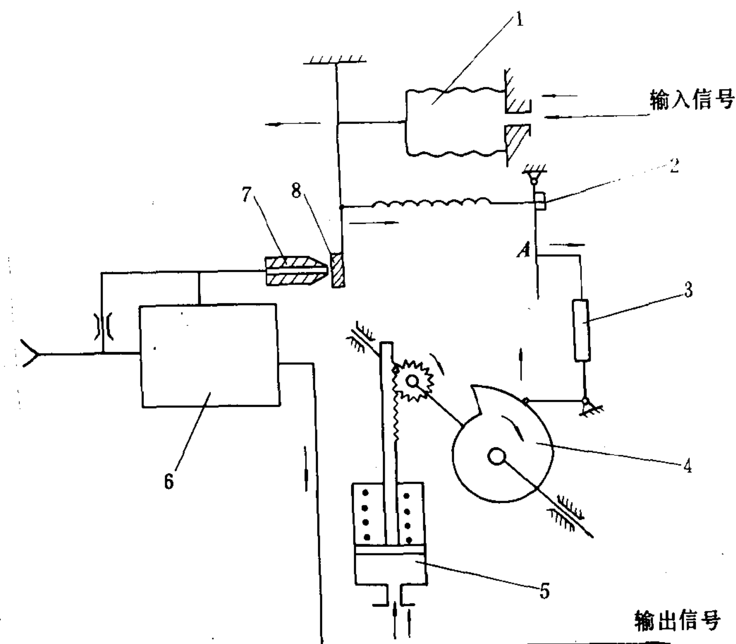


图 9.3.5—11　函数发生器结构原理

1—测量波纹管；2—调零螺钉；3—调量程螺母；4—反馈凸轮；5—反馈气缸；6—气动功率放大器；7—喷嘴；8—挡板

4.2.2　实际微分环节及高压选择阀。

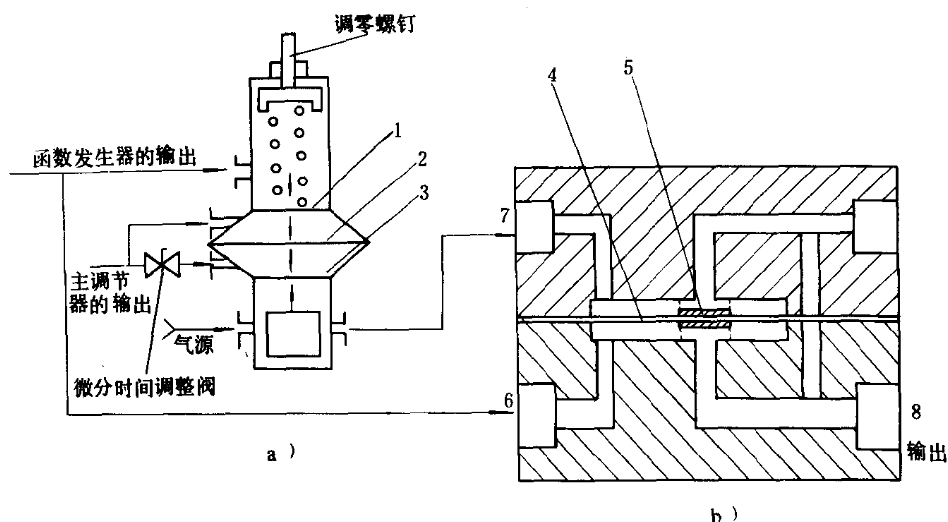


图 9.3.5—12　微分阀与高压选择阀结构原理

a）微分阀；b）高压选择阀

1、2、3、4—膜片；5—硬芯；6、7—输入端；8—输出端

当锅炉燃烧处于平衡状态时，喷油量与空气量有一个良好的匹配。当锅炉负荷变化时，如负荷突然增大，蒸汽压力下降。这时主调节器动作，控制燃油调节阀增加喷油量。这时函数发

生器的输出也增大，增大了空气量调节器的给定值。但是，由于空气信号传递过程有迟延，同时空气量控制机构是一个近似的积分环节，所以在锅炉负荷增大的短时间内，喷油量增大而空气量基本保持不变，使空气量不足而造成燃烧不良。为了消除这种现象，可增设一个微分阀和高压选择阀，其结构原理如图 9.3.5—12 所示。

微分阀是一个实际微分环节。其中膜片 2 的有效面积比 1 和 3 大得多。在平衡状态时，膜片 2 上、下压力相等。这时，高压选择阀 b)的接函数发生器输出的输入端 6 的气压信号大于接微分阀输出的输入端 7 的气压信号，膜片 4 向上弯，通过硬芯封死上面的输出口，使由 6 端来的输入信号直接与输出端 8 相通。这一信号送给空气量调节器使空气量控制机构输出的空气量与喷油量相匹配。若锅炉负荷突然增大，主调节器指挥开大燃油调节阀，增加喷油量。这时函数发生器的输出信号在短时间内不能马上增大，即 6 端信号不能马上增大，但是，由于主调节器输出气压信号增大，使膜片 2 上面的压力大于下面的压力，膜片 2 向下弯，使挡板靠近喷嘴(图中未画出)，微分阀输出一个增大的气压信号并送入高压选择阀 b)的 7 输入端。这时 7 端的气压信号大于 6 端的气压信号，使膜片 5 向下弯并通过硬芯封死下面的输出口，输出端 8 直接与 7 端的信号相通。这时，高压选择阀的输出就是实际微分环节的输出。在主调节器输出信号直接向膜片上部空间充气以外，还经微分时间调整阀逐渐向膜片 2 下部空间充气，其压力不断增高，使膜片 2 逐渐向平衡状态恢复，挡板不断离开喷嘴，微分阀输出信号不断减小，这就是微分输出的消失过程。当膜片 2 上、下压力相等时，微分输出全部消失。在微分输出消除的过程中，函数发生器的输出不断增大。当函数发生器的输出一旦大于微分输出，膜片 4 通过硬芯 5 封死上面的输出口，高压选择阀的输出就是函数发生器的输出。可见，高压选择阀 b)对函数发生器的输出及微分阀的输出选择其中较大的信号输出。

4.2.3 空气量控制机构

空气量控制机构主要有以下三种方式

1)调节风机后面的风道挡板开度。即通过风门挡板来改变风道的流通面积，从而改变进入炉膛的送风量，其工作原理如图 9.3.5—13 所示。

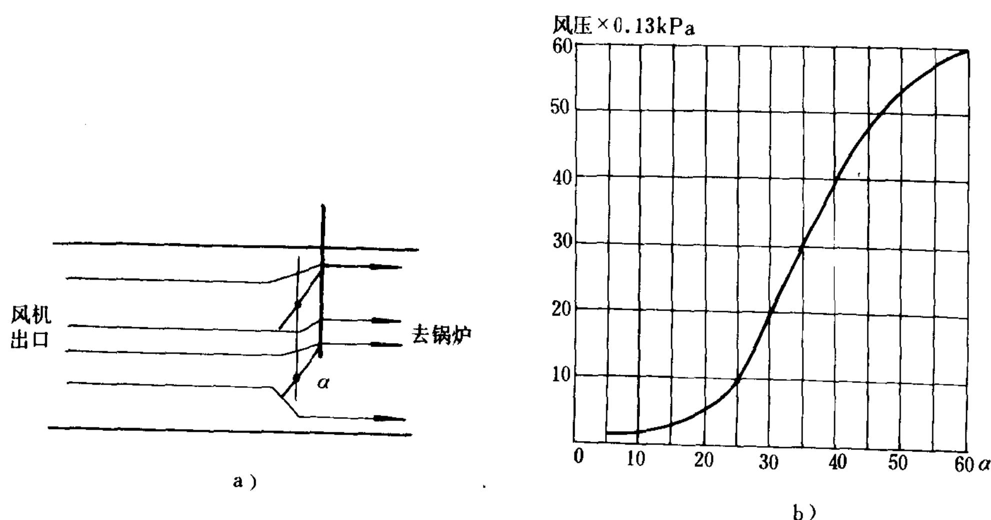


图 9.3.5—13 调节风门挡板示意图

a)风门挡板调节示意图；b)风压随风门挡板转角 α 的变化曲线

由图可知，锅炉在低负荷时是不经济的。

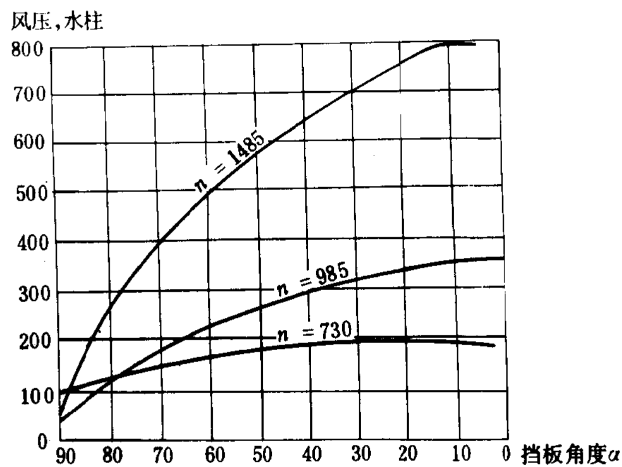


图 9.3.5—14　调进风机叶片角度α的鼓风机静特性

2)调节鼓风机进风端的叶片转角，它的经济性比第一种方式好些。图 9.3.5—14 画出了这种控制方式的工作特性。图中 n 表示鼓风机转速。这种方式常用于大功率电动鼓风机组中。

3)调节鼓风机原动机转速

在以上三种控制方式中，第一种方式机构简单，应用得较为广泛。

第 6 章　焚烧炉自动控制

1 概　　述

焚烧炉自动控制是指焚烧炉自动点火、停炉和应急时安全保护的控制过程。这种控制是由时序控制、温度程序控制和条件控制有机结合而构成的一种复合控制。时序控制主要由信号发送器(按钮、转换开关)、时序控制电路、火焰感受器(光敏元件感受器)所组成，用于完成焚烧炉自动点火。温度程序控制主要由温度检测器(热电偶)、温度程序控制电路所组成，用于完成焚烧炉自动焚烧及停炉。条件控制主要由各种参数检测器(压力、温度、液位、热继电器等)、报警电路所组成，用于完成焚烧炉安全保护。条件控制的条件，视船舶的要求，可多可少。

虽然不同的船舶采用的焚烧炉结构和焚烧对象的不同，但基本控制原理是类似的。目前船上采用的焚烧炉自动控制，多为有触点或无触点的分立元件控制。自动化程度上的区别，主要反应在实现功能的完善程度上。功能越完善，自动化程度越高。但是，控制线路越复杂，出现故障的机率相应增多。所以采用这种常规控制，以满足实现基本功能为宜。若采用微型计算机控制，可适当提高其自动化程度。

2 焚烧炉自动控制系统

2.1 自动控制系统的组成

焚烧炉自动控制系统是由焚烧系统和控制线路两部分所构成。

焚烧系统是实现焚烧的基本组成部分。它由焚烧炉、液态焚烧对象(油渣、废油、油污泥等混合物)、输送部分、柴油或柴油和水输送部分、空气供给部分等组成。焚烧炉是系统主体。液态焚烧对象输送部分，用于提供粉碎混拌均质好的液态焚烧物供炉焚烧。柴油输送部分，用于提供点火、预热炉以及焚烧时提高焚烧温度。水输送部分，用于提供焚烧时降低焚烧温度。空气供给部分，用于提供扫气、雾化和助燃的空气。

控制线路是实现焚烧的控制部分。按其所能完成的功能来看，它由点火时序控制电路，焚烧及停炉温度程序控制电路、报警电路等组成。控制线路一般装在防滴式铁板控制箱内。

2.2 ASI—250 型焚烧炉系统

图 9.3.6—1 为丹麦 ATLAS 公司生产的 ASI—250 型焚烧炉系统。由于系统焚烧炉结构所致，此系统不能焚烧固态废物，只能焚烧闪点高于 60℃的液态废物。

2.2.1　焚烧系统

1)焚烧炉　焚烧炉本体由双层钢板制成，内部装有高隔热材料。内壳空间是燃烧室。燃烧室又分为第一燃烧室 F 和第二燃烧室 EF，焚烧物进入炉内后，首先在第一燃烧室点燃，然后在第二燃烧室内充分焚烧。焚烧炉的主要部件是燃烧器。燃烧器有两个，一个是装在燃烧室下面的液态焚烧物燃烧器 B(主燃烧器)，一个是装在燃烧室侧面的点火燃烧器 ST(辅助燃烧

器)。燃烧所用空气由炉外鼓风机 15 供给。空气经通道 DE1—3、DE1—2 分别进入两个燃烧室,另一路经外壳与外壁间通道,从烟道下方可移动喷嘴进入烟道。空气经过喷嘴时产生低压,可使炉膛呈现真空,以防焚烧时烟气外漏。为测取炉温,炉膛内装有热电偶 T_1、T_2。

烟气从烟道排出时,为了降低排烟温度,排烟口装有烟气混合室 BK 和烟气混合补偿室 KO,混合室内装有混合机 MX 提高混合效果,使排烟温度不超过 350℃。

2)液态焚烧对象输送部分　液态焚烧对象输送部分由油泥柜 6、粉碎泵 5(装有绞刀的离心泵)、循环泵 4(自吸式容积泵)组成的均质油泥循环管路和由气控阀 VI、计量泵 3(自吸式容积泵)、混合柜 8 组成的均质油泥供给管路两部分组成。

油泥柜蒸汽加温,油泥温度由温度控制器 18 自动控制,油泥抽空由检测器 14 检测。

焚烧前,均质油泥在循环管路循环。为了使循环泵 4 不出现吸空现象,粉碎泵 5 排量大于循环泵 4,多余排量经粉碎循环回路循环。为了使油泥供给管路供油泥的连续性,油泥循环管路顶端部位装有空气除去器 1。均质油泥温度由温度继电器 17 检测。焚烧时,部分均质油泥经油泥供给管路由燃烧器 13 雾化后喷入炉内。

3)柴油输送部分　柴油输送部分由柴油柜 9、柴油泵 2、电磁阀 V_2、V_3、V_4 所组成。

焚烧炉运行时,柴油的供给不是连续的,为了保证及时供给柴油,要求柴油泵 2 连续运转,柴油经柴油循环管路循环。焚烧炉点火时,柴油经电磁阀 V_2 由点火燃烧器 ST 喷入炉内,另一部分经电磁阀 V_3 由燃烧器 13 喷入炉内。预热炉时,柴油只经电磁阀 V_3 由燃烧器 13 喷入炉内。焚烧时,为提高焚烧温度,要求对油泥掺油,柴油经电磁阀 V_4、计量泵 3、混合柜 8 与油泥混合后由燃烧器 13 喷入炉内。

4)空气供给部分　空气供给部分由鼓风机 15 和电磁阀 V_1、减压阀 7、电磁阀 V_6 组成的压缩空气气路所组成。

焚烧时,压缩空气经滤器 12、电磁阀 V_1 后,一路经减压进入燃烧器 13,对喷入炉内的油泥进行雾化,一路经电磁阀 V_6 打开气控阀 V_I,控制油泥的供给。雾化空气压力由压力继电器 13 检测。

2.2.2 控制线路

图 9.3.6—2a)、b)、c)、d)、e)、f)为 ASI—250 型焚烧炉系统控制线路,其中图 a)、b)、c)简称图 A,d)、e)、f)简称图 B。图 9.3.6—3 为控制程序图。

系统投入运行前,首先要进行复位和试灯。将多路转换开关 b20 置于复位位置"2"上,合上电源开关。从触点图知,图 A 中触点 3、4(21)闭合,继电器 d_{21},有电,触点 21(26、29、32、34、36、39、42)闭合,报警继电器 d_{25}、d_{28}、d_{31}、d_{33}、d_{35}、d_{38}、d_{41}有电,自锁触点闭合,继电器自锁;常闭触头 25(7)、28(9)、31(11)、35(13)、38(15)、41(17)断开,为试灯和灯光报警作准备;图 B 中相应触头 1—25、1—28、1—31、1—33、1—35、1—38、1—41 闭合,为系统投入和声响报警作准备,此时线路复位完毕。再将 b20 置于试灯位置"1"。从触点图知,图 A 中触头 1、2(20)闭合,继电器 d20 有电,触头 20(6、8、10、12、14、16、18)闭合。若报警指示灯 h_5、h_7、h_9、h_{11}、h_{13}、h_{15}、h_{17}均亮,试灯完毕。最后将 b20 置于零位位置"0"。系统便可投入。

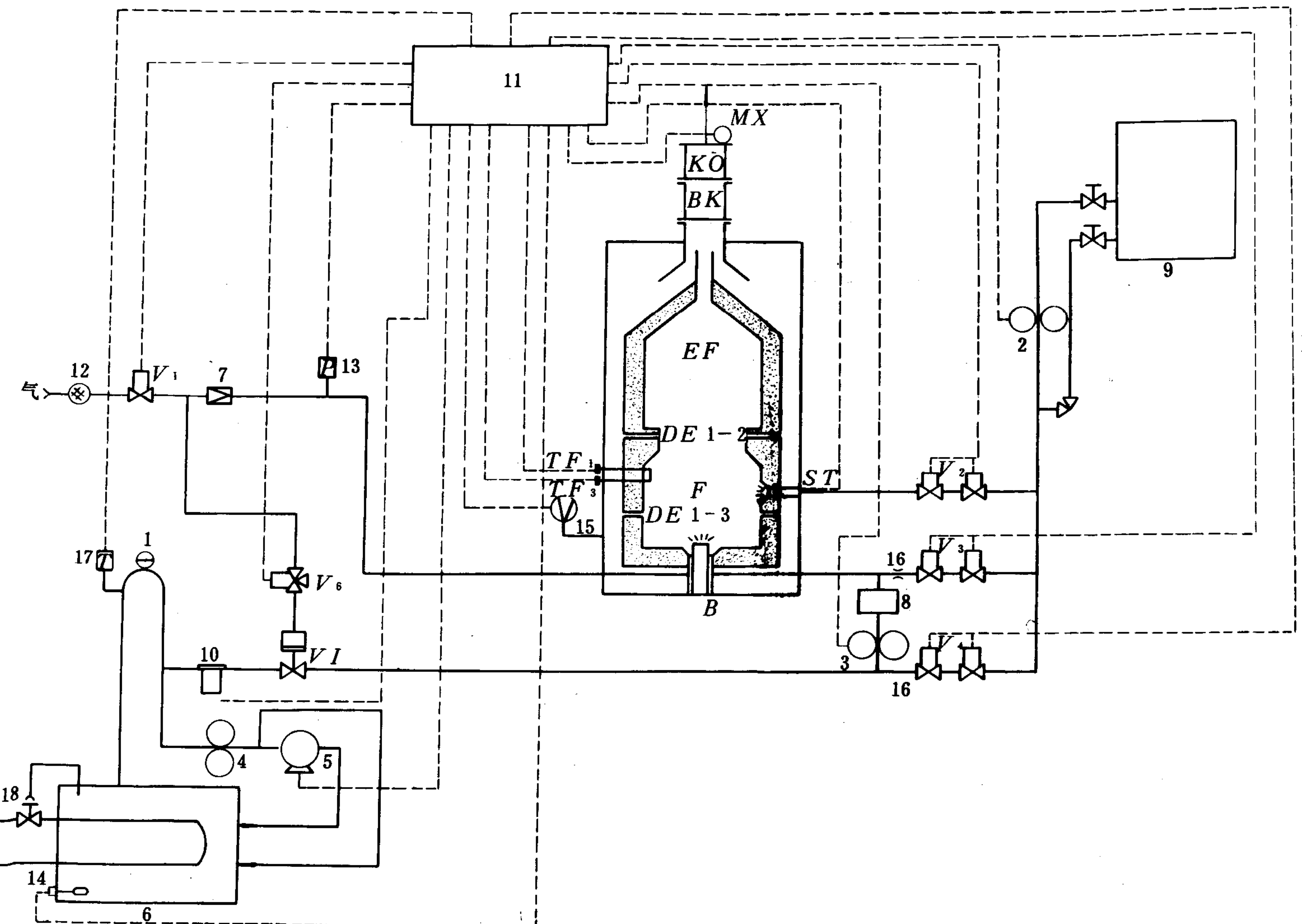


图 9.3.6—1　ASI—250 型焚烧炉系统示意图

1)自动点火时序控制　将多路转换开关b21置于“油泥和废物混合燃烧”位置“3”。从触点图知，图B中触头11、12(34)闭合，交流接触c_{32}有电，鼓风机15起动；c_{34}有电，柴油泵2起动；电磁阀线圈s_{39}有电，电磁阀V_1开启。另外，从触头图知，图B中触头1、2(2)和7、8(26)闭合，交流接触c_{26}有电，混合机MX起动；c_{28}有电，循环泵4起动；c_{30}有电，粉碎泵5起动。上述交流接触辅触头32(5)、34(5)、30(5)、28(5)、26(5)闭合，时间继电器d_5有电。此时，焚烧炉进行预扫风。

经过30s后，时间继电器d_5的常开延时闭触头5(10)闭合，时间继电器d_{16}、d_{19}有电，d_{19}的常开延时开触头19(17)闭合，电磁阀线圈s_{18}有电，电磁阀V_3开启，柴油经V_3由燃烧器B喷入炉内。与此同时，点火控制板U_8经7号接点获电，4、5号接点为高电位。4号接点为高电位，继电d_{11}有电，触头11(47)闭合，点火变压M47有电。5号接点为高电位，电磁阀线圈s_{14}有电，电磁阀V_2开启，柴油经V_2由点火燃烧器ST喷入炉内。此时，焚烧炉停止预扫风进行点火。

点火成功后，火焰感受器LD受到光照，产生电信号，把控制板U_8的4号接点由高电位变为低电位，继电器d_{11}断电，触头11(47)断开，切除点火变压器M_{47}；触头11(18)闭合，时间继电器d_{19}短暂失电后又获电，常开延时开触头19(17)一直保持闭合状态，即电磁阀V_3一直保持开启，燃烧器B一直喷油。15s后，时间继电器d_{16}的常闭延时开触头16(14)断开，电磁阀线圈s_{14}断电，电磁阀V_2关闭，点火燃烧器ST停止喷油。此时，焚烧炉由燃烧器B喷油燃烧预热炉。

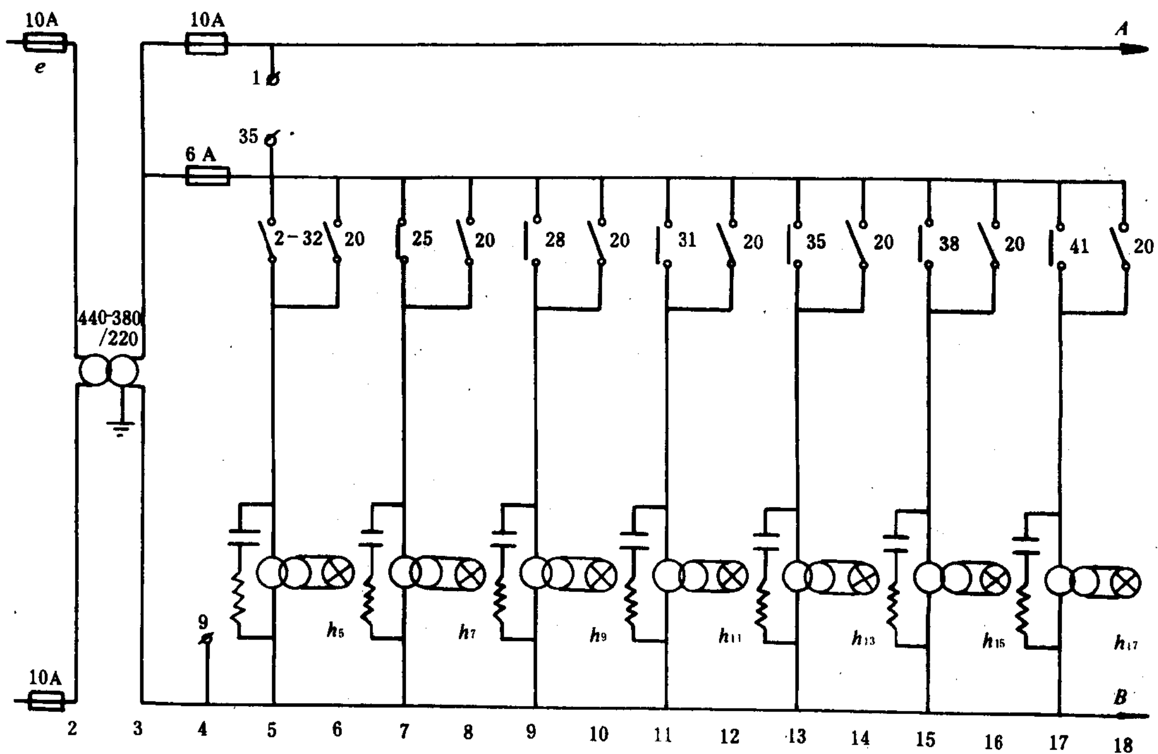
2)温度程序控制　当炉温达到800℃时，温度控制板U45使其在图B中的触头c_1、c_3(22)闭合。若采用自动控制时，控制板U_{45}上的转换开关b_{22}置于“自动”位置，触头b_7、b_8(22)是闭合的，继电器d_{23}有电，计量泵3启动；触头23(21)闭合，继电器自锁；触头23(24)闭合，电磁阀线圈s_{24}有电，电磁阀V_6开启，压缩空气打开气控阀V_1，均质油泥经油泥供给回路由燃烧器B喷入炉内；常闭触头23(18)断开，时间继电器d_{19}断电，15s后，常开延时开触头19(17)断开，电磁阀线圈s_{18}断电，电磁阀V_3关闭，柴油停止进入燃烧器B；图A中触头2－23(43)和2－23(58)闭合，计量泵3电动机转速经温度控制板V_{45}、中间转换板V_{48}和电动机控制板V_{50}受炉温控制，焚烧炉预热结束，焚烧开始。

焚烧时随着均质油泥中含水量的不同，计量泵排量不同。油泥中含水量增加，发热值下降，炉温降低，电动机转速自动增高，泵排量增大；反之，泵排量减小，以维持炉温在1000℃左右。

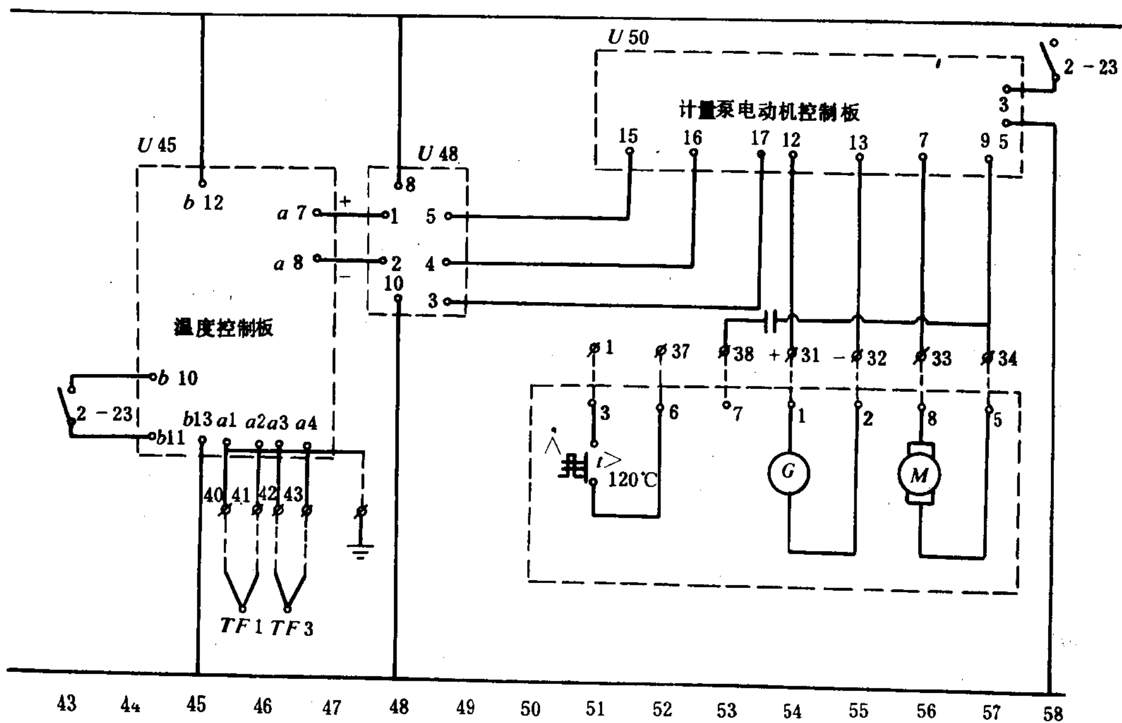
当油泥中含水量大于63%时，计量泵电动机转速因已处于最高值，泵排量无法再调，随着油泥发热值的下降，炉温降低，当炉温降到低于780～800℃之间某一设定温度时，温度控制板U_{45}使其在图B中的触头C_4、C_5(44)闭合，电磁阀线圈S_{44}有电，电磁阀V_4开启，油泥掺油，炉温回升。当炉温升高到超过设定温度时，温度控制板V_{45}使其在图B中的触头C_4、C_5(44)断开，s_{44}断电，V_4关闭，油泥停止掺油，低于设定值掺油，高于设定值停止掺油，这样当油泥中含水量大于63%时炉温便可维持在780～800℃之间某一设定温度左右。

当要求停炉时，将多路转换开关b_{21}置于“停止”位置“1”。此时，从触点图知，触头13、14(49)闭合，维持继电器J有电，解除声响报警；1、2(2)断开，继电器d_{23}、电磁阀线圈s_{24}、交流接触器c_{26}、c_{28}、c_{30}断电，停止供给油泥和循环；触头11、12(34)断开，但触头34(33)、41(31)仍在闭合，交流接触器c_{32}、c_{34}和电磁阀线圈s_{39}仍有电，空气供给部分仍在工作，这时，焚烧炉处于停炉降温状态。

当炉温降到80℃时，温度控制板U_{45}使图2中的触头c_7、c_8(41)断开，继电器d_{41}断电、触头41(31)断开，c_{32}、c_{34}、s_{39}断电，空气供给部分和柴油泵停止工作。此时，整个系统切除。



10A
e
10A
1
35
6 A
2-32
20
25
28
31
35
38
41
440-380
/220
9
h5
h7
h9
h11
h13
h15
h17
10A
A
B
2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18



U 50
2 - 23
计量泵电动机控制板
15 16 17 12 13 7 9 5
U 45
U 48
b 12
a 7
a 8
温度控制板
b 10
b11
b13 a1 a2a3 a4
40 41 42 43
TF 1 TF 3
1 37 38 +31 -32 33 34
120℃
G
M
43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58

图 9.3.6 2a)

b20

		1–2	3–4	5–6
灯 试	1	×		
零 位	0			
复 位	2		×	

图 9.3.6—2b)、c)

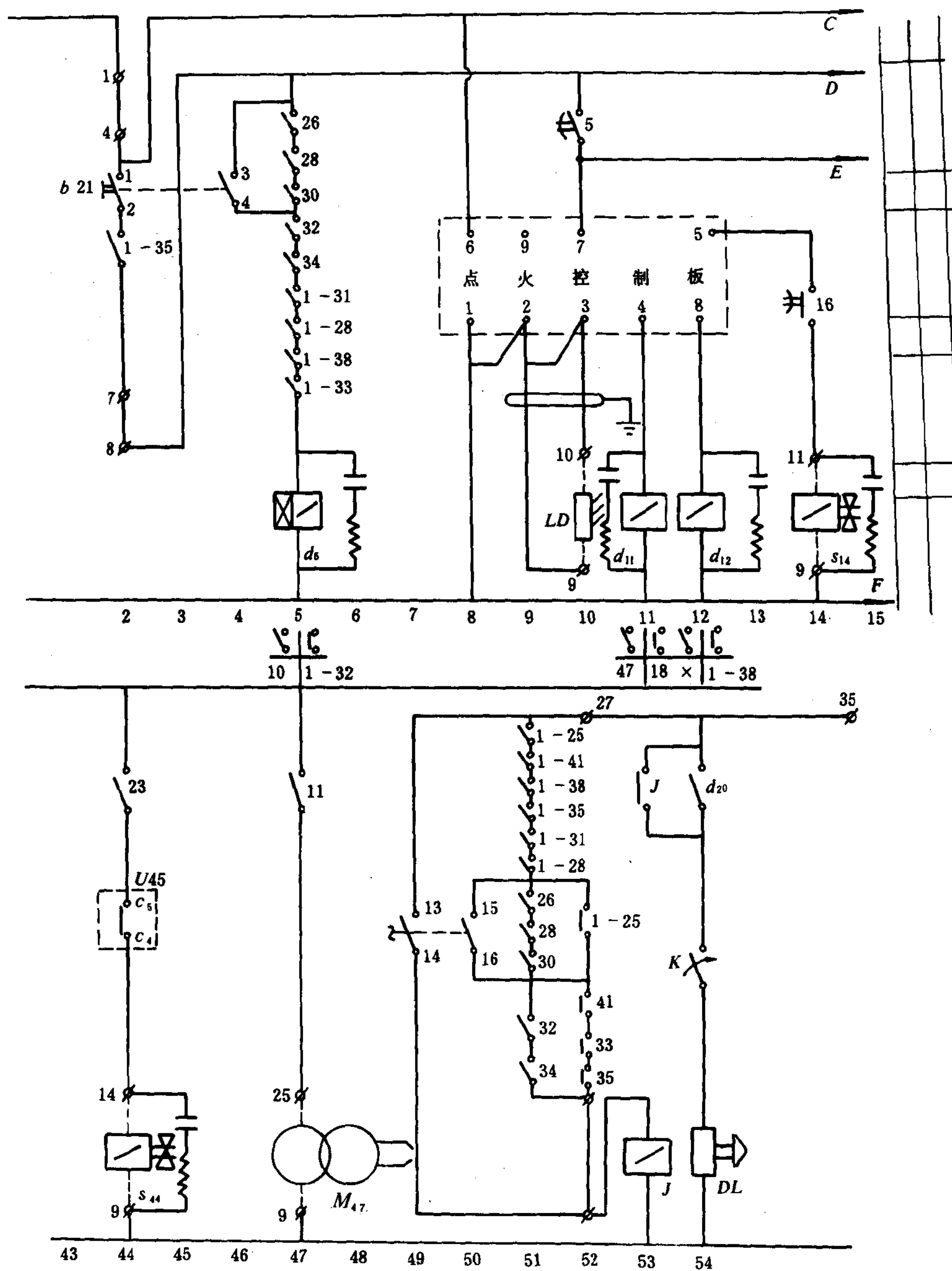
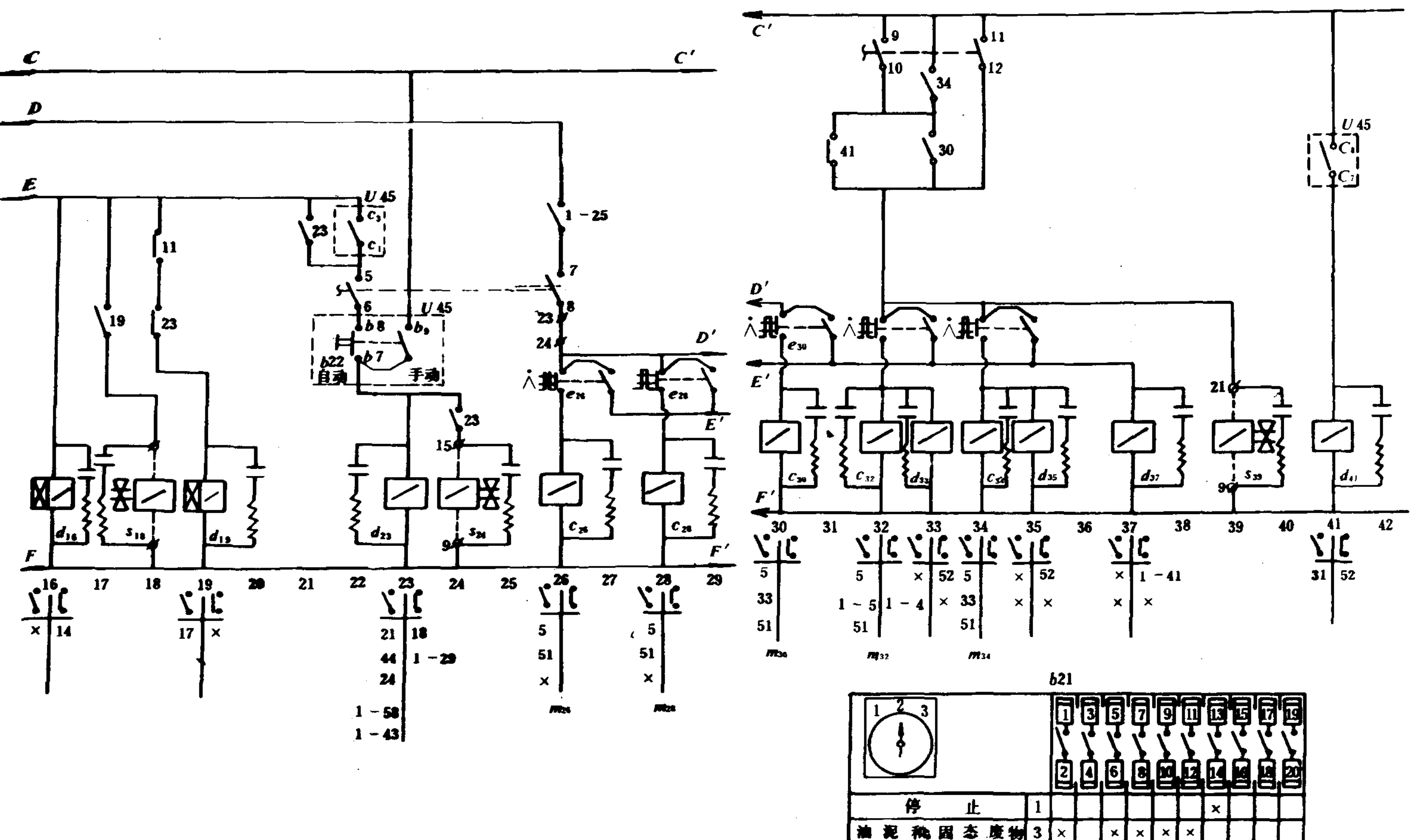


图 9.3.6—2d)



e) f) 图 9.3.6—2ASI—250型焚炉系统控制线路原理图

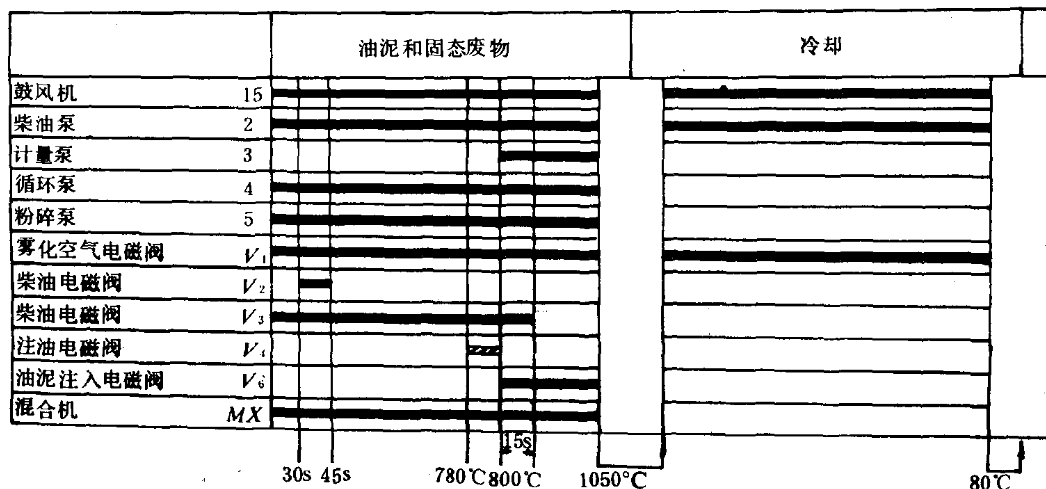


图 9.3.6－3　ASI－250　型焚烧炉系统控制程序图

3)安全保护控制

(1)点火失败和焚烧炉熄火　当点火变压器 M_{47} 投入工作 10s 后。若火焰感受器 LD 未受到光照，点火控制板 U_8 使 8 号接点为高电位，继电器 d_{12} 有电，图 A 中触头 2－12(38)断开，继电器 d_{38} 断电，触头 38(15)闭合，报警指示灯 h_{15} 亮；图 B 中触头 1－38(51)断开，继电器 J 断电，报警器 DL 响；图 B 中触头 1－38(5)断开，继电器 d5 断电，触头 5(10)断开，继电器 d_{23} 和电磁阀线圈 s_{24} 断电，停止油泥供给，焚烧炉自动停炉降温。

(2)炉温过高　当炉温超过 1050℃时，温度控制板 U_{45} 使在图 A 中的触头 c_{10}、c_{12}(35)断开，继电器 d35 断电，触头 35(13)闭合，报警指示灯 h_{13} 亮；图 B 中触头 1－35(51)断开，继电器 J 断电，报警 DL 响；图 B 中触头 1－35 断开，继电器 d_{35}、电磁阀线圈 s_{24}、交流接触器 c_{26}、c_{28}、c_{30} 断电，停止油泥供给和循环，焚烧炉自动停炉降温。

(3)油泥温度或雾化空气压力过低　当油泥温度低于 50℃或者雾化空气压力低于 0.1MP_a 时，温度继电器 17 或者压力继电器 13 动作，图 A 中触头 b_{28}(28)或者 b_{31}(31)断开，继电器 d_{28} 或者 d_{31} 断电，报警指示灯电路相应触头闭合，相应报警指示灯亮；图 B 中声响报警线路相应触头断开，报警器 DL 响；继电器 d_5 控制线路相应触头断开，继电器 d_5 断电，触头 5(10)断开，停止油泥供给，焚烧炉自动停炉降温。

(4)油泥柜低位　当柜 6 油泥焚烧炉到低位时，检测器 14 动作，图 A 中触头 b_{23}(23)断开，时间继电器 d_{23} 断电，15s 后，常开延时开触头$_{23}$(25)断开，继电器 d_{25} 断电，触头 25(7)闭合，指示灯 h7 亮；图 B 中触头 1－25(26)断开，交流接触器 c_{26}、c_{28}、c_{30}，辅触头 26(5)、28(5)、30(5)断开，继电器 d5 断电，触头 5(10)断开，停止油泥供给，焚烧炉自动停炉降温。

(5)电动机过载运行中，计量泵电动机过载时，图 A 中热保护继电器 Λ51)触头断开，继电器 d_{33} 断电，触头$_{33}$(41)断开，继电器 d_{41} 断电，报警指示灯电路与声响报警电路相应触头闭合与断开，发出声光报警；图 B 中触头 1－33(5)断开，继电器 d_5 断电，触头 5(10)断开，停止油泥供给，焚烧炉自动停炉降温。

运行中，若鼓风机、循环泵、粉碎泵、柴油泵、混合电动机之中有一台过载时，图 B 中对应的热保护继电器 Λ 触头动作，交流接触器断电，继电器 d5 控制线路相应的辅触头断开，继电器 d_5 断电，触头 5(10)断开，停止油泥供给；继电器 d_{37} 有电，图 A 中的触头 2－37(41)断开，继电器 d_{41} 断电，同样发出声光报警。这时，焚烧炉自动停炉降温。

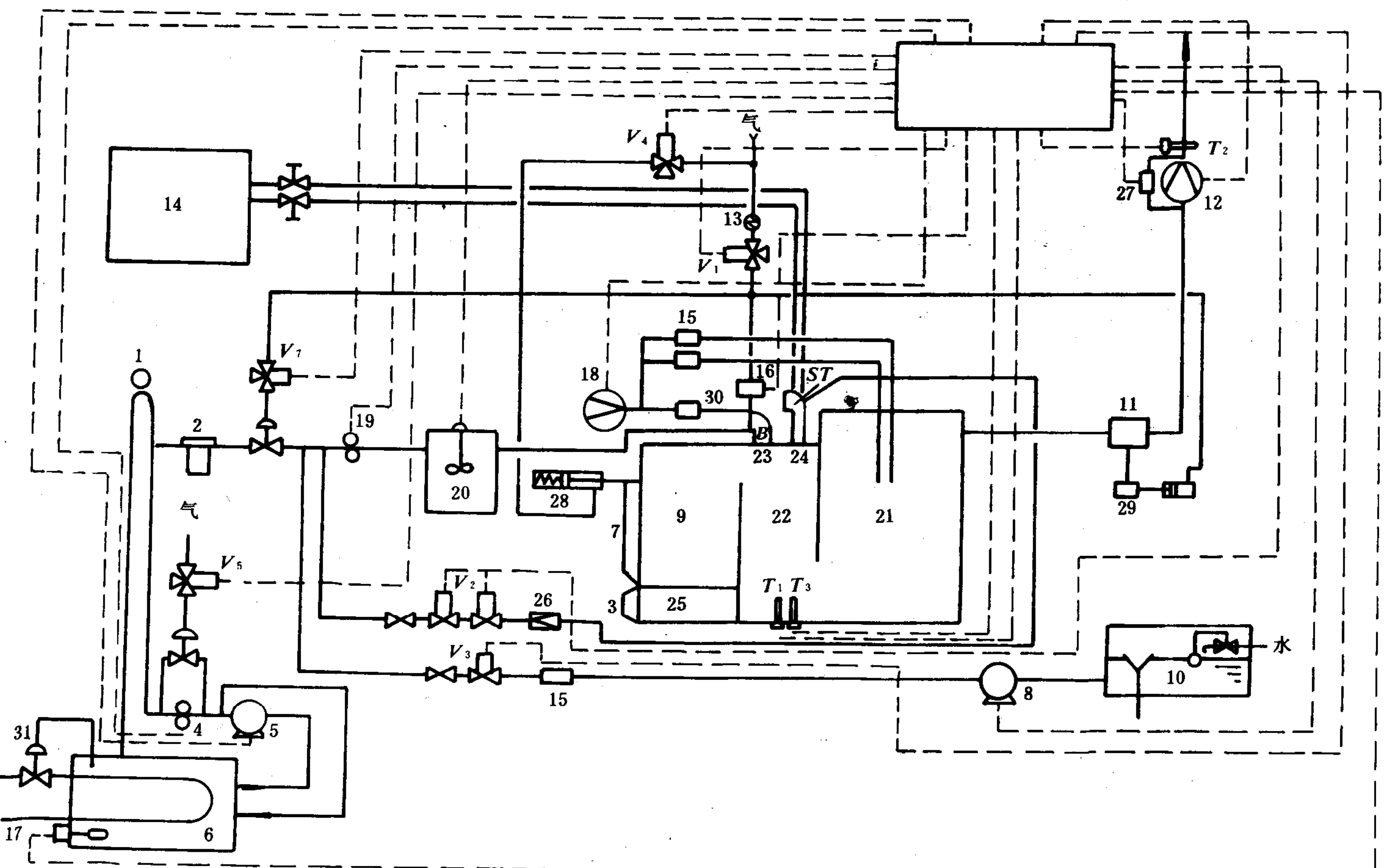


图 9.3.6 4　ASWI 型自动焚烧炉系统示意图

T_1、T_2、T_3—热电偶；1—空气除去器；2—滤门；3—灰门；4—污泥循环泵；5—粉碎泵；6—污泥柜；7—进料门；8—注水泵；9—固态废物燃烧室；10—水柜；11—混合室；12—烟气风机；13—滤器；14—油柜；15—孔板；16—压力继电器；17—水准开关；18—鼓风机；19—定量泵；20—混合柜；21—第二燃烧室；22—第一燃烧室；23—污泥燃烧器 B；24—辅助燃烧器 ST；25—灰箱；26—油注入喷嘴；27—压差开关；28—锁紧门装置；29—风门；30—空气调节阀；31—温度调节器

2.3 ASWI 型焚烧炉系统

图 9.3.6—4 为丹麦 ATLAS 公司生产的 ASWI 型焚烧炉系统。这种系统不仅能焚烧闪点高于一定值的液态可燃物，而且还能单独焚烧固态废物。

2.3.1 焚烧系统

1)焚烧炉　焚烧炉外壳同样由钢板制成，内壁为高性能隔热耐火材料，壳体内用耐火砖隔成第一和第二燃烧室 22、21，第一燃烧室 22 左面为固态废物燃烧室(干馏室)9，固态废物燃烧室下面是灰箱 25，前面是送料门 7，送料门下面是灰门 3。焚烧时，送料门需要锁紧，门外设有气控锁紧门装置 28。液态焚烧物燃烧器 B 装在第一燃烧室的上面，点火燃烧器 ST 装在侧面。

烟气从烟道排出时，为了降低排烟温度，烟气通道上装有烟气混合室 11 和排烟风机(引风机)12。烟气通过排烟风机后在混合室与炉外冷空气混合，保持排烟温度不超过 350℃。又由于排烟风机的抽风量大于炉膛送风量，至使炉内呈现真空，防止烟气外漏。焚烧时，混合室风门 29 需要开启，门外设有气控开关门装置。炉内和烟道温度由装在炉内和烟道的热电偶 T_1、T_3 和 T_2 检测。

2)液态焚烧对象输送部分　油泥循环管路除了增加一条气控泄放回路外，其它部分和 ASI—250 型焚烧炉系统相同。油泥供给管路由定量泵 19 和内装有搅拌器的混合柜 20 组成。

3)柴油和水输送部分　柴油输送部分由柴油柜 14、装在点火燃烧器 ST 内的电磁阀 V_6、电磁阀 V_2 组成。水输送部分由装有水位控制器的水柜 10、注水泵 8、电磁阀 V_3 组成。

焚烧炉点火和预热炉时，柴油经电磁阀 V_6 由点火燃烧器 ST 喷入炉内。点火燃烧器如图 9.3.6—5 所示。它本身带有一台风机，为点火和冷却喷嘴用。

焚烧时，为了提高焚烧温度要求对油泥掺油，柴油经电磁阀 V_2、定量泵 19、混合柜 20 与油泥混合后由燃烧器 B 喷入炉内。焚烧时，为了降低焚烧温度要求对油泥掺水，水经注水泵 8、电磁阀 V_3、定量泵 19、混合柜 20 与油泥混合后由燃烧器 B 喷入炉内。油泥注入采用的是定量泵，炉温控制采用的是低温掺油高温掺水控制。

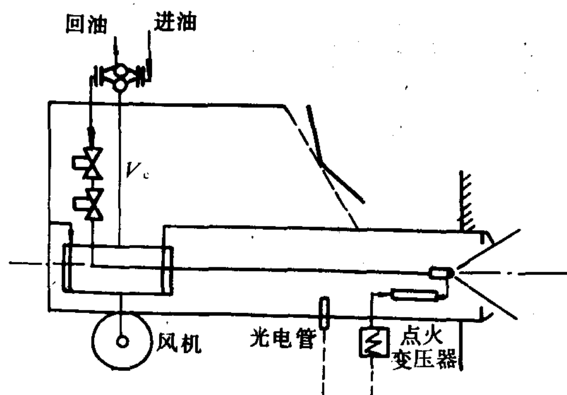


图 9.3.6—5　点火燃烧器 ST 原理图

4)空气供给部分　空气供给部分由鼓风机 18、点火燃烧器风机和由电磁阀 V_4、V_1、V_7、V_5 组成的压缩空气气路。

焚烧时，压缩空气一部分经电磁阀 V5 关闭泄放回路气控阀，另一部分分别经电磁阀 V_4、V_1、V_7 锁住进料门 7、进入燃烧器 B、打开油泥供给管路气控阀、开启风门 29。

2.3.2 控制线路

ASWI 型焚烧炉系统和 ASI—250 型焚烧炉系统相比，由于结构和功能上的区别，控制线路除基本部分相似外，其不同之处有：增加了泄放回路控制，进料门控、风门控制等。由于炉温控制方式的不同，温度程序控制线路也有些区别。

图 9.3.6—6 为 ASWI 型焚烧炉系统温度程序控制线路的主要组成部分。图 9.3.6—7 为 ASWI 型焚烧炉系统温度程序控制程序。

ASWI 型焚烧炉系统温度程序控制，是由控制线路中的两种印刷组件，一个公共电源和三

个各带 2 个单独通道的热电偶放大器和继电器控制的。输出继电器 R 动作温度，可通过标准电位计在 0～1200℃之间进行调整。焚烧油泥时，炉内温度可控制在 750～850℃之间。炉温的安全保护温度为 950℃。烟道的安全保护温度为 350℃。

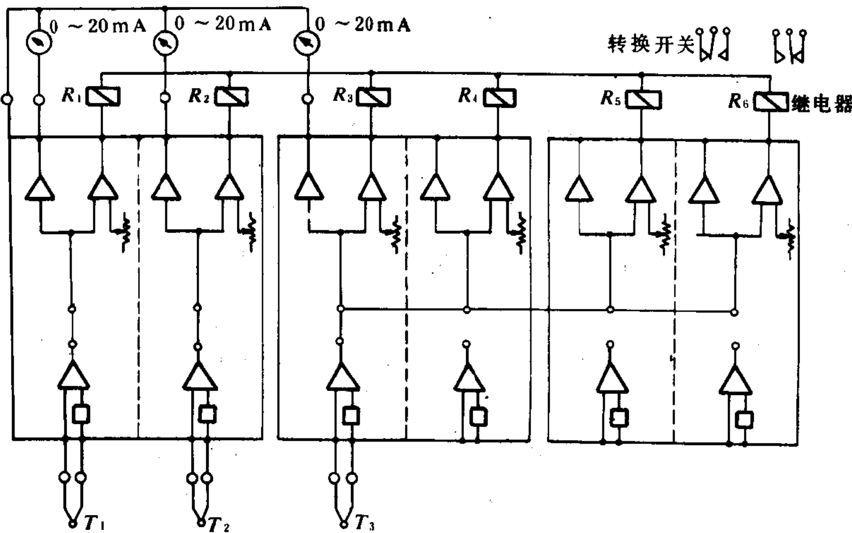


图 9.3.6—6　ASWI 型焚烧炉系统温度程序控制原理图



图 9.3.6—7　ASWI 型焚烧炉系统温度程序控制程序图

3　焚烧炉自动控制系统的管理

焚烧炉自动控制系统的管理指的是对系统的使用、保养和维修。使用时，要求严格地按照系统操作规程进行。保养时，除加强日常维护外还要求严格地进行系统规定项目的定期检查。维修工作要求及时、准确。只有这样才能保证系统的正常安全运行以及延长系统的使用寿命，发挥自动控制的优越性。

日常维护除对构成系统的机械电器设备维护外，还应注意控制线路的维护。控制线路的日常维护内容如下：

1)消除落在电器元件上的尘埃和异物。

2)检查各电器元件的紧固件是否有松动现象，活动件是否灵活，接线是否松动或脱落等。如有，紧固和修复。

3)检查各电器元件的触头有无烧毛磨损等现象。如接触面上发现有氧化物或细小熔化物时，需用油光锉将其消除，使接触面力求保持原形和具有较高的光洁度。对于银镀层的触头如发现有烧焦熏黑现象，不允许用细锉消除，应用蘸有专用清洗剂的抹布揩净，揩时注意防火。

4)检查接触器和继电器弹簧是否完好。如有损坏应修复或更新。修复或更新后，必须对该元件进行技术数据测定与核对。

5)检查接触器是否有交流声。如声响太大，应检查可动部分并加以矫正，若短路环脱落应补上去。

6)系统初次使用，应注意接触器衔铁吸动表面是否有防锈油层。如有，应揩净，否则释放时会有时滞。

7)系统停用时，注意拉下电源开关。

定期检查除对构成系统的机械电器设备进行规定的定期检查外，还应进行控制线路的定期检查。控制线路的定期检查内容如下：

1)检查控制屏的绝缘电阻。

2)检查接触器和继电器触头的超额行程、开断距离、接触压力是否符合产品说明书的规定指标。

3)检查接触器和继电器的吸引和释放电压或电流值是否符合规定要求。

4)检查线路中各种电器的整定参数，如延时继电器的延时时间、热继电器的释放电流、压力继电器的动作压力等是否符合规定要求。

维修时除了保养中的修复外，便是系统故障的排除。系统故障主要是指系统不起动和熄火。产生原因，除了油泥温度或雾化空气压力过低、电动机过载、炉膛或烟道高温等外，便是系统控制线路电器元件或线路故障所引起，如表 9.6.3—1 所示。

表 9.3.6—1　**常见故障及处理方法**

故　障	产　生　原　因	处　理　方　法
系统不起动	1)转换开关过分脏或氧化 2)线路断线 3)继电器故障 4)交流接触器故障	1)清洁或磨平 2)查出修复 3)查出修复或换新 4)查出修复或换新

续上表

故　障	产　生　原　因	处　理　方　法
	5)电磁阀故障	5)查出修复或换新
	6)点火电极间距过大	6)重调
	7)点火电极结碳过多	7)清洁
	8)点火变压器故障	8)查出修复或换新
	9)燃烧器喷嘴堵塞	9)清洁
系统熄火	1)光敏元件失效	1)清洁或换新
	2)线路断线	2)查出修复
	3)继电器故障	3)查出修复或换新
	4)交流接触器故障	4)查出修复或换新
	5)电磁阀故障	5)查出修复或换新
	6)印刷组件或集成块损坏	6)换新
	7)燃烧器喷嘴堵塞	7)清洁

第7章　分油机自动控制系统

1 概　　述

我国远洋船舶上用得较多的分油机有ALFA—LAVAL自动清洗式分油机。它由较新的微处理机自动控制系统控制的，这一系统适用于MAPX/MOPX和WHPX型分油机，包括分水和分杂二类。

图9.3.7—1是分油机自动控制系统示意图

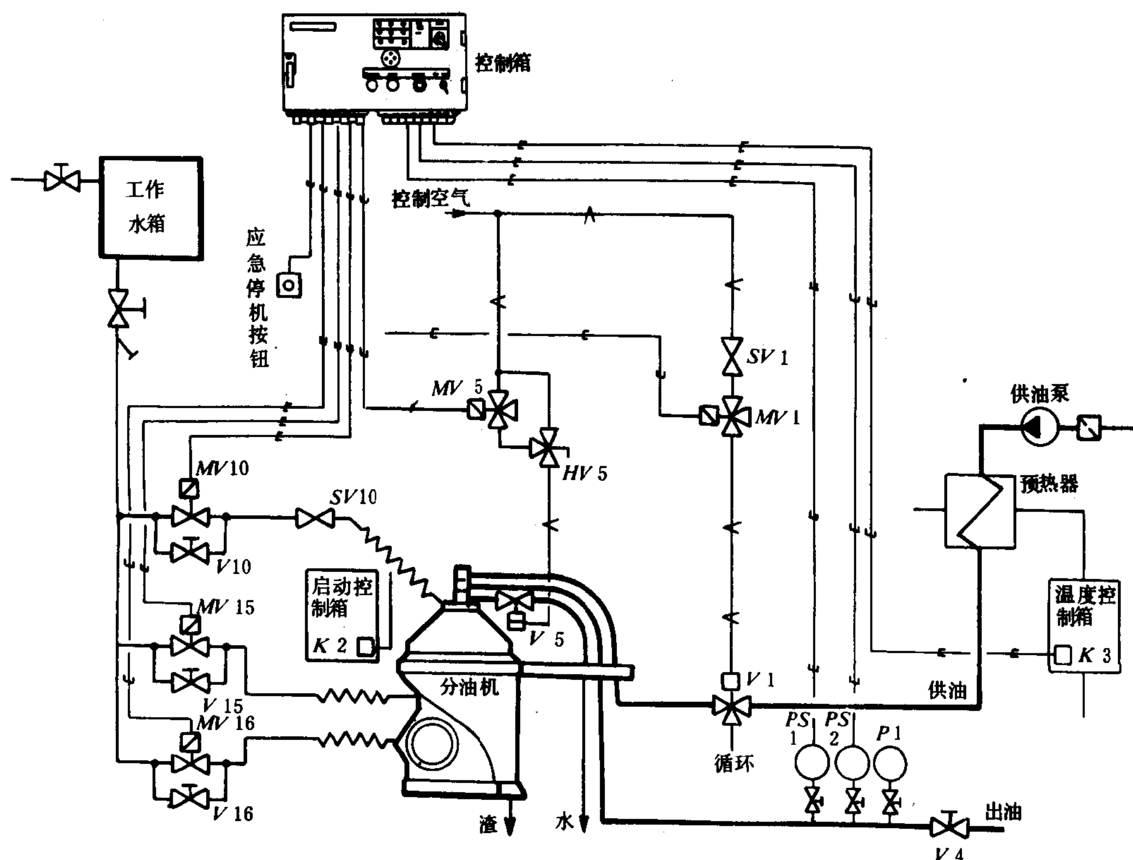


图9.3.7—1 （ALFA—LAVAL WHPX型）分油机自动控制系统示意图

V1—气动三通阀；V4—背压阀；V5—出水口气动球阀；V10—MV10的旁通阀；V15—MV15的旁通阀；V16—MV16的旁通阀；HV5—MV5的旁通阀；MV1—V1的电磁阀；MV5—V5的电磁阀；MV10—水封水和置换水电磁阀；MV15—分离筒开启水电磁阀；MV16—分离筒密封水电磁阀；sV1—V1的空气节流阀；sV10—水封水和置换水节流阀；k2—分油机电动机启动控制箱；k3—温度控制箱；P1—出油口压力表；Ps1—压力开关—监视出油口高压；Ps2—压力开关—监视出油口低压

1.1 WHPX型分油机作为分水机的工作程序

工作程序如图9.3.7—2所示。

WHPX 分水机			XB1,断开 / XB4,断开	停止	运行									停止											
				准备	T1 启动			T2 分油	D1 污排			T2 分油		D2 停机											
接线端子	输出信号	阀继电器	触发功能		T0	T1A	T1B		T3	T4	T5			T6	T7	T8	T7	T8	T7	T8	T7	T8	T9	T10	T11
			时间(固定的),s		15		30		20	3	15			40	5	15	5	15	5	15	5	15	15		180
			时间(设定的),s			XC		XA	XD		XD													XC	
WTA-WTB1	U1	MV1	向分油机供油																						
WTA-WTB2																									
WTA-WTB3	U2	K3	预热器																						
WTA-WTB4	U3	MV5	关闭出水阀																						
WTA-WTB5		MV10	置换水/水封水																						
WTC-WTD1	U5	MV15	开启水																						
WTC-WTD2																									
WTC-WTD3	U6	MV16	密封水																						
WTC-WTD4																									
WTC-WTD5	U7	K2	分油机电动机的开关																						
WTC-WTD6																									
WTA-WTB7	UK4		排污信号去下一个分油机																						
WTG-WTH1			振动监测器锁闭																						
			排污指示灯																						

执行　　间隔执行　　可选择

图 9.3.7—2　WHPX 分水机的工作程序图

参看以上两图，把分油机的程序控制过程说明如下：

1)准备启动

准备启动时，温度控制箱 k3 工作，由供油泵来的油经过预热器时进行加热。图 9.3.7—2 中，准备阶段 k3 预热器一行为黑线，表示 k3 工作，进行加热。实际上 k3 在各阶段均工作，因此图中 k3 这一行全部为黑线。

准备启动和以后的各阶段，分油机的电动机是一直转动的，只有在停机时才切断电源。图 9.3.7—2 中，k2 为分油机电动机的状态，除了停机过程中(图中 T11)切断电源以外，其余各阶段，电动机一直是通电转动的。

2)启动

由图 9.3.7—2 可以看出，启动过程分为三个阶段。T0 阶段的时间固定为 15s，这时候分离筒密封水电磁阀 MV16 起作用。工作水箱中的水经 MV16 进入分油机，使分离筒密封。在启动过程的其余二个阶段，T1A(充入水封水)和 T1B(进油)，密封水电磁阀也是打开的，使分油机的分离筒处于密封状态。图 9.3.7—2 中，密封水电磁阀 MV16 在启动过程 T1 的三个阶段 T0、T1A、T1B 均为黑线，表示一直是打开的。

启动过程的第二阶段为 T1A，这一阶段的时间，是可以设定的。在控制箱中线路板右下角有插座 XA、XB、XC 和 XD 如表 9.3.7—1 所示。其中 XC 是用来设定 T1A 的时间的。当 XC 的跨接端 1 闭合时，设定时间为 40s。跨接端 2 闭合时为 20s。跨接端 3 闭合时为 10s。跨接端断开时为 0s。T1A 的设定时间为闭合的跨接端的时间之和。例如 1 和 3 闭合，,2 断开时，T1A 为 50s。跨接端 4 不是用于设定时间，而是设定送到下一级分杂机去的排污信号。当 4 闭合时，分水机每排污二次分杂机排污一次。当 4 断开时，分水机排污一次，分杂机也排污一次。

在 T1A 阶段，水封水和置换水电磁阀 MV10 开启，工作水箱中的水经 MV10 和节流阀 SV10 进入分油机中，使分离筒内充满了水，起到水封的作用。这一时间的长短可以用上法设定，最短为 10s，最多可为 70s。

表 9.3.7—1　**控制箱中跨接线的连接方法**

插　座	跨接线	断开	闭合	功　能	备　注
XA（1～8）	1	0min	170min	两次排污间的分油时间 T2 等于闭合的跨接线设定的时间之和例如 1,5,6 闭合则分油时间 T2 等于 170+10+5=185min	T2 共有 64 种时间，从 2min 到 335min
	2	0min	85min		
	3	0min	42min		
	4	0min	21min		
	5	0min	10min		
	6	0min	5min		
	7	0min	2min		
	8	断开			有三台分油机工作时，适用于第三台分油机作为分杂机用
			闭合		适用于通常的分水机和分杂机

续上表

插　座	跨接线	断开	闭合	功　　能	备　　注
XB	1	断开		用于 WHPX 型分油机的程序控制	
			闭合	用于 MAPX/MOPX 型分油机的程序控制	
	2	断开		排污时，在 T3、T4 期间，停止向分油机供油	仅适用于 WHPX 型分油机
			闭合	排污时，在 T3、T4 期间，继续向分油机供油	
	3	断开		报警的延时时间对分水机为 15s，对分杂机为 17s	分杂机的报警延时时间略大于分水机，这样在分水机和分杂机串联运行时避免出现误报警
			闭合	报警的延时时间对分水机为 30s 对分杂机为 32s	
	4	断开		分水机程序控制	
			闭合	分杂机程序控制	
XC	1 2 3	0s 0s 0s	40s 20s 10s	用于设定启动时的 T1A 时间的停机时的 T10 时间	T1A 或 T10 的时间为闭合的跨接线的设定时间之和
	4	断开		分水机排污一次向下级分杂机发出一个排污信号，使分杂机也排污一次	仅用于分水机程序
			闭合	分水机排污两次使下一级分杂机排污一次	
XD	1 2	0s 0S	10s 5S	用于设定排污过程中 T3 和 T5 的时间	T3 和 T5 的时间为闭合的跨接线设定的时间之和

启动的第 3 阶段为 T1B。这一阶段的时间固定为 30s。这时电磁阀 MV1 起作用，控制空气通过节流阀 SV1，电磁阀 MV1，作用于气动三通阀 V1。使从供油泵来的油经过预热器、三通阀 V1 而进入分油机(参看图 9.3.7—1)。这段时间使分离筒内逐渐进油，最后达到稳定状态。

在启动的第 3 阶段，电磁阀 MV5 不起作用，使出口水气动球阀 V5 打开。电磁阀 MV10 关闭，使水封水不再进入分油机。

3)分油

分油过程 T2 的时间长短由 XA 的跨接线设定，这一时间表示分油多少小时后排渣一次。它取决于被分离的油的质量。

插座XA上的跨接线1～7用于设定分油时间。分油时间T2等于表9.3.7—1中闭合的跨接线的时间之和。例如跨接线1、5、7闭合时，T2为182min。

在分油过程中，密封水电磁阀MV16每隔5min开启5s。以补充密封水可能产生的泄漏。在图9.3.7—2中用虚线来表示间断性开启。

4)排污

排污过程分为三个阶段。

排污的第1阶段T3为充入置换水，这时电磁阀MV5起作用，使出水口气动球阀关闭。同时电磁阀MV10开启，使工作水箱中的水经过节流阀sV10进入分离筒中，使分离筒中的油被进入的水置换。以免排污时把分离筒中的油一起排出而造成浪费。T3的时间为固定的20s加上XD的跨接线设定的附加时间，如XD的跨接线1闭合，则附加时间为10s，T3的总时间为30s。

在整个排污过程中，出水口气动球阀V5(由电磁阀MV5控制)是关闭的。置换水电磁阀MV10是开启的。密封水电磁阀MV16也是开启的。

排污的第2阶段T4是真正的排污阶段，这时分离筒开启水电磁阀MV15打开，打开的时间固定为3s。这时分离筒中积聚的污物从排污口排出。排污时分离筒会产生振动，为此对振动监测器实行锁闭，使它不能报警，以免产生误报警。

在排污的第1和第2阶段，通常不让油进入分油机以免排污时浪费油。但是也可以使油进入分油机。利用插座XB上的跨接线又可以选择是否供油。如断开则不供油，如闭合则向分油机供油。

排污的第3阶段T5为排污的稳定期。它的时间为15s加上附加时间。附加时间由插座XD的跨接线设定。跨接线1闭合为10s，2闭合为5s。

在T5时间内电磁阀MV1起作用，控制气动三通阀V1，使油重新进入分油机。电磁阀MV15关闭，停止供应开启分离筒的控制水。这时分离筒在密封水单独作用下重新密封。

排污完毕后又重新进入分油阶段。

5)停机

停机过程分为T6～T11共6个阶段，除了T10阶段的时间由插座XC的跨接线设定以外，其余各阶段的时间均是固定的，见图9.3.7—2。

T6—T11各阶段的工作情况如下：

T6—40s，电磁阀MV1使三通阀V1切断供给分油机的油。MV16关闭，切断密封水。MV5控制出水口球阀V5，关闭出水口。MV10开启，向分离筒充入置换水。

T7—5s，MV15打开，开启分离筒，部分排污。振动监测器被锁闭。

T8—15s，MV15关闭，切断开启水，排污后稳定期。共4个T7和T8阶段相当于一次总排污。

T9—15s，MV16打开，密封水使分离筒密封。

T10—由插座XC的跨接线设定时间。MV5关闭出水口。MV10打开，停机前向分离筒注入置换水。

T11—k2切断分油机电动机电源。在180min内不能重新启动。

1.2 WHPX 型分油机作为分杂机的工作程序(图 9.3.7—3)

WHPX 分杂机			XB1开启 XB4闭合	●停止	●运行							●停止			
				准备	T1 启动			T2	D1 排污		T2	D4 停机			
接线端子	输出	阀继电器	触发功能		T0	T1A	T1B	分油	T4	T5	分油	T3	T4	T11	
			时间(固定的)s		15		30		3	15		15	5	180	
			时间(设定的)s			XC		XA		XD					
WTA-WTB1	U1	MV1	向分油机供油												
WTA-WTB2															
WTA-WTB3	U2	K3	预热器												
WTA-WTB4	U3														
杂TA-WTB5															
WTC-WTD1	U5	MV15	开启水												
WTC-WTD2															
WTC-WTD3	U6	MV16	密封水												
WTC-WTD4															
WTC-WTD5	U7	K2	分油机电动机的开关												
WTC-WTD6															
WTA-WTB7	UK4														
WTG-WTH1	U/DC		振动监测器锁闭												
			排污指示灯												

执行　　间隔的执行　　可选择

图 9.3.7—3　WHPX 用作分杂机时的程序

WHPX 型分油机作为分杂机使用时,各阶段的功能如下:

1)启动过程 T1

T0　一电磁阀 MV16 开启使分离筒密封。

T1A—延时,使分水机和分杂机串联工作时在时间上互相协调。

T1B—MV1 动作,使 V1 动作。向分油机供油。

2)分油过程 T2

分油时间的长短由插座 XA 上的跨接线设定,电磁阀 MV16 每隔 5min 开启 5s 以补充密封水。

3)排污过程 D1

T4 一电磁阀 MV15 打开,开启水打开分离筒。振动监测器被锁闭,以免误报警。T4 阶段是否供油可由 XB 的跨接线 2 来设定,2 闭合为供油。

T5 一电磁阀 MV15 关闭,切断开启水,MV1 动作,使 V1 向分油机供油。为排污后的进油稳定期。

4)停机过程 D4

T3 一电磁阀 MV1 使阀 V1 停止向分油机供油。电磁阀 MV16 关闭密封水。

T4—电磁阀 MV15 打开,开启水打开分离筒,部分排污。振动监测器被锁闭。

T11—分油机电动机开关断开,切断电源。

2　分油机控制系统的操作

2.1　启动准备

1)选择正确的比重环；

2)检查分离筒的安装是否正确；

3)松开刹车手柄；

4)检查齿轮箱油位是否正常；

5)检查工作水系统的出口截止阀是否打开，并检查电磁阀MV10、MV15、MV16的旁通阀V10、V15、V16是否关闭；

6)检查工作水箱中的水是否足够；

7)检查空气管路是否接通压缩空气；

8)打开供油泵前后的进出口阀；

9)打开循环系统的阀和与油柜相连的管路上的阀；

10)利用XA、XB、XC、XD的跨接线设定程序中的某些时间，参看表9.3.7—1；

11)把程序开关置于停止(STOP)位置。把电源开关置于通电位置1(图9.3.7—4)。

2.2　分油机的启动

1)按图9.3.7—5中的按钮1，启动分油机的电动机、供油泵和预热器等。直到分油机达到全速和被分离的油的温度正常后再进行下一步操作。如有不正常的振动应停机检查。

2)把程序开关置于“运行”(RUN)位置。(图9.3.7—6)这时白色工作指示灯亮。在启动阶段黄色排污指示灯也会亮(不闪光)。

如果两台分油机串联运行，应先启动分水机再启动分杂机。停机时先停分杂机再停分水机。

2.3　运　　转

1)分油时间的长短，由插座XA的跨接线决定。分油时控制箱面板情况如图9.3.7—7所示；

2)当设定的分油时间到达后自动开始排污。这时排污灯亮，如图9.3.7—8所示；

3)用手按一下排污指示灯按钮即可手动排污一次。如图9.3.7—9所示。

2.4　停　　机

1)把程序开关置于“停机”(STOP)位置，(图9.3.7—10)。白色工作指示灯灭。停机过程中进行排污，排污时黄色的排污指示灯闪光，然后转为平光达3min。分油机电动机自动停止运转，在3min之内不能重新启动。当黄色的排污指示灯熄灭时，程序控制机构恢复到起始位置，可以重新启动分油机；

2)当黄色的排污指示灯持续发光时可使用分油机刹车装置促使分油机停转；

3)分油机完全停转后可松开刹车手柄；

4)手动启动分油机，运转 1min 使分离筒排空。不允许使用程序开关进行这一排空操作。在停机过程中如使分离筒内注满水可避免分油机振动。

2.5 应急停机

1)按下机舱内分油机的红色应急按钮(图 9.3.7—11)。分油机电动机开始停转，继续供油。排污指示灯持续发光。按下应急停机按钮 3min 后不再向分油机内供油，而转为循环旁通；

2)按顺时针方向转动应急停机按钮可使之复位(图 9.3.7—12)；

3)当报警时可按下报警指示灯按钮使报警灯转为平光(图 9.3.7—13)。在故障未排除前不可使程序控制装置复位。

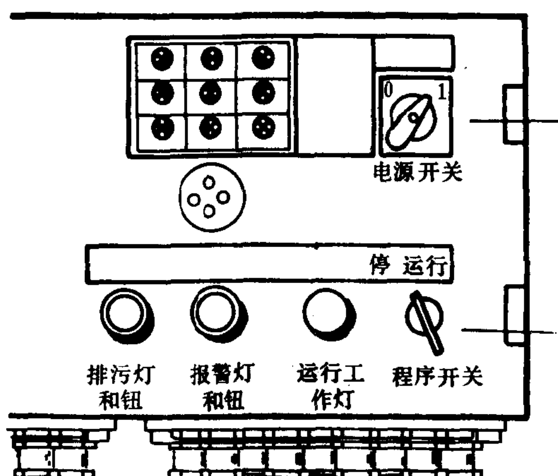


图 9.3.7—4 分油机启动前的状态

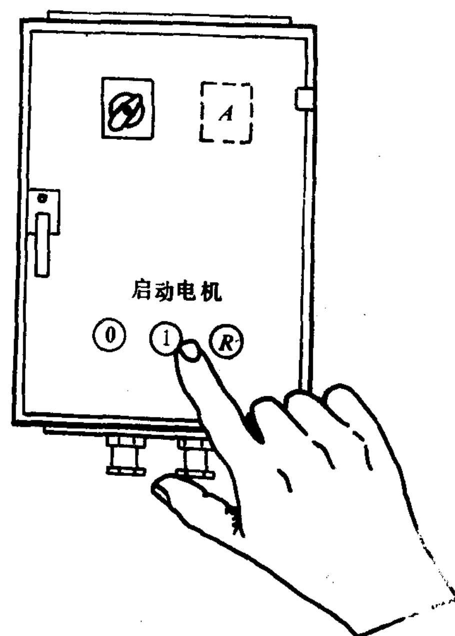


图 9.3.7—5 启动分油机的电动机

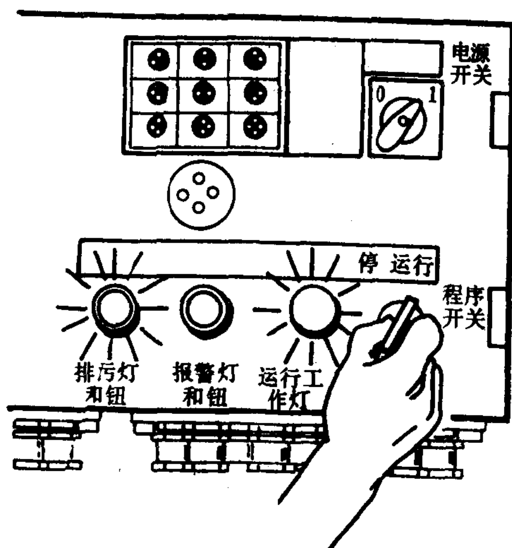


图 9.3.7—6 启动程序控制装置

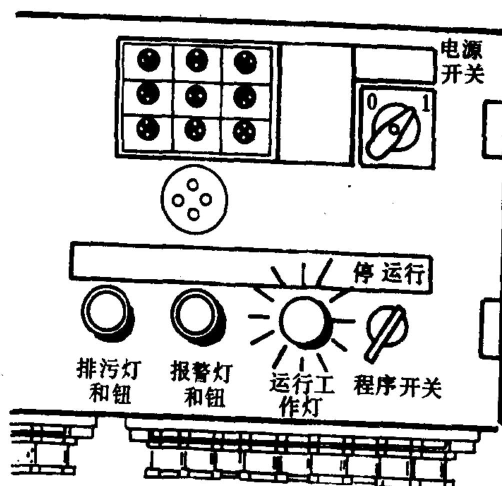


图 9.3.7—7 进行分油

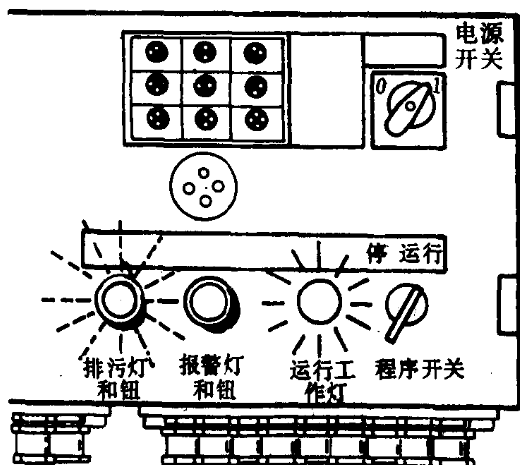


图 9.3.7—8 自动排污

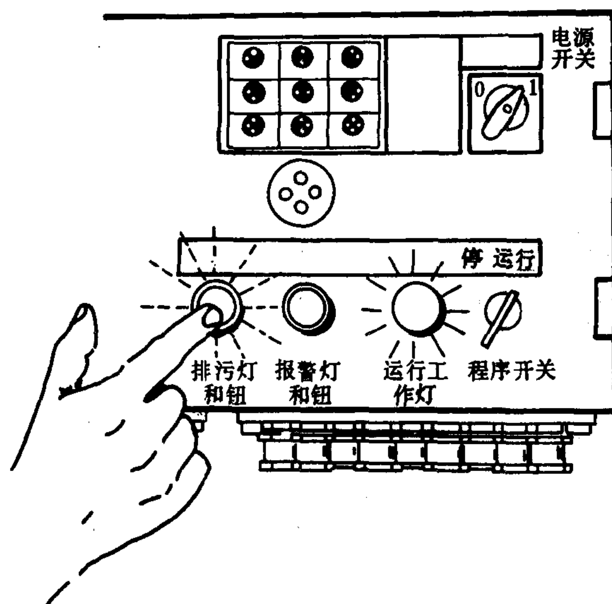


图 9.3.7—9 手动排污

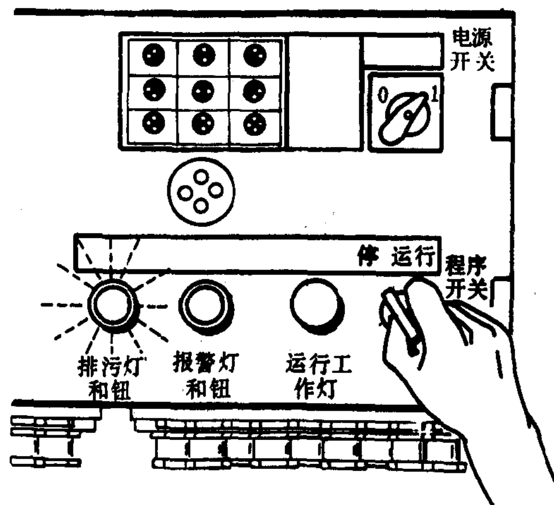


图 9.3.7—10 停机

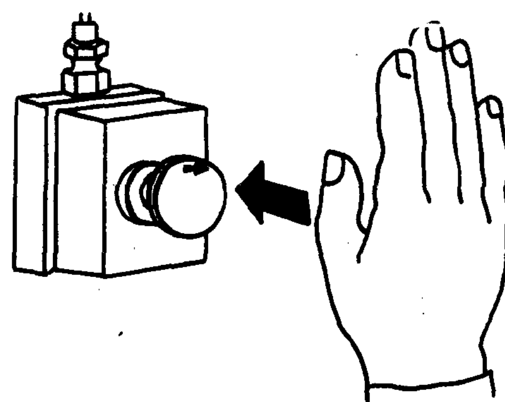


图 9.3.7—11 应急停机

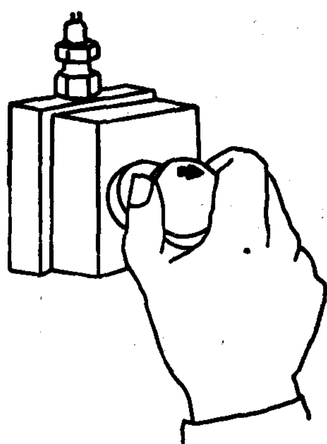


图 9.3.7—12 应急停机复位

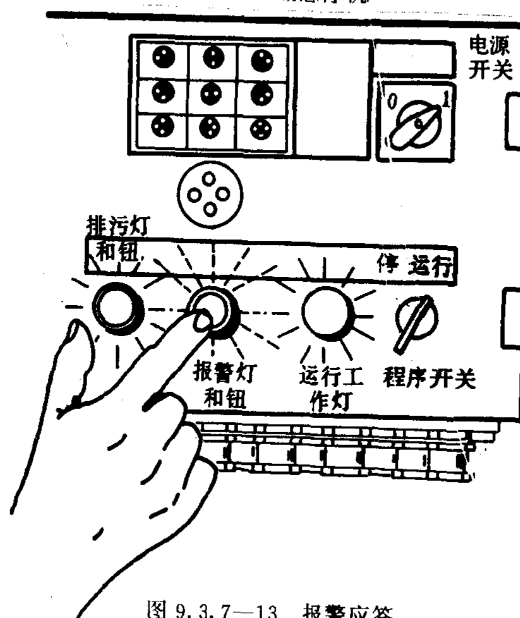


图 9.3.7—13 报警应答

第 8 章　燃油、滑油自清滤器

1　燃油、滑油自清滤器

船用柴油机的燃油和滑油均要进行过滤。如果频繁打开滤器，灰尘杂质容易进入油中，且增加了管理人员的劳动强度。自清滤器能克服上述缺点，近年来被广泛应用。以下介绍安装在我国远洋船上的一种自清滤器，它的原理如图 9.3.8—1 所示。

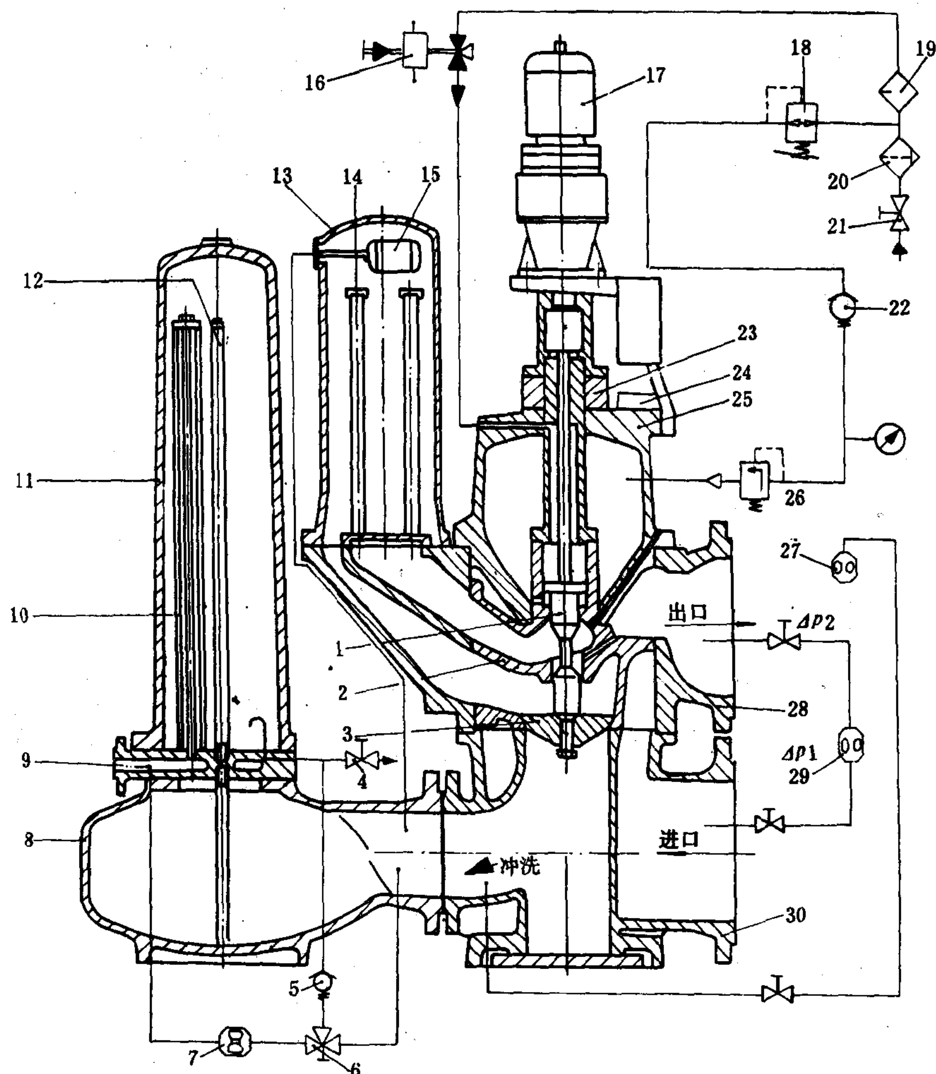
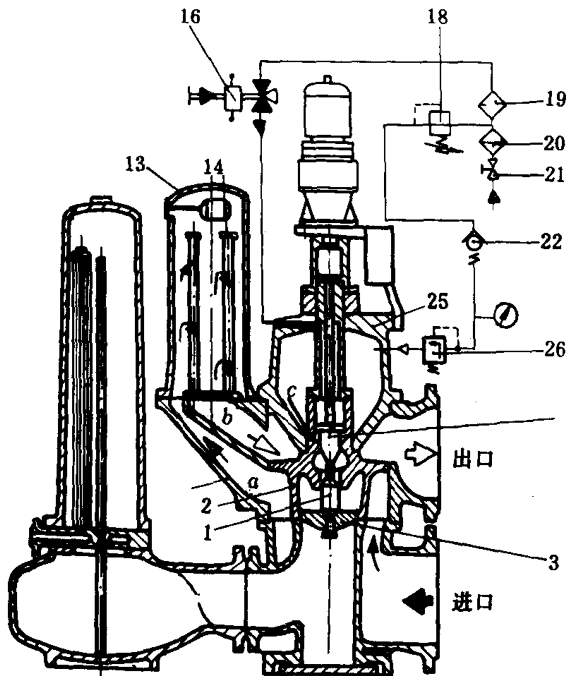


图 9.3.8—1　自清滤器原理图

1—带活塞的阀杆；2—转阀；3—阀；4—泄放旋塞；5—止回阀；6—转换旋塞；7—污油渣过滤前后的压力差指示表；8—污油渣室；9—污油渣过滤后的出口；10—污油渣滤芯；11—污油渣过滤室；12—污油渣上升管；13—过滤室（共有 5 个）；14—油的滤芯；15—放空气器，16—用控制空气进行冲洗的电磁阀（图 9.3.8—4 电路图中的 s1），并设有手动冲洗按钮（图 9.3.8—4 中的 b1）；17—带动转阀 2 转动的电机；18—压力调节阀（调节空气压力，最大为 0.4MPa）；19—向空气中添加滑油器；20—空气滤器；21—空气截止阀；22—止回阀；23—凸轮；24—限位开关（图 9.3.8—4 中的 b2）；25—冲洗用的空气室；26—安全阀（超过 0.4MPa 开启）；27—压力指示器 Δp2；28—外壳；29—油的进出口压差指示器 Δp1；30—油进口处

1.1 自清滤器进行过滤时的工作情况

自清滤器进行过滤时的工作情况如图 9.3.8—2 所示



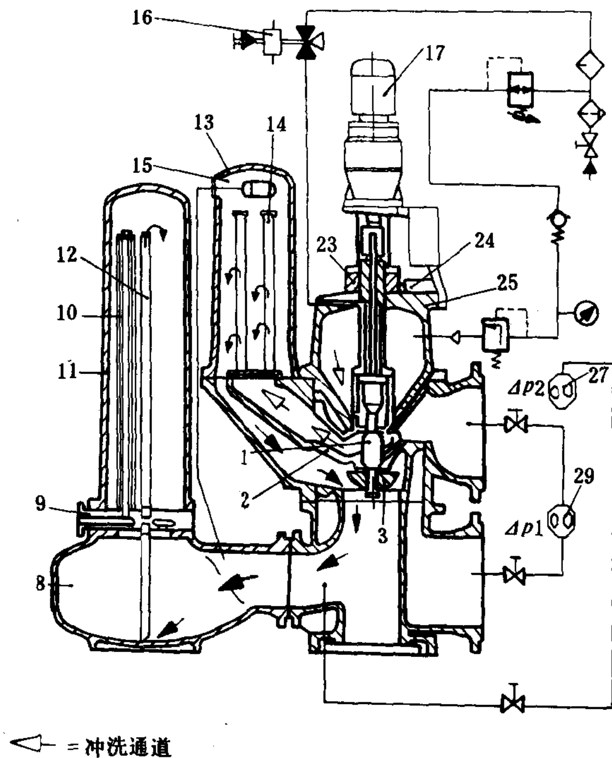


图 9.3.8—2　自清滤器过滤时的工作情况

图 9.3.8—3　反向冲洗时的情况

这种自清滤器共有 5 个过滤室 13，每次冲洗其中的一个，冲洗完毕作为备用，其余 4 个过滤室进行过滤。

当转阀 2 处于图 9.3.8—2 所示位置时，图中的过滤室 13 处于过滤状态。

控制用的压缩空气经过截止阀 21、空气滤器 20 以后，分为两路。一路经添加滑油器 19，使控制空气中稍稍带一点滑油，空气通过冲洗阀 16 到达阀杆 1 的活塞上部。另一路空气经过压力调节阀 18、止回阀 22、安全阀 26、进入空气室 25 中，然后经过小孔 c 进入阀杆 1 的活塞下部，由于活塞上部的面积大于下部的面积，故空气压力把阀杆 1 和阀 3 压下，使阀 3 关闭。需要过滤的油经过转阀 2 的外围，沿箭头 a 的方向进入过滤室 13，油从管状滤芯 14 的外面穿过滤芯到达滤芯的内腔，油中的污渣滞留在管状滤芯 14 的外表面，过滤后的油沿箭头 b 的方向流出。

1.2 反向冲洗时的工作情况

反向冲洗时的情况如图 9.3.8—3 所示。

当滤芯 14 外表面的污渣越积越多时，油通过滤芯的阻力也越大，使进出口的油压差 Δp1 越来越大，当 Δp1 大到某一个预先设定的值以后，使电路图 9.3.8—4 中的开关 Δp1 闭合，开始反向冲洗。首先电动机 17 转动，带动转阀 2 从上次冲洗干净的滤器室 13 转到下一个滤器室 13。使上次冲洗干净作为备用的滤器 13 投入过滤工作。由于它是干净的，阻力很小，投入过滤工作以后，进出口的油压差 Δp1 立即减小。当转阀 2 转到下一个滤器室 13 的位置时，凸轮 23

顶动限位开关 24，使电路图 9.3.8—4 中的这一限位开关 b2（即 24）的 11 和 12 断开。于是电磁冲洗阀 16 动作（电路图中的 s1），它使阀杆 1 活塞上部的空气通过冲洗阀 16 放大气，但活塞下部仍有空气压力，于是阀杆 1 和阀 3 被抬起，空气室 25 中的空气经小孔 c 沿箭头方向进入滤芯 14 内部向外冲出，进入污油渣室 8 中。这时滤芯 14 外表面的污渣被压缩空气冲洗干净。这一冲洗时间由延时继电器决定（电路图中的 d1）。冲洗完毕后，冲洗电磁阀动作，压缩空气通过截止阀 21 和冲洗阀 16 重新进入阀杆 1 活塞的上部，把阀 3 压下后关闭。要过滤的油从进口处通过转阀 2 重新进入过滤室 13，其中的空气经过放空气器 15 进入污油渣室 8。污油渣室中的污油通过上升管 12 从纸质滤芯 10 的外面流入里面，再从 9 处流出。从这里流出的油经过纸质滤芯 10 的过滤，仍然是可以应用的干净油，所有的污渣都滞留在纸质滤芯 10 的外表面。以后定期清洗或换新纸质滤芯 10。在反向冲洗的过程中，压力指示器 Δp2 感受到压力，指示器上出现红色标记，冲洗完毕后，压力消失，压力指示器 Δp2 出现白色标记。

1.3 电 路 图

图 9.3.8—4 是自清滤器的电路图。

图 9.3.8—4 自清滤器的电路图

Δp1 是图 9.3.8—1 中油的进出口压差开关（及指示器）29；Δp2 是图 9.3.8—1 中的压力指示器 27；s1 是图 9.3.8—1 中用控制空气进行冲洗的电磁阀 16，s1 有电时，冲洗阀 16 使阀杆 1 上部通大气，进行反向冲洗；b2 是图 9.3.8—1 中的限位开关 24，当转阀 2 对准一个滤器室 13 时，凸轮 23 把限位开关 24 顶起，开关 b2 的触头 11—12 断开，否则 11—12 闭合；m1 是图 9.3.8—1 中的电动机 17。

图 9.3.8—4 的工作原理如下：

1)当主开关 a1 闭合时,延时继电器 d1(10 号电路)通电。但是延时时间未到时,d1 的触头 15—16(7 号电路)是闭合的。这时冲洗电磁阀 s1 有电,进行一次反向冲洗,d1 的延时时间终了时,d1 的触头 15—16 断开,15—18 闭合(7 号电路),冲洗电磁阀断电,冲洗过程完毕。

2)当图 9.3.8—1 中的进出口压力差 Δp1 达到最大压力差时,图 9.3.8—4 中的压差开关 Δp1 的触头 1—2 闭合(4 号电路),因 7 号电路中 d1 的触头 15—18 是闭合的,又因压力开关 Δp2 没有感受到压力,Δp2 的触头 1a—3a 闭合,于是继电器线圈 c1 有电。使电机 m1(即图 9.3.8—1 中的电机 17)的触头 c1 闭合而转动。它带动转阀 2 转动,使备用的干净滤室 13 投入工作。于是进出口油压差 Δp1 立即减小,使压力开关 Δp1 的触头 1—2 断开。电机 17 转动后,图 9.3.8—1 中的凸轮 23 不再顶动限位开关 24。于是电路图 9.3.8—4 中的限位开关 b2(即图 9.3.8—1 中的 24)的触头 11—12 闭合(6 号电路),继电器线圈 d2 有电,d2 的触头 13—14 闭合(5 号电路),故线圈 c1(4 号电路)仍然有电,电机 m1 仍然转动。d2 有电还使 d2 的触头 21—22 断开(10 号电路),于是 d1 断电,使 d1 的触头 15—16 闭合,15—18 断开(7 号电路)。

3)当转阀 2 转到对准下一个滤器室 13 时,图 9.3.8—1 中的凸轮 23 重新顶住限位开关 24,这时电路图中的 b2(即 101)的触头 11—12 断开(6 号电路),线圈 d2 断电,d2 的触头 13—14 断开(5 号电路),线圈 c1 断电,使电动机 m1 停止转动。d2 的触头 21—22 闭合(10 号电路),延时继电器 d1 通电,开始计算时间。由于 d1 的触头 15—16 闭合,(7 号电路)、c1 的触头 21—22 闭合,故冲洗电磁阀 s1 有电,使图 9.3.8—3 中的电磁冲洗阀 16(即 s1)通大气,开始一个反向冲洗过程。当延时继电器 d1 的延时时间终了以后,d1 的触头 15—16 断开(7 号电路),d1 的触头 15—18 闭合。

4)在反向冲洗时,Δp2 有压力,它的触头 1a—3a(4 号电路)断开。等冲洗完毕,压力下降后,Δp2 的触头 1a—3a 才重新闭合。

5)如 m1 超负荷,3 号电路中的 e2(95—96)断开,e2(97—98)闭合,继电器线圈 d4 有电,使 d4 的触头 21—22 断开而报警。如进出口油压差超过报警时的油压差,则 Δp1 的触头 1a—3a 断开,也能报警。

6)如按下 5 号电路中的按钮 b1,则进行一次手动冲洗。

7)图 9.3.8—4 中,h1 为电源指示灯,h2 为电机超负荷指示灯。h3 为冲洗时的指示灯。

1.4 维护保养

1)定期检查各管子接头处有无泄漏。

2)滤器的开关箱面板上,装有冲洗次数的计数器,滤器装好冲洗过 500 次以后,应检查滤芯 14。以后经 5000 次冲洗后,再检查一次。再以后经 10000 次冲洗后,检查滤芯 14 一次。如果两次冲洗间的时间明显地缩短,建议清洗滤器。如果两次冲洗间的时间间隔突然变长,则可能是滤芯 14 损坏,应予检查。

3)空气滤器 20,应定期清洗。

4)每个月检查加滑油器 19 中的油位,如果比正常油位刻度低,应补充滑油。

5)拆检滤器后,各垫片应换新。

6)每冲洗 10000 次后,应检查污油渣的出口处有否泄漏。

7)每星期应检查压力差指示器 7 是否出现了红色标记。如出现了一部分红色标记,应清洗滤芯 10。如果红色标记出现了 90%,则滤芯 10 应该换新。通常每四个月应换新一次。

8)在不中断过滤的情况下,检查或清洗滤芯时应关断主电源。把冲洗阀 16 上的手动冲洗

按钮按下后旋转一下，使它始终锁住在冲洗位置。压力指示器 Δp2（图 9.3.8—1 的 27）应为白色，即表示污油室没有压力时，才可进行检修。否则会造成事故。

2 HLZ 型滑油自清滤器

HLZ 型滑油自清滤器是我国 70 年代末开发的系列产品，流量从 $25m^3/h$ 到 $350m^3/h$。适用于各类船舶发动机（包括主、辅机），陆用电站，矿山机械，冶金工业及一切重型机械润滑油系统中。其主要优点是：工作可靠，性能稳定，排污时滑油损耗少，使用维修方便。目前国内新造船舶几乎都采用该产品。

2.1 HLZ 系列自清滤器的特点和工作原理

2.1.1 HLZ 系列自清滤器的特点

1）HLZ 系列自清滤器是一台组装网式滤器，采用间歇冲洗，冲洗辅助能源为压缩空气。

2）装置用二台滤器并联组成，当滤器堵塞时，通过电气控制系统，自动冲洗。在冲洗期间滑油压力降不超过 0.02MPa。

3）具有避免冲洗空气进入滑油系统的措施。

4）当连续冲洗二次失败时，发出声、光报警信号。

5）装置对排出污油采用二种处理方式：一种把污滑油直接排至船上通用污油柜，另一种排入专设的污油箱，待满后自动抽至分油机分离。

2.1.2 HLZ 型滑油自清滤器工作原理

图 9.3.8—5 为 HLZ 系列自清滤器工作原理简图

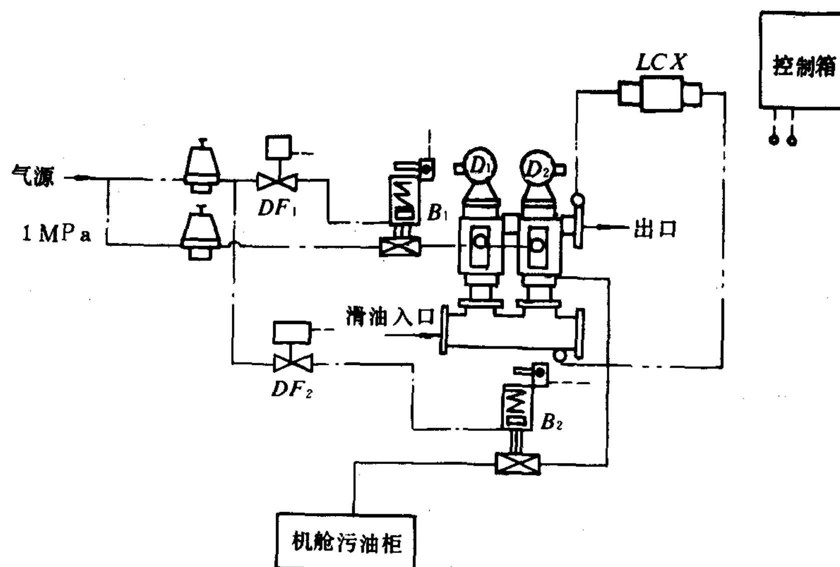


图 9.3.8—5 HLZ 系列自清滤器工作原理图

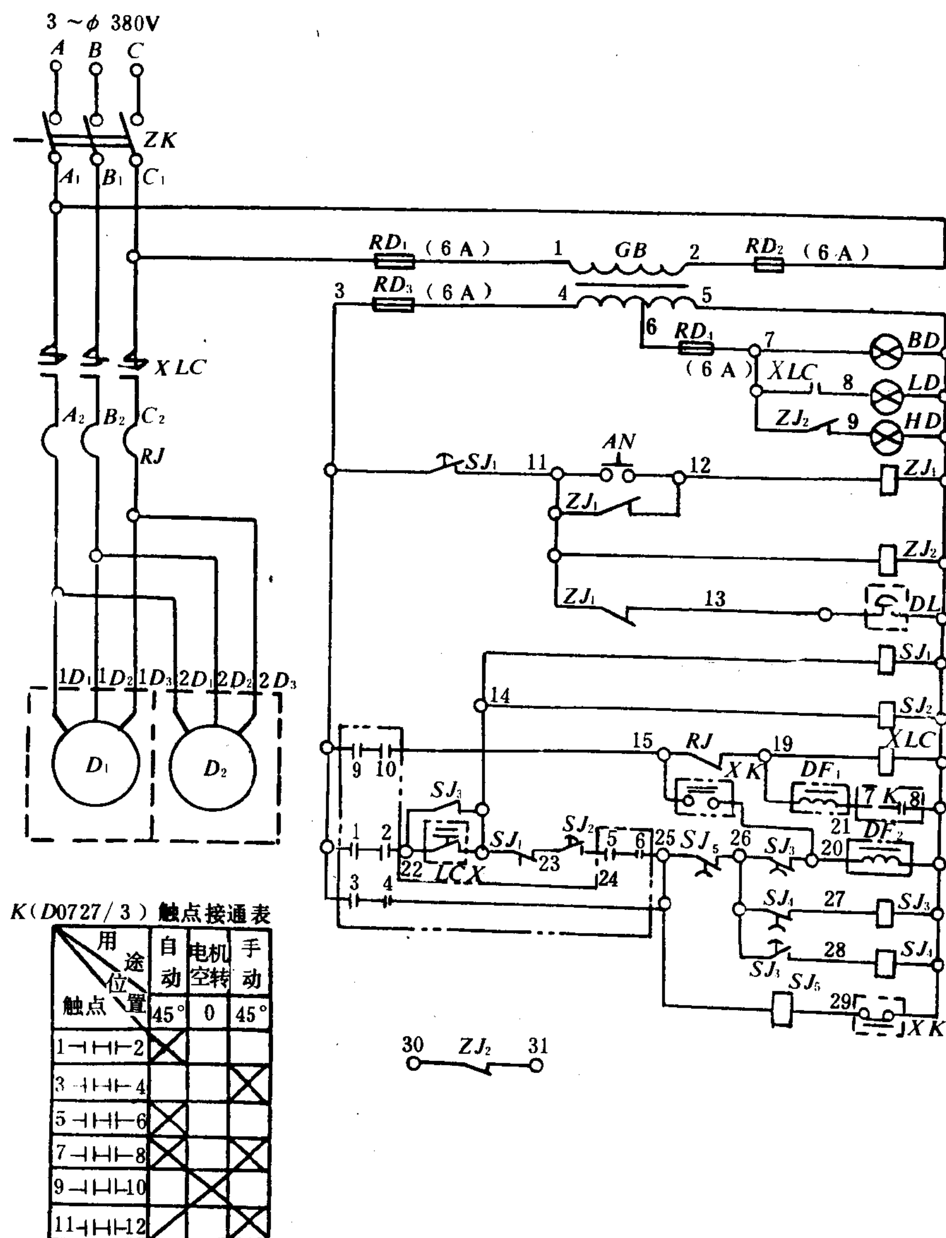
由滑油泵泵出的滑油，经总管分别进入两只并列过滤器，然后供发动机润滑。

压缩空气经减压后，一路作为冲洗气源到气控冲洗阀 B_1，另一路作为操作气源到电磁阀 DF_1，DF_2 和排污气控阀 B_2。

在滑油过滤器工作一段时间之后，使滤网上的机械杂质聚集增加，直到滤器的压力损失增加到预定值上限时，差压发讯器 LCX 闭合，发出电信号。通过控制箱，首先使 DF_2 电磁阀动

作，排污阀 B_2 打开。当排污阀全开时，行程开关闭合，两台过滤器的电机同时带动滤芯转动。接通电磁阀 DF_1，气控阀 B_1，同时冲洗两台过滤器。当滤芯转过略多于一圈时，排污完毕。电磁阀 DF_1，DF_2 关闭，排污阀 B_2 及冲洗阀 B_1 在弹簧作用下也关闭。如果冲洗后，差压降低到预定值以下，则清洗完结。如果差压未降到预定值以下，重复以上过程。连续二次未能使差压降到预定值以下，则认为清洗失败，装置自动报警。

图 9.3.8—6 为自动控制系统电路图



触点 \ 用途 位置	自动 45°	电机空转 0	手动 45°
1⊣⊢⊢2	×		
3⊣⊢⊢4			×
5⊣⊢⊢6	×		
7⊣⊢⊢8	×		×
9⊣⊢⊢10		×	
11⊣⊢⊢12	×		×

图 9.3.8—6 自动控制系统电路图

当滤器进出口压差升高到预定值（$\Delta p=0.08$MPa），差压发讯器动作，接通控制回路，时间继电器 SJ_1、SJ_2 通电，开始计时。3s 后，SJ_2 常开触头闭合，接通二位三通电磁阀 DF_2，排污气控阀 B_2 打开。同时，时间继电器 SJ_3 开始计时。当气控阀全开时，行程开关 XK 合上，交流接触器吸合，电磁阀 DF_1 通电，冲洗气控阀 B_1 打开，清洗开始。同时，电机 D_1，D_2 转动，通过减速装置带动滤芯回转，运转指示灯 LD 亮。当 SJ_3 通电 14s 后，其常闭，常开触头动作，完成以下动作；

1)DF_2 断电，排污气控阀 B_2 在弹簧作用下自行关闭。

2)XK 触点断开，XLC 断电，D_1，D_2 电机及滤芯停止转动，LD 灯灭。

3)DF_1 断电，冲洗气路关闭，清洗结束。

4)SJ_4 通电，3s 后其常闭延时触头开，SJ_3 断电。如果滤器进出口压差已降至预定值以下，则清洗结束。如果滤器进出口压差尚未降至预定值以下，差压发讯器触头仍处于接通状态，SJ_3 断电后即复位，重复以上冲洗过程。当第二次冲洗结束后，滤器进出口压差尚未降到预定值以下，时间继电器 SJ_1(37s)动作，常闭延时触头脱开，切断控制回路。同时常开延时触头闭合，中间继电器 ZJ_2 吸合，故障指示灯 HD 亮，电铃 DL 报警，滤器冲洗失败。

当控制开关 K 置于“自控”位置时，在差压发讯器动作 6s 后，控制系统尚未动作，则时间继电器 S_{J5}动作，常闭延时触头断开，切断控制回路，37s 后 S_{J3}动作，发出声、光报警。

该装置除自控冲洗外，尚能手操冲洗。

图 9.3.8--7 为过滤器结构图。

2.2 流通面积估算

滤器的工作能力，取决于油中固体颗粒的含量；过滤器前后油的压力差、油的粘度和温度。滤器表面的压力越大，阻力越小，则滤器的工作能力越大。油流经滤芯的速度越小，表面压力越低，则过滤精度越高。滤芯的清洗周期决定于滤器的压力降，而滤芯寿命同样也决定于压力降。在实际使用中，对于不锈钢丝网允许压力降一般取 0.08MPa。因此，根据流量和滤网未污染时允许的压力降来估算滤芯的有效过滤面积。

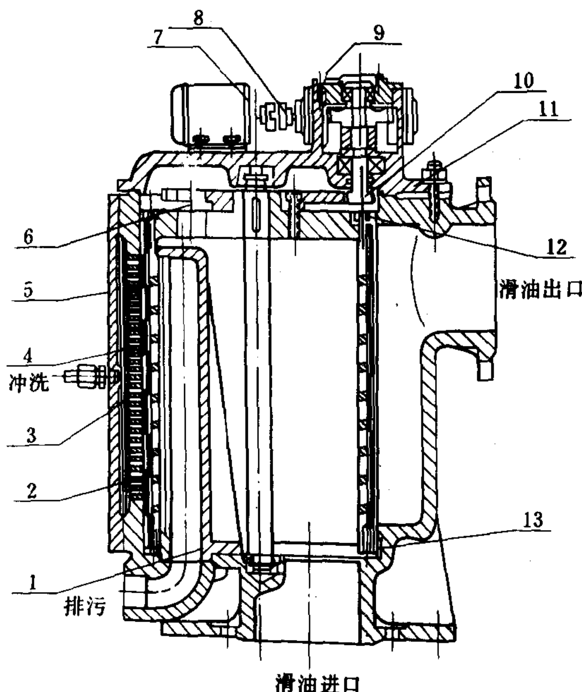


图 9.3.8—7 过滤器结构图

1—集污壳；2—滤芯外套；3—粗网布；4—细网布；5—滤芯本体；6—大齿轮；7—十字滑块；8—半联轴器；9—蜗杆轴；10—小齿轮轴；11—滤器盖；12—上压圈；13—下压圈

滤芯的有效过滤面积按下式计算：

$$A=\frac{10Q\eta}{\alpha\Delta p}\quad cm^2$$

式中：Q ——过滤油量，l/min；

η ——油的动力粘度，$P_a\cdot s$；

Δp——滤网未污染时的允许压力降，MP_a；

α ——滤芯材料的单位通油能力，l/ch²；

滤芯实际过滤面积：

$$A_1=\frac{A}{\varepsilon}$$

式中：ε——金属滤网有效面积系数，

$$\varepsilon=\frac{w^2}{(d+w)^2}\times100\%;$$

其中：w——空隙尺寸，mm；

d——线径，mm。

2.3 使用注意事项和维护方法

2.3.1 装置启动前的检查

1)拆开减速器上盖,检查减速装置,清洗并加入机油,必须达到蜗杆轴心线以下15mm处。

2)用手搬动电机联轴器,应无碰物感觉。

3)如发现滤芯装置受阻,应把它放在油槽中用煤油和工业油1:1混合液清洗并吹干。在用压缩空气吹干时,应从上到下,从外向内,同时滤芯要用物体阻隔,以防杂质吹向另一面网壁上。

2.3.2 装置维护管理

1)电机应按一种方向旋转,不许变更。

2)装置长期不工作或第一次启用,应利用控制箱上手动操作按钮检查控制箱是否正常。

3)在正常情况下,滤器入口与出口的滑油压差不允许超过0.08MPa,并在此压差下检验和固定差压发讯器。

4)装置工作前,首先启动滑油泵,待管路压力正常,再把装置电源接通,投入工作。

5)如无特殊情况,不允许拆开。

6)装置应经常保持清洁。

7)在最初使用50h以后,应打开滤器进行检查,然后使用500h后再打开检查,最后是每1000h检查一次。

2.4 故障及排除

1)当进出口滑油压差超过0.08MPa时,把开关K转到自控位置后,仍未清除压差,则说明滤芯已堵塞且冲洗无效,应及时检查。

(1)首先检查有无电源,气源。

(2)检查冲洗电磁阀是否打开,有否冲洗气源,压力是否为滑油压力加0.2MPa。

(3)排污气控阀是否打开,行程开关是否合上,排污是否畅通。

(4)电机是否转动。

(5)电路控制程序是否符合设计要求。

(6)当进出口滑油压差超过0.08MPa,把开关K转到检查位置后,滤器冲洗,压差消除,则应检查差压发讯器工作是否正常。

如果以上均正常,则需将滤芯取出,进行清洗。

2)在滤器冲洗过程中,经常出现熔丝烧断现象时,应检查滤芯是否被卡住。

3)当滑油系统出现异常滑油损耗时,需检查:

(1)差压发讯器是否处于长期闭合状态。

(2)电磁阀DF_2是否处于长期通电和漏气。

(3)排污气控阀B_2是否打开和泄漏。

4)在滑油系统投入正常工作时,若出现异常空气时,需检查:

(1)差压发讯器是否处于长期闭合状态。

(2)电磁阀DF_1是否长期通电和漏气。

(3)冲洗气控阀B_1是否打开和泄漏。

第 9 章　泵自动切换及空压机自动控制

1　泵自动切换

1.1　概　述

泵自动切换是指某一台泵在运行中，由于某种原因而出现故障时，自动转换为备用泵的控制过程。对于直接服务于主、辅机及辅锅炉的泵来说，除能进行泵的应急自动切换外，还必须能够在电网断电复电后依据泵的工作性质按顺序逐台重新自动启动，并发出声光报警等。

控制线路由有触点继电器、接触器和无触点的电子元件等组成。

1.2　常用泵自动切换控制线路

图 9.3.9—1 为常用泵自动切换控制线路。控制方式由转换开关 HK 的位置决定。操作部位由设在机舱两处的起停按钮 QA、TA 和 QA_1、TA_1 选择。线路联锁由装在泵出口管路上的压力继电器 1YJ、2YJ 执行。通过压力继电器触头交错接在对方的控制线路，实现联锁要求。

转换开关 HK 置于"手动"位置时，线路为自保控制线路，两台泵均可通过各自设在两处的起停按钮进行手动起停操作；转换开关 HK 置于"自动"位置时，其中一台泵运行，另一台泵处于备用状态并能实现应急时泵自动切换。

现以一号泵工作为例，简述泵的启动和自动切换。

1）启动　合上电源开关 1DK、2DK，按下设在两处的任一启动按钮 1QA 或 $1QA_1$ 后，中间继电器 1ZJ、3ZJ 有电，触头 $1ZJ_2$、$3ZJ_1$ 闭合，交流接触器 1CC 有电，触头 1C 闭合，一号泵启动。当一号泵排出管压建立，压力继电器 1YJ 动作，二号泵控制线路中触头 $1Y_1J$ 上合，中间继电器 2ZJ 有电，触头 $2ZJ_1$、$2ZJ_2$ 闭合，二号泵处于备用状态。

2）自动切换　由于某种原因运行泵发生故障，排出管压降到一定值时，压力继电器 1YJ 复位，二号泵控制线路中触头 1YJ 复位下合，中间继电器 4ZJ 有电，触头 4ZJ1 闭合，交流接触器 2C 有电，触头 2C 闭合，二号泵自动启动。当二号泵排出管压建立，压力继电器 2YJ 动作，一号泵控制线路中触头 2YJ 合上，中间继电器 3ZJ 断电，触头 $3ZJ_1$ 断开，交流接触器 1C 断电，触头 1C 释放，一号泵停止运行。控制线路使备用泵启动后，故障泵停止，防止系统供应（油或水）中断。

控制线路本身还设有电机过热或单项运行保护。它是由装在主电路中的热继电器 RJ 来控制的。当出现上述现象时，泵同样能进行自动切换。

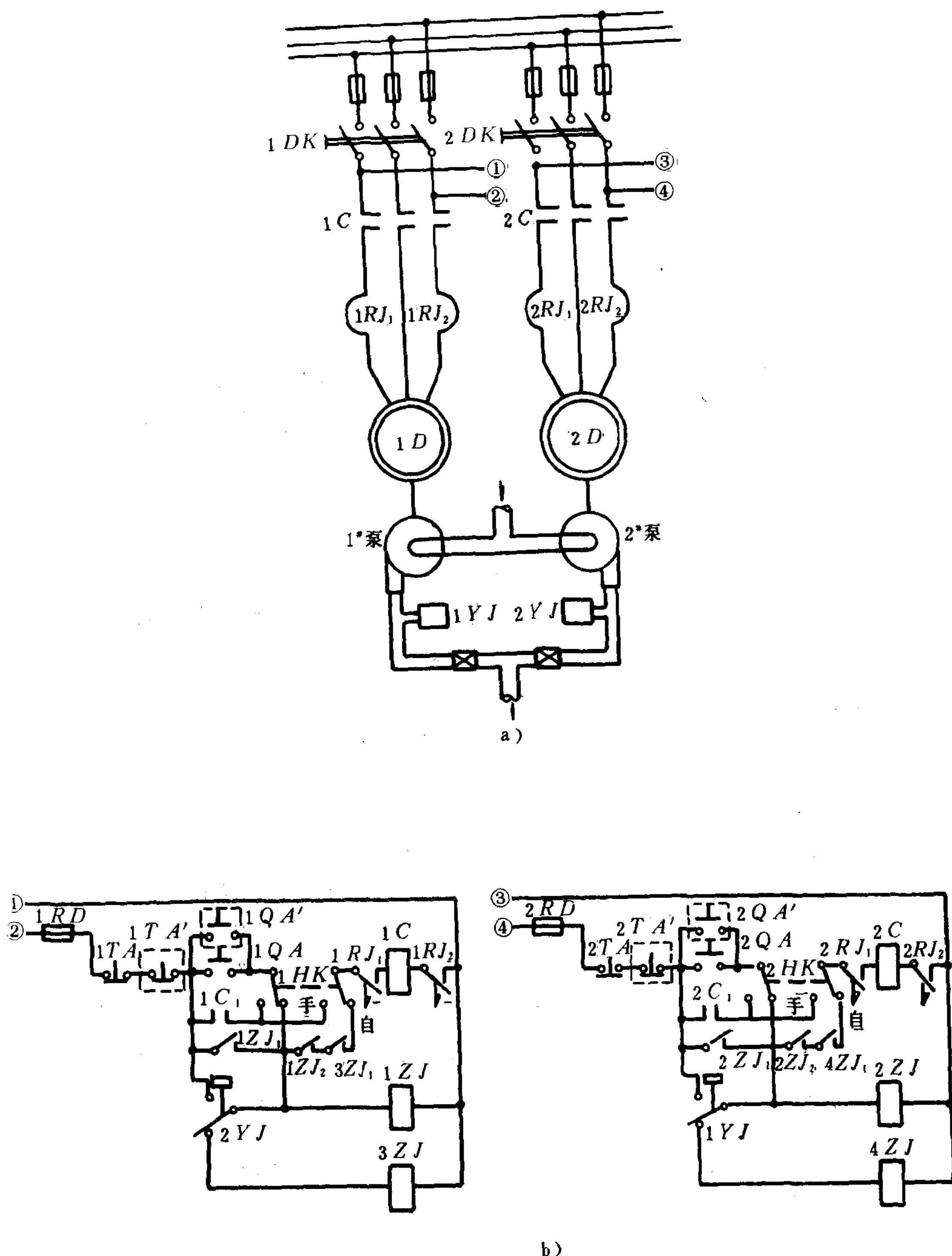


图 9.3.9—1　常用泵自动切换控制线路原理图

a）主电路；b）控制电路

1.3　泵自动切换控制线路

船上直接服务于主、辅机及锅炉的泵包括主机燃油输送泵、主机滑油泵、主机气缸冷却水泵、主机喷油器冷却水（或油）泵、海水泵、减速齿轮箱油泵、辅机淡水冷却泵、辅锅炉给水泵、废气锅炉强制循环泵等。对于上述泵，若采用自动控制时，在控制线路设计上，除了要考虑泵的应

急自动切换外，还应考虑电网断电复电后各台泵的顺序自启动。

图 9.3.9—2 是目前船上常见的一种控制线路。控制线路中的 u_{10}、u_{20}是两块自控装置线路板。线路板上的继电器 1J 由于触头 $1J_1$ 交错接在对方的控制线路中，起到线路联锁作用。当出现泵排出管失压故障时，压力继电器的触头 1YJ 或 2YJ 断开失电，则接在备用泵控制线路中的触头 1J1 恢复闭合，便可使备用泵自动启动。线路板上的继电器 2J，用于控制故障泵的自动停止，当启动备用泵时，交流接触器有电，接在运行泵控制线路中的联锁辅触头 $2C_2$ 或 $1C_2$ 断开失电，触头 $2J_3$ 断开，运行泵的中间继电器、交流接触器相继断电，故障运行泵随后自动停止。这在线路上保证了备用泵启动后故障泵停止的要求。线路板上的继电器 3J，用于工作泵启动时排出管压未建立前，保持继电器 1J 始终有电。当排出管压建立，压力继电器触头闭合后，它的触头 $3J_2$ 断开，继电器 1J 改由压力继电器控制。这是由于继电器 3J 串联了一个 30s 延时继电器 2SJ。启动时尽管组合开关 $b10_2$ 或 $b20_2$、触头 $2J_2$ 是闭合的，但继电器 3J 要经 2SJ 延时 30s 后才通电，常闭触头 $3J_2$ 断开，保证压力继电器触头闭合在触头 $3J_2$ 断开之前。线路板上的延时继电器 1SJ，用于电网断电复电后控制运行泵重新自动启动的时间。延时继电器 1SJ 的延时时间是可调的，其范围为 0～35s，可根据泵的工作性质预先整定好。

这种控制线路和控制方式同样由转换开关 HK 的位置决定。转换开关 HK 置于“手动”位置“0”时，两台泵均可通过设在集控室的起停按钮 QA、TA 进行手动起停操作；转换开关 HK 置于“自动”位置“1”时，使用每组的一台泵为工作泵，线路便可实现应急时这组泵的自动切换和电网断电复电后的各工作泵的顺序自动启动。

现以各组泵的一号泵工作为例，简述泵的启动、自动切换和电网断电复电后的各工作泵的顺序自动启动。

1）启动　转换开关 HK 置于“自动”位置“1”，电源开关 DK 合上，线路板 u_{10}、u_{20}上的继电器 1J 和 2J 相继有电，触头 $1J_1$ 断开，$1J_2$ 闭合、改变 $1J_3$ 闭合状态，$2J_1$～$2J_3$ 闭合，为泵启动、切换、报警、各泵断电复电后顺序自动启动做准备。

组合开关合上，$b10_1$、$b10_2$、$b10_3$ 闭合。$b10_1$ 闭合，中间继电器 10J 和交流接触器 1C 相继有电，一号泵启动、计时器 G_1 开始运转计时；$b10_2$ 闭合，线路板 u_{10}上的继电器 3J 经延时继电器 2SJ 延时 30s 后有电，保持排出管压在未建立前继电器 1J 始终有电。当排出管压建立，触头 1YJ 闭合后，其触头 $3J_2$ 断开，随后继电器 1J 由压力继电器 1YJ 控制；$b10_3$ 闭合，为二号泵自动启动做线路准备。

2）自动切换　由于某种原因工作泵发生故障，排出管压降到一定值时，压力继电器 1YJ 复位，触头 1YJ 断开，继电器 1J 断电，触头 $1J_1$ 闭合、$1J_2$ 断开、$1J_3$ 复原，中间继电器 20J、交流接触器 2C 相继有电，二号泵自动启动、计时器 G_2 开始运转计时，同时接通声、光报警线路，发出声、光报警信号。由于交流接触器 2C 的辅触头 $2C_2$ 断开，线路板 U_{10}上的继电器 2J 断电，中间继电器 10J 和交流接触器 1C 随后相继断电，一号泵停止运转、计时器 G_1 停止运转计时。

值班人员从集控室报警面板红色信号灯发出的闪光部位确定出是那一台泵出现故障后，首先按下消音按钮，再排除故障。故障排除后，回集控室再将二号泵组合开关合上，将一号泵组合开关断开，为泵再次切换做准备。此时，二号泵为工作泵，一号泵变为备用泵。

3）泵顺序自动启动　泵在运行过程中，当电网由于某种原因断电时，各组运行泵均自动停止运行。当电网恢复供电时，由于各组运行泵线路板中与继电器 2J 相串联的延时继电器 1SJ 延时时间调整的数值不同，各运行泵重新自动启动的时间便不同。只要各泵线路板上的延时继电器 1SJ 延时时间选择的合适，即可满足对泵启动控制的顺序要求，又可保证电网不超负荷。

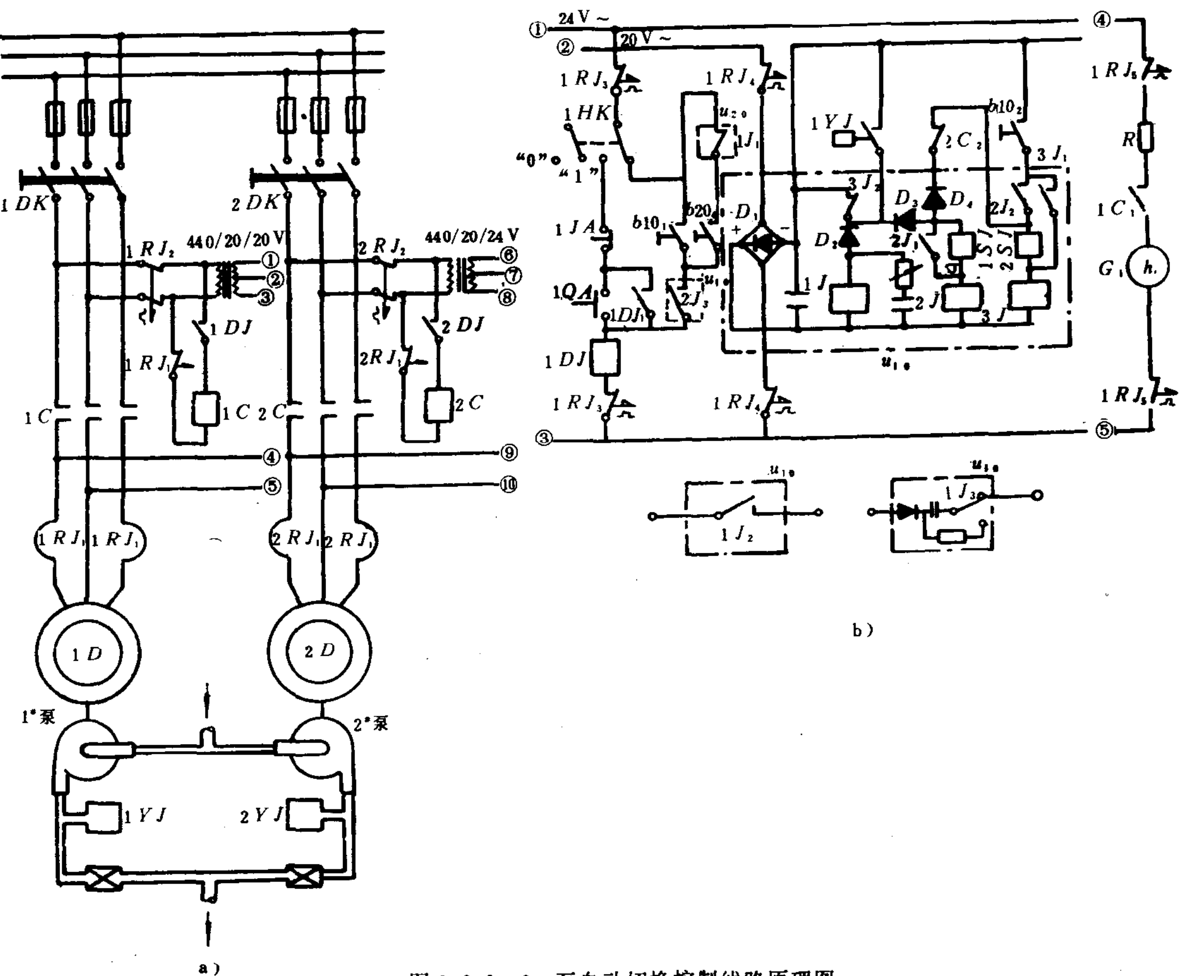


图 9.3.9—2　泵自动切换控制线路原理图

a)主电路；b)控制电路

这种控制线路同样设有电机过热或单项运行保护。出现此故障时，线路同样可进行泵自动切换。

1.4 泵自动切换系统的使用管理

泵在使用时要严格地按照系统操作规程进行，除加强日常维护外还要严格地进行系统规定项目的定期检查，维修工作要及时、准确。只有这样才能保证系统的正常安全运行以及延长系统的使用寿命，发挥自动控制的优越性。

日常维护除对构成系统的机械电器设备维护外，还应注意控制线路的维护。控制线路的日常维护内容，参考第 6 章 3。

除对构成系统的机械电器设备进行规定的定期检查外，还应进行控制线路的定期检查。控制线路的定期检查内容，参考第 6 章 3。

系统故障主要是指系统不启动、泵切换、启动后接触器立即又释放、运行时磁系统有嗡鸣声、按停止按钮接触器不释放等。产生原因和处理方法，参考表 9.3.9—1。

表 9.3.9—1　**系统常见故障及处理方法**

故　障	产　生　原　因	处　理　方　法
系统不启动	1)电源开关未合上	1)合上电源开关
	2)熔断器烧断	2)换新
	3)停止按钮接触不良	3)磨平或清洁
	4)启动按钮或组合开关接触不良	4)磨平或清洁
	5)热继电器未复位	5)复位
	6)继电器触头接触不良	6)查出磨平或清洁
	7)继电器触头螺丝松动	7)上紧螺丝
	8)可动部件卡住	8)查出修复
	9)线路断线	9)查出修复
	10)线圈烧坏	10)查出换新
泵切换	1)电机过热或单相运行	1)查出修复
	2)延时继电器延时时间有问题	2)重调延时
	3)压力继电器弹性敏感元件破损	3)换新
	4)继电器触头螺丝松动	4)查出上紧
	5)线路断线	5)查出修复
	6)线圈烧坏	6)查出换新
启动后接触器立即又释放	1)自保触头接触不良	1)磨平、清洁或调整触头弹簧
	2)自保触头线路断线	2)查出修复
运行时磁系统有嗡鸣声	1)紧固铁芯与可动系统的螺钉未紧好	1)查出紧好
	2)短路环脱落或损坏	2)补上或换新
	3)动、静铁芯极面脏污	3)查出清洁

续上表

故　　障	产 生 原 因	处 理 方 法
	4)动、静铁芯贴合不紧密	4)查出修整贴合面
	5)可动系统运动不灵活	5)查出修复
按停止按钮接触器不释放	1)自保触头接线错误	1)正确接线
	2)拉力弹簧反作用力不够	2)紧弹簧或换新
	3)可动系统卡住	3)查出修复
	4)磁系统剩磁过大	4)铁芯接触表面涂滑石粉或换铁芯

2　空气压缩机自动控制

2.1　概　述

空气压缩机自动控制指空压机自动起停和应急时安全保护控制过程。这种控制是由简单的条件控制与位式控制有机结合而构成的一种简单复合控制。

控制线路多由有触点继电器和接触器组成。控制的条件，视船舶要求，可多可少，但滑油压力和冷却水温度条件因和空压机的安全运行关系最大，是不可缺少的。控制条件由各种继电器检测。采用压力继电器，把气瓶压力控制在预定范围内以满足用气设备的需要。

2.2　控制系统的组成

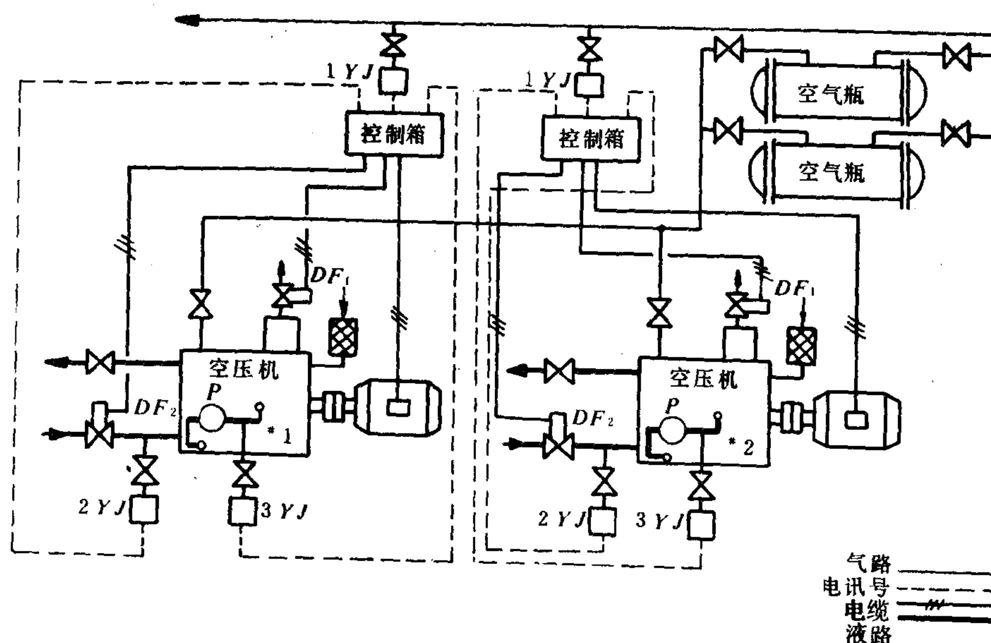


图 9.3.9—3　空压机自动控制系统原理图

图 9.3.9—3 是目前船上采用较多的一种空压机自动控制系统。1YJ 装在气瓶出口管路上并用作位式控制的压力继电器。2YJ 装在空压机冷却水进口管路上并用作条件控制的温度继电器。3YJ 装在空压机滑油进口管路上并用作条件控制的压力继电器。系统是具备两个条件下

的位式控制系统。DF_1 装在空压机放残气管路上并用作对空压机卸载起动的电磁阀。DF_2 装在空压机冷却水进口管路上并用作控制冷却水进入的电磁阀。P 是滑油泵。

2.3 自动控制线路

图 9.3.9—4 是上述空压机自动控制系统的控制线路。控制方式由转换开关 HK 的位置决定。操作部位由设在机舱两处的起停按钮 QA，TA 和 QA′，TA′选择。转换开关 HK 置于“手动”位置“0”时，线路是普通的自保控制线路。两台空压机均可通过各自设在两处的起停按钮进行手动起停操作。转换开关 HK 置于“自动”位置“1”时，使用其中一台空压机时，线路可使其自动起停，并能在应急时对两台空压机进行自动切换，以及柴油主机机动操纵时可使两台空压机都自动起停来满足机动操纵时压力控制要求。

空压机的应急切换和机动操纵时，另一台空压机的自动起停，是靠两台空压机的压力继电器 1YJ 的动作值整定的不同来实现的。高压动作值相同，运行空压机的低压动作值比备用空压机稍高些，线路便可实现上述控制。

现以一号空压机为工作空压机，两台空压机压力继电器高压动作值为 3.0MPa，低压动作值一号为 2.5MPa，二号为 2.3MPa 为例，简述空压机自动控制。

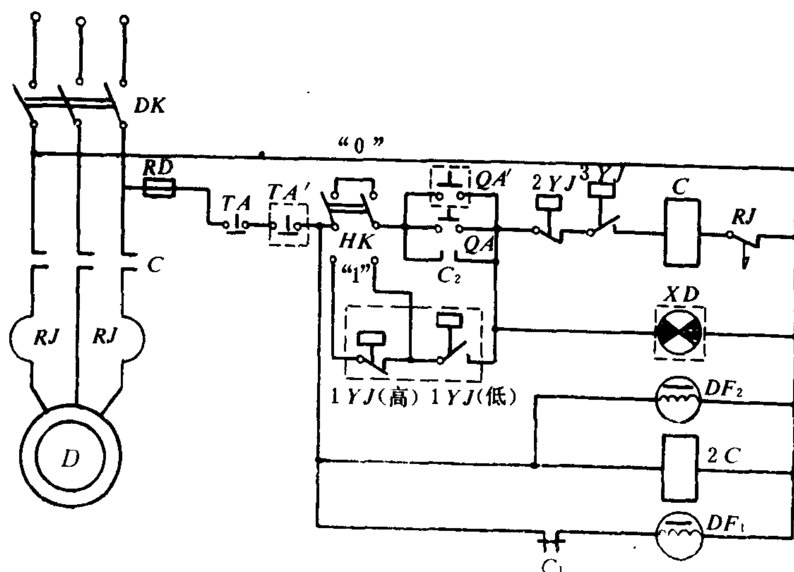


图 9.3.9—4 空压机自动控制线路原理图

1）系统投入合上两台空压机的电源开关 DK 后，首先将一号空压机转换开关 HK 置于“自动”位置“1”。两台空压机的电磁阀线圈 DF_1、DF_2 有电，电磁阀开启，空压机气缸放残气，冷却水进入；交流接触器 2C 有电，滑油泵 P 启动，滑油进入空压机。一号空压机压力继电器 1YJ 高、低压触头是闭合的，滑油压力和冷却水温度符合要求，继电器 3YJ 和 2YJ 触头便闭合，交流接触器 C 有电，触头 C 闭合，一号空压机起动；辅触头 C_1 断开，电磁阀 DF_1 线圈断电，电磁阀关闭，气瓶开始充气。当气瓶压力升高到超过二号空压机压力继电器 1YJ 低压动作值后，再将二号空压机转换开关 HK 置于“自动”位置“1”，二号空压机处于备用状态。控制系统投入工作。

2）空压机自动起停当气瓶压力升高到 2.5MPa，一号空压机压力继电器 1YJ 低压触头断开，升高到 3.0MPa，高压触头断开，接触器 C 断电，触头 C 释放，空压机自动停止；辅触头 C_1

恢复闭合，电磁阀 DF_1 线圈有电，电磁阀开启，气缸放残气。

空压机停转，气瓶压力由于用气而下降，当下降到低于 3.0MPa，压力继电器 1YJ 高压触头重新闭合，下降到低于 2.5MPa，低压触头重新闭合，接触器 C 又有电，触头 C 闭合，空压机又自动起动；辅触头 C_1 断开，电磁阀 DF_1 线圈断电，电磁阀又关闭，对气瓶进行充气，压力开始升高。以后重复上述动作，使气瓶压力保持在 2.5～3.0MPa 范围内变化。

柴油主机机动操纵时，耗气量较大，气瓶压力下降到低于 2.5MPa，一号空压机自动起动后，若气瓶压力继续下降，当下降到低于 2.3MPa，二号空压机压力继电器 1YJ 低压触头闭合，二号空压机接触器 C 有电，触头 C 闭合，二号空压机也自动起动；辅触头 C_1 断开，二号空压机电磁阀 DF_1 线圈断电，电磁阀关闭，二号空压机也向气瓶充气。由于两台空压机充气，气瓶压力上升。当压力上升到 2.3MPa，二号空压机压力继电器 1YJ 低压触头断开，上升到 2.5MPa，一号空压机压力继电器 1YJ 低压触头断开，上升到 3.0MPa，两台空压机压力继电器高压触头同时断开，交流接触器同时断电，两台空压机同时停止运行。空压机停转，气瓶压力又下降，以后重复上述动作，使气瓶压力保持在 2.3～3.0MPa 范围内变化。

3)安全保护 系统运行中，由于某种原因造成冷却水高温、滑油低压、电机过热或单相运行，温度继电器 2YJ、压力继电器 3YJ、热继电器 RJ 触头会断开，使交流接触器 C 断电，运行空压机停转，以达到保护之目的。气瓶压力下降到低于二号空压机压力继电器 1YJ 低压动作值 2.3MPa，二号空压机自动起动，代替一号空压机工作以维持系统正常供气。

2.4 自动控制系统的管理

这种系统控制线路也是由有触点的继电器、接触器等组成，系统管理，参考本章 1.4。

参考文献

[1] CNT 型燃油粘度调节装置研制报告

[2] オイル.バーナーすよびテイーゼハ机关用燃料重油の粘性制御造船技术，1973 年，NoI6NO. 4

[3] Viscometry 著者：A. C. Merrington

[4] INSTRUCTION BOOK，Viscosity Control Equipment For NS777type NAKAKITA SEISAKUSHO CO，LTD

[5] VAF—VISCOTHERM，Viscosity Control Systems，ITT VAF INSTRUMENTS

[6] VAF Electronic Viscotherm，ITT VAF INSTRUMENTS

[7] 气动仪表原理与调校，1977 国防工业出版社

[8] 化工自动化，1973 燃料化学工业出版社

[9] 粘度调节器造船技术，1971 年 Vol5

[10] 浦宝康 赵兴贤：轮机自动化，人民交通出版社，1980

[11] Instruction Control Equipment & Diesel Oil Heavy Oil Change—Over System For Main Engine，NAKAKITA SEISAKUSHO CO，LTD

[12] Installation Manual，Automatic Temperature/Viscosity Change — Over System，ITT VAF INSTRUMENTS

[13] 自动化船舶的动力装置，日本造船学会舣装研究委员会编刘直，赵兴贤译，人民交通

出版社，1980 年 12 月

[14] ALFA—LAVAL Instruction book，EPC Control system

[15] Boll & Kirch Filterbau GmbH：自清滤器说明书

[16] 上海船舶设计研究院：自清滤器说明书

[17] TQWQ 型气动温度调节三通阀说明书

[18] NSη32 型自动指示调节器的操作管理

第4篇　柴油机遥控操纵系统

第1章　主机遥控基本原理

1　主机操纵系统概述

为保证船舶能在各种复杂情况下航行，船用柴油机必须设置启动、换向和调速装置，亦称主机操纵系统。轮机管理人员在主机操纵台前，通过操纵系统就可以直接控制主机，满足船舶航行的各种要求。

1.1　压缩空气启动装置

图 9.4.1—1 所示的是一种压缩空气启动装置原理图。为了保证柴油机的启动成功，启动装置必须具备以下几个条件：

1.1.1　压缩空气必须具备一定的启动压力。船用柴油机启动空气的压力一般为 1960～2940kPa(20～30kgf/cm²)。

1.1.2　合适的供气定时，既利于启动且又能减少空气消耗量。对于一般船用大型低速二冲程柴油机，，理论上空气分配器在该缸曲柄位于上止点前或后 5°(曲柄转角)时开始供气，在上止点后 100°左右结束，一般不超过 120°曲柄转角的供气时间。

1.1.3　必须保证最少的气缸数。对于船用主机来说，必须保证在曲轴的任何位置下都能启动，即至少要有一个气缸处于启动位置。为此，二冲程柴油机至少要有四个气缸，四冲程柴油机要有六个气缸方能保证启动可靠。

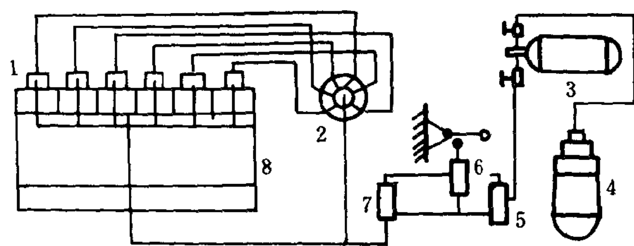


图 9.4.1—1　压缩空气启动装置原理

1—气缸启动阀；2—空气分配器；3—空气瓶；4—空气压缩机；5—截止阀；6—启动控制阀；7—主启动阀；8—主机

1.2　换 向 装 置

根据航行要求，船舶从前进变为后退(或相反)，一般是靠改变螺旋桨的旋转方向或者是保持螺旋桨的旋转方向不变而改变桨叶的推力方向(变矩桨)来实现的。

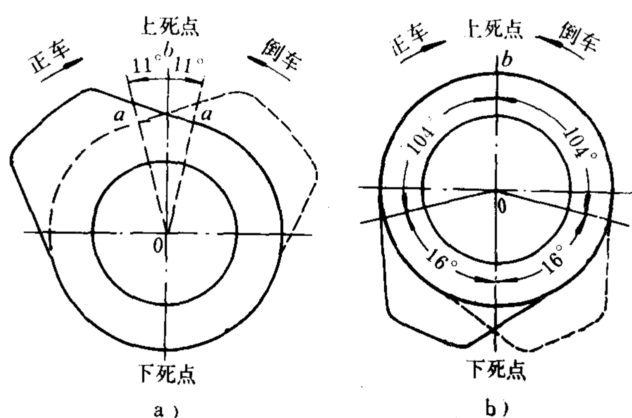


图 9.4.1—2　双凸轮换向原理

对于直接或通过减速齿轮箱与螺旋桨相连(定矩桨)的柴油机来说，要求柴油机具有换向性能，从而要求设置换向装置。换向装置的作用是通过改变各种凸轮相对于曲轴位置来实现改变柴油机的转向。其中凸轮与曲轴相对位置的换向设备随柴油机机型而异。在四冲程柴油机中，空气分配器凸轮、进排气凸轮、喷油泵凸轮等需要换向。在横流和回流扫气式二冲程柴油机中，需要换向的有空气分配器凸轮和喷油泵凸轮。在直流阀式柴油机中，除喷油泵和空气分配器凸轮外，还有排气阀凸轮。

1.2.1　双凸轮换向装置

根据正反转不同定时的要求，每个气缸需要进行换向操作的气阀、喷油泵、空气分配器等均有正、倒车两个凸轮。换向时，轴向移动凸轮轴，使之正倒车凸轮交换其工作位置，满足换向后的定时及发火顺序的要求。

图 9.4.1—2 为双凸轮换向原理。图中实线表示正车凸轮，虚线表示倒车凸轮。

双凸轮换向装置根据移动凸轮轴所用能量和方法的不同而有不同的结构。图 9.4.1—3 所示换向装置是用气力—油压移动凸轮轴的。

1.2.2　单凸轮换向装置

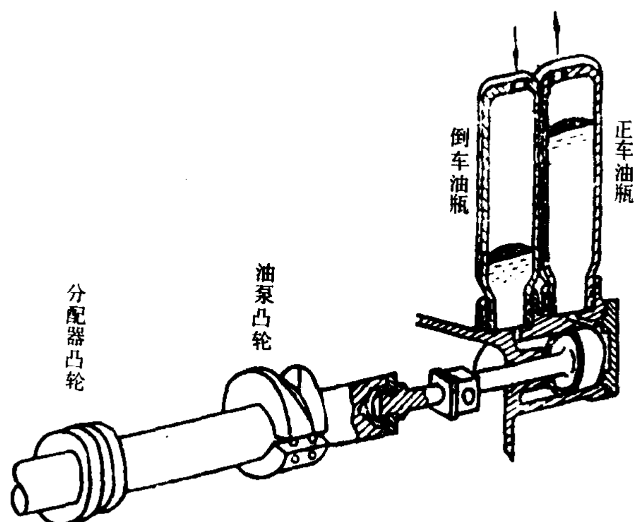


图 9.4.1—3　双凸轮换向装置

单凸轮换向时要求改变凸轮轴相对于曲轴的转角位置，其差动方式有：

1)曲轴不动，凸轮轴相对于曲轴先转动一个差动角，通常是采用特设的液压差动装置来实现。采用这种液压差动伺服器的有 RD、RND、RND－M 等型柴油机。

2)凸轮轴刹住不动，首先将空气分配器换向，然后进行反向启动，使曲轴相对于凸轮轴转过一个差动角后再带动凸轮轴一起转动。这种差动换向方式为哥塔维根等柴油机所采用。

3)先进行空气分配器换向操作，然后进行反向启动，通过一个机械差动装置，在反向启动初期，使曲轴与凸轮轴二者之间的旋转速度不同来实现喷油泵凸轮和排气凸轮的差动换向。这种超前差动换向方式为 B&W 型柴油机所采用。

1.3 调 速 装 置

柴油机的转速调整是通过改变每一循环喷油量实现的。当外界负荷一定时，供给一定的喷油量，使柴油机发出的功率与外界负荷相平衡，并维持某一转速下稳定运行。当外界负荷变化时，柴油机的稳定运行状态受到破坏，为了使柴油机的功率与新的负荷相适应，必须通过调速装置及时改变喷油量。调速装置种类繁多，但在主机遥控系统中，多采用液压调速器或电子调速器。

2 柴油机主机遥控概述

主机遥控是指远离机旁在机舱集中控制室或驾驶室里，通过自动控制系统操纵主机的方式。主机遥控是实现机舱无人值班必不可缺少的条件之一。

主机遥控系统是通过各种逻辑回路及自动控制装置来代替人在机旁手动操纵主机，它一般具有如下功能：

1)换向逻辑程序：当车令与主机凸轮轴实际位置不符合时，能自动进行换向，换向结束后送出允许启动信号；

2)启动逻辑程序：当车钟手柄从停车位置移到正车(或倒车)位置时，能自动地进行启动，当达到发火转速时，自动转入供油并切断启动空气；

3)制动逻辑程序：在有应急操作指令下，自动进行能耗制动和强制制动，以缩短主机由全速正车开出倒车的时间；

4)重复启动逻辑程序：在启动中能自动进行三次试启动，当三次启动均失败时自动停止启动并发出报警；

5)重启动逻辑程序：在有应急操作指令或有重复启动、倒车情况下，能自动增加启动给油量。重启动成功后转入正常调速运行；

6)慢转启动逻辑程序：当主机停车时间过长，超过一定时间后再启动时，需经慢转启动程序，以确保主机安全；

7)转速与负荷限制环节：为防止主机加速过快及超负荷，设有转速发送速率程序、负荷程序，自动避开临界转速程序、增压空气限制、转矩限制、螺旋桨限制等；

8)应急操作功能：在应急情况下，可取消慢转启动、负荷程序、自动停车、自动减速等功能；

9)安全保护及系统功能模拟环节。

3 换向控制逻辑回路

3.1 换向逻辑鉴别式

鉴别主机是否需要换向是根据车令与凸轮轴实际位置的关系确定的。当车令与凸轮轴位置不符合时，满足换向逻辑，进行换向动作。其换向逻辑鉴别式为：

$$Y_{RL}=I_H C_s+I_s C_H$$

$$\text{或 } Y_{RL}=I_H \overline{C_H}+I_s \overline{C_s}$$

式中：I_H —— 正车指令；

I_s —— 倒车指令；

C_H —— 凸轮轴在正车位置；

C_s —— 凸轮轴在倒车位置。

且 $C_H=\overline{C}_s, C_s=\overline{C}_H$。

3.2 换向逻辑函数式

为了能准确、迅速地改变各种需要换向设备的定时关系，同时还要保证柴油机的安全，作为主机遥控系统的换向逻辑回路还必须在满足下述换向逻辑条件下方可进行换向动作：

1）车令与凸轮轴位置不符，即满足换向逻辑鉴别式的条件；

2）换向时主机已停油；

3）运行中的主机转速下降到低于换向转速；若进行应急操作时，主机转速应低于应急换向转速；

4）对于四冲程柴油机，还须将主机进排气阀的顶升机构抬起。

上述换向条件为"与"逻辑关系，故换向逻辑函数式为：

$$Y_R=Y_{RL}.Y_{RT}.(n_R+n_{ER}).D_{up}$$

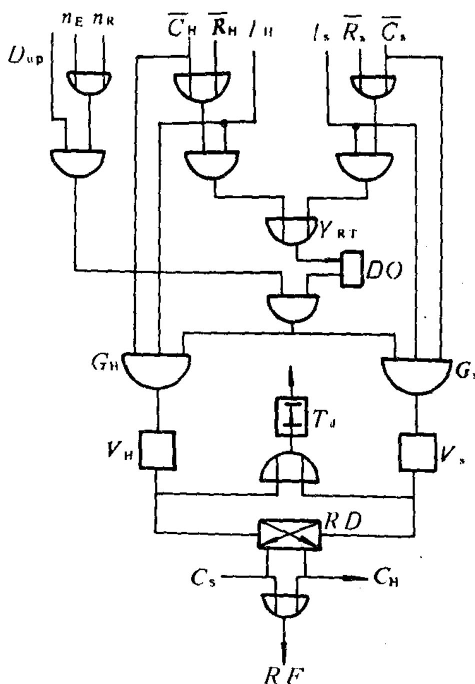


图 9.4.1—4 换向回路逻辑图

RD—换向装置；RF—换向结束信号；Td—换向计时器，当超过规定时间仍未换好向时，T_d 送出信号使报警器动作，发出报警信号 AL；G_H、G_s 为正倒车控制门；V_H、V_s 为正倒车控制阀；DO 为停油装置

式中：Y_{RL} —— 换向逻辑鉴别式；

Y_{RT} —— 换向停油逻辑；

n_R —— 允许换向转速信号，小于换向转速为"1"，否则为"0"；

n_{ER} —— 应急换向转速信号，小于应急换向转速为"1"，否则为"0"；

D_{up} —— 进排气阀顶升机构抬起信号，已抬起为"1"，否则为"0"。

根据此函数式，综合各环节可得图 9.4.1—4 换向回路逻辑图。

在满足换向条件时 $Y_{RL}=I_H\overline{C}_H+I_s\overline{C}_s=$"1"，$Y_{RT}=$"1"，$(n_R+n_{ER})=$"1"，$D_{up}=$"1"，则换向逻辑函数式 $Y_R=$"1"，控制门 G_H 或 G_s 出"1"，打开换向控制阀 V_H 或 V_s，使换向装置 RD 动作，完成换向，凸轮轴位置信号则由 $\overline{C}_H \to C_H$ 或 $\overline{C}_s \to C_s$，封锁了 G_H 或 G_s，自动停止换向。

当车钟手柄转到停车位置时，车令 I_H 或 I_s 均为"0"信号，将控制门 G_H 或 G_s 封锁，不会发生换向误动作。

当进行正车（或倒车）换向时，则倒车（或正车）控制门 G_s 被车令信号 $I_s=$"0"封锁，从而保证换向回路逻辑正确无误。

4 启动和制动控制逻辑回路

4.1 启动准备条件

主机启动准备条件一般包括下列各项，其符号及意义如下：

TG ——盘车机脱开信号，脱开时为“1”，否则为“0”；

V_{MA}——主启动阀位置信号，在自动位置时为“1”，不在自动位置时为“0”；

P_{sA} ——启动空气压力信号，压力正常时为“1”，不正常时为“0”；

P_{op} ——控制空气压力信号，压力正常时为“1”，不正常时为“0”；

P_{LB} ——主机滑油压力信号，压力正常时为“1”，不正常时为“0”；

SP ——电源信号，电源正常时为“1”，不正常时为“0”；

P_{So} ——操作部位转换信号，转换完成时为“1”，未完成为“0”；

P_{Ss} ——试验开关位置信号，在工作位置时为“1”，否则为“0”；

$\overline{ST}$ ——停车复位信号，已复位时为“1”，未复位为“0”。

以上所列的条件仅为一部分，根据系统设计要求尚可增减。这些启动准备条件是“与”的关系，故启动准备条件的逻辑函数式为：

$$Y_{SC}=TG.V_{HA}.P_{sA}\cdot P_{op}.SP\cdot P_{LB}.P_{SO}.P_{Ss}.\overline{ST}$$

4.2 启动主回路

4.2.1 启动逻辑鉴别

在满足启动准备条件之后，启动逻辑回路可根据车令与凸轮轴的实际位置关系判断是否进行启动。只有当车钟指令与凸轮轴位置一致时，方可启动，故启动逻辑鉴别式为：

$$Y_{sL}=I_HC_H+I_sC_s$$

4.2.2 启动逻辑函数式

在满足启动准备条件和启动逻辑鉴别条件的同时，还应满足启动转速条件，即当启动转速 $n_s<n_1$（点火转速）时为“1”，否则为“0”。故启动逻辑函数式为：

$$\begin{aligned}Y_{so}&=Y_{sc}.Y_{sL}.n_s\\&=TG.V_{MA}.P_{sA}.P_{op}.P_{LB}.SP.\\&\quad P_{So}.P_{Ss}.\overline{S}T.(I_HC_H+I_sC_s).n_s\end{aligned}$$

根据此式可画出启动逻辑图，如图 9.4.1—5 所示。

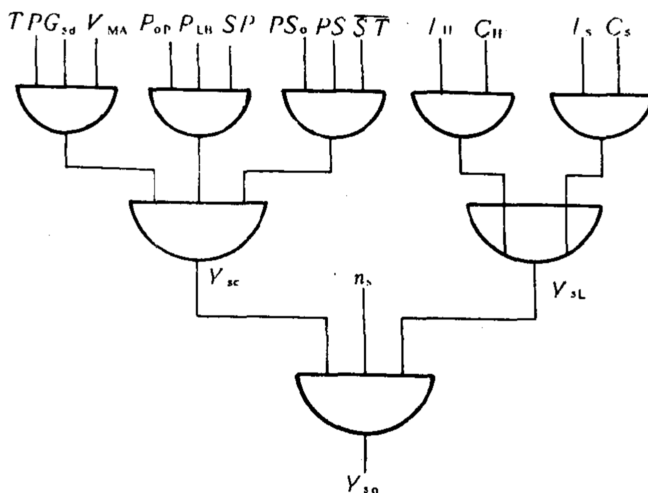


图 9.4.1—5 启动逻辑图

4.3 重复启动逻辑回路

当柴油机已启动成功但因点火失

败而使转速自动下降到低于发火转速直至停转时，或者在启动操作中，主机转速始终达不到发火转速的情况下，主机遥控系统设有重复启动逻辑回路，保证主机自动进行重复启动。

4.3.1 以时间为控制信号的重复启动逻辑原理

这是一个时序逻辑控制过程。每次启动的持续时间、中断时间和重复启动的总时间均由时间控制单元来控制。其原理图如图 9.4.1—6 所示。

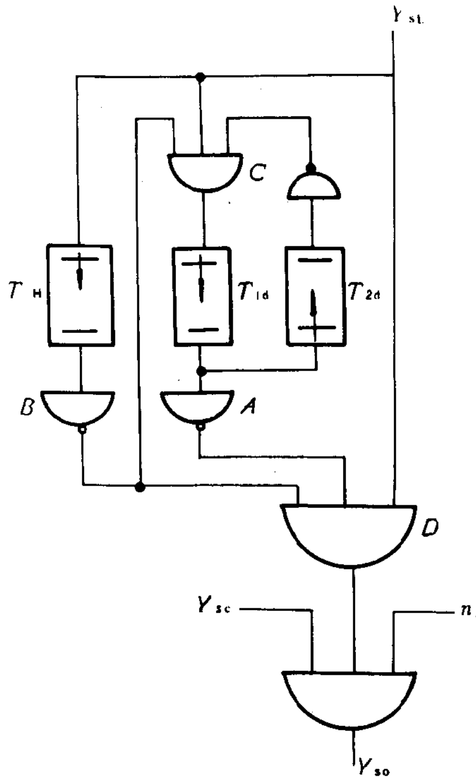


图 9.4.1—6 重复启动原理图(一)

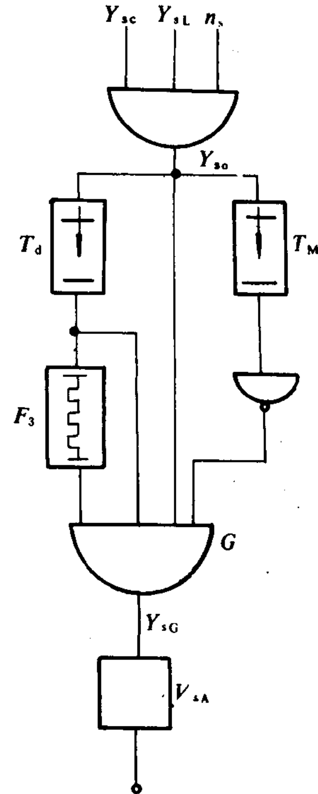


图 9.4.1—7 重复启动原理图(二)

其中：Y_{sL}为启动逻辑鉴别信号，Y_{sC}为启动准备条件信号，T_{1d}为持续启动时间控制单元，T_{2d}为中断启动时间控制单元，T_M 为启动过程总时间控制单元，n_s 为启动转速信号。三个时间控制单元对“1”输入信号有延时，即延时时间未到，输出“0”，延时时间到，输出“1”；而对“0”输入信号无延时作用，即有“0”输入信号来时立即复位输出“0”。

当启动成功时，$n_s > n_I$，则 ns 为“0”信号，将 Ys_o 封锁，使主启动阀关闭，启动结束。若启动失败，主机转速将下降，当 $n_s < n_I$ 时，n_s 为“1”信号，将 Y_{so}解锁，但此时 T_{1d}延时到，输出“1”信号，经非门 A 为“0”信号，将 D 置于“0”信号，使 Y_{so}为“0”信号，此刻即为中断启动的开始时间，并由 T_{2d}计时。当 T_{2d}延时时间(中断时间)到，输出“1”信号，并经非门输出“0”信号，为 T_{1d}送去“0”信号，使 T_{1d}立即复位输出“0”经 A 输出“1”，则 Ys_o 输出“1”，开始第二次启动。在 T_{1d}输出“0”时使 T_{2d}复位，经非门输出“1”使 T_{1d}又开始计时。当 T_{1d}延时到又将 D 封锁，第二次中断启动。以此类推。如果第三次启动又失败，T_M 总计时到，输出“1”信号，经非门 B 输出“0”，将 D 封锁，同时将 C 封锁，终止启动。

4.3.2 以转速(n_s)和时间为控制信号的重复启动逻辑原理

该原理图如图 9.4.1—7 所示。

图中：T_d 为延时单元，采用负脉冲触发，即在“1”→“0”时被触发出“0”，对 G 门封锁；当由“0”→“1”时，有延时，仍出“0”，延时过后再输出“1”。F_3 为启动次数记忆单元。T_M 为一次启动时间计时器。

当启动成功时，$n_s > n_I$，n_s 为“0”信号，使 Y_{so} 置“0”，将 G 门封锁；同时 T_d 也被负脉冲触发出“0”，将 G 门封锁，终止启动。

当启动点火失败时，n_s 自动下降到低于 n_I，n_s 为“1”信号，但因 T_d 延时未到，仍封锁 G 门，保持中断启动状态。当 T_d 延时到输出“1”，对 G 门解锁，进行第二次启动。如此循环下去。每当 T_d 输出“0”时，计数器 F_3 计数一次，达到规定次数时，F_3 输出“0”信号，将 G 门封锁，终止启动，并发出报警信号。

若启动转速 n_s 始终小于发火转速 n_I，G 门一直出“1”信号进行持续启动，当持续启动总时间到时，T_M 输出“1”信号，经非门为“0”信号，将 G 门封锁，停止启动。

4.4 重启动逻辑回路

为了保证柴油机在应急操纵等情况下启动容易成功，需要加大启动给油量的逻辑功能称之为重启动。重启动逻辑条件为：

1）车钟手柄不在停车位置，$\bar{I}_{sT}$ 为“1”信号；

2）有应急启动指令 I_E，或有重复启动信号 Y_F，或有倒车指令 I_s；

3）启动转速未超过发火转速，并设未超过发火转速时的逻辑信号 n_{Hd} 为“0”状态，超过发火转速时 n_{Hd} 为“1”状态。

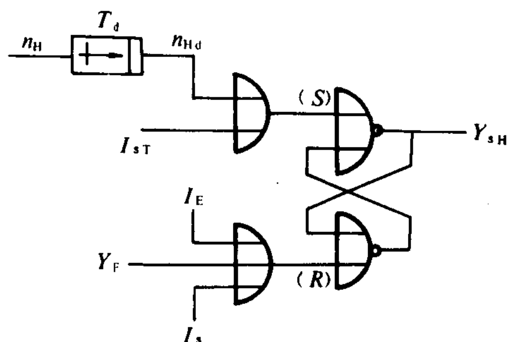


图 9.4.1—8 重启动逻辑图

其逻辑函数式为：

$$Y_{sH} = \bar{I}_{sT} \cdot \bar{n}_{Hd} \cdot (Y_F + I_E + I_s)$$

图 9.4.1—8 为重启动逻辑图。

图中：T_d 为延时单元，它对“1”信号有延时，对“0”信号不延时。

正常启动时，没有重启动指令，即 I_E=“0”I_s=“0”，Y_F=“0”，另外 I_{sT}=“0”，此时触发器保持原状态，则 Y_{sH}=“0”。

当有重启动要求时，即 Y_F=“1”，或 I_E=“1”，或 I_s=“1”，而 I_{sT}=“0”时，则 Y_{sH}=“1”，进行重启动。

当重启动成功后，$n_s > n_I$，则 n_H=“1”，经过延时后，n_{Hd}=“1”，另外，考虑到触发器的原状态，则 Y_{sH}=“0”，解除重启动，送出“0”信号，转入正常加速过程。

4.5 慢转启动逻辑回路

当主机停车时间过长，为了保证主机再次启动的安全，在主机遥控系统中常设有慢转启动环节。慢转启动指令形成的逻辑条件：

1）在启动前，主机停车时间超过规定时间，送出要求慢转启动信号 I_{sTd}；

2）启动转数没有达到规定慢转转数（1 转或 2 转），以 $\bar{I}_{RI}$ 表示；

3）没有取消慢转指令，以 $\bar{I}_{sc}$ 表示；

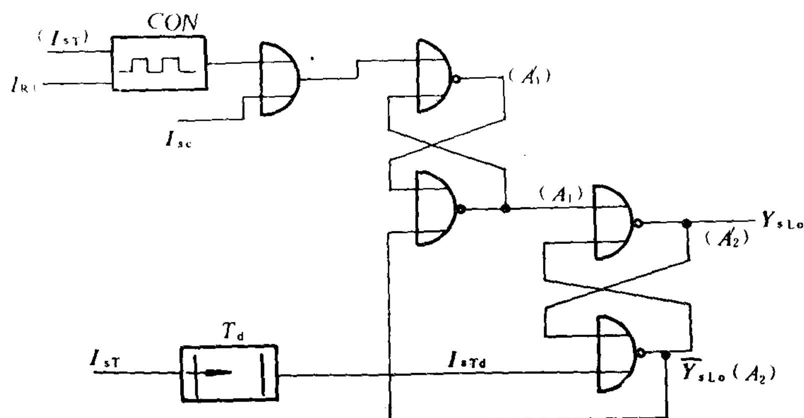


图 9.4.1—9 慢转启动逻辑图

4)前次慢转指令被取消过，以 $\overline{Y}_{sLO}$ 表示。其逻辑函数式为：

$$Y_{sLO}=I_{sTd}\cdot\overline{I}_{R1}\cdot\overline{I}_{sC}\cdot\overline{Y}_{sLO}$$

其逻辑图为图 9.4.1—9 所示。

慢转启动的逻辑动作可用表 9.4.1—1 说明。从表中可以看出，当停车超过规定时间，I_{sTd}＝“1”，且 I_{sc}＝“0”，IR_1＝“0”，$\overline{Y}_{sLO}$＝“1”时，$Y_{sLO}=1$，给出慢转启动信号，主机慢转 2 转之后 I_{R1}＝“1”，使 Y_{sLO}＝“0”，转入正常启动。当有应急操作时，I_{sC}＝“1”，∴A_1 为“1”，Y_{sLO}＝“0”，取消慢转

表 9.4.1—1　　　　**慢转启动逻辑动作关系**

指令＼状态＼条件	I_{SC}	I_{R1}	(A_1)	(I_{sT})	I_{STD}	Y_{sLO}	$\overline{Y}_{sLO}$
位　复	0	0	0	0	0	0	1
停　车	0	0	0	1	0	0	1
	0	0	0	1	1	1	0
慢转启动	0	0	0	0	0	1	0
正常启动	0	1	1	0	0	0	1
取消慢转	1	0	1	0	0	0	1

4.6　制动逻辑回路

主机制动通常指船舶遇有紧急情况，需要主机从全速正车尽快地开出全速倒车所采取的必要应急措施。其制动方式通常分为能耗制动(也称减压制动)和强制制动两种。能耗制动是在应急换向完成之后，由于此时已为倒车发火顺序，但主机仍在正转，空气分配器将某缸气缸启动阀打开的时刻，恰是该缸活塞处于压缩冲程，于是象压气机一样消耗主机的能量，加快主机降速，此时主启动阀没有打开。强制制动则是主启动阀被打开，利用压缩空气在活塞处于压缩冲程时送入气缸，强行阻止活塞运动，使主机减速或停止转动。可见，主机制动首先进行能耗制动，然后再进行强制制动，这样，既能达到制动目的，又可防止机损事故。

4.6.1　能耗制动逻辑

能耗制动逻辑条件为：

1)有应急操作指令 I_E；

2)车令与转向不符 $Y_{BL}=I_{HRs}+I_{sRH}$；

3)换向已完成 $Y_{sL}=I_{HCH}+I_{sCs}$；

4)已经停油，Y_{RT}；

5)转速高于发火转速，n_s 为“0”。

能耗制动逻辑函数式为：

$$Y_{BRD}=(I_H C_H+I_s C_s).(I_H R_s+I_s R_H).Y_{RT}.\overline{n}_s.I_E$$

根据此式得出能耗制动逻辑图如图 9.4.1—10 所示。

图中 V_{DC}为空气分配器控制阀，V_D 为空气分配器。

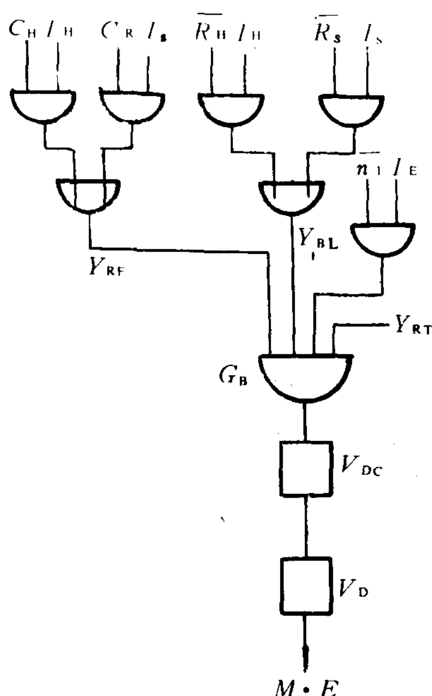


图 9.4.1—10 能耗制动逻辑图

4.6.2 强制制动逻辑

由于强制制动过程是出现在能耗制动之后，此时转速已低于发火转速，即满足了启动条件，从而启动回路投入工作，只是此时主启动阀打开送入气缸的压缩空气不是用于推动主机反转，而是迫使主机停转，接着进行反向启动。因此，在实际的控制系统中不单设强制制动回路，它附加在启动回路上，进行适当的回路组合，利用启动回路的功能达到强制制动的目的。

5 转速与负荷控制回路

5.1 转速与负荷控制方式

5.1.1 转速控制方式

如图 9.4.1—11 所示。

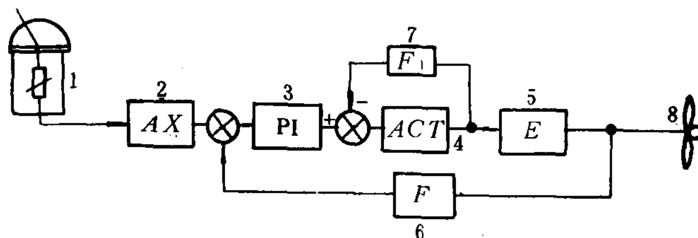


图 9.4.1—11 转速控制方式

1—指令发讯装置；2—指令信号处理辅助环节；3—调节环节；4—执行器；5—柴油机主机；6—转速反馈环节；7—执行器位置反馈；8—螺旋桨

控制参数为主机转速，通过转速反馈构成闭环控制系统。这种控制方式能保证主机转速恒定，但供油量将随外界负荷变化而变化，即主机的热负荷是随机变化的。

5.1.2 负荷(油量)控制方式

如图 9.4.1—12 所示。

控制参数是负荷(油量)，通过执行器位置反馈构成闭环控制系统。这种控制方式能保证柴

油机的热负荷基本不变，但在变工况下转速是变化的。

5.1.3 转速—负荷控制方式

如图 9.4.1—13 所示。

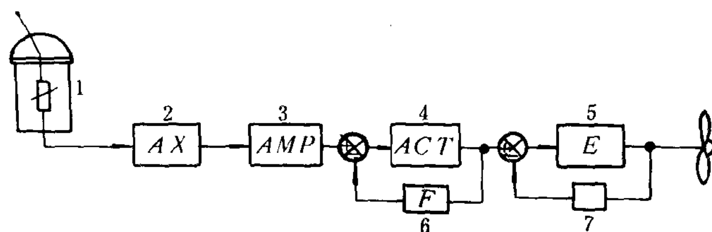


图 9.4.1—12 负荷控制方式

1—指令发讯装置；2—辅助环节；3—放大环节；4—执行环节；5—主机；6—执行器位置反馈环节；7—限速装置

这种控制方式即可进行转速控制，又可实现负荷控制，两种控制方式可以选择其一。系统中设有选择开关 K，在正常情况下 K 为开路，系统为转速控制。在工况变化较大情况下，将 K 闭合，使负荷控制 9 投入工作。负荷控制环节的设定值由 V_L 预先给定。当车钟指令设定值大于该设定值 V_L 时，或调节环节 3 的输出值大于该设定值时，将被负荷控制环节 9 箝制，从而使柴油机受到限制，防止主机超负荷。

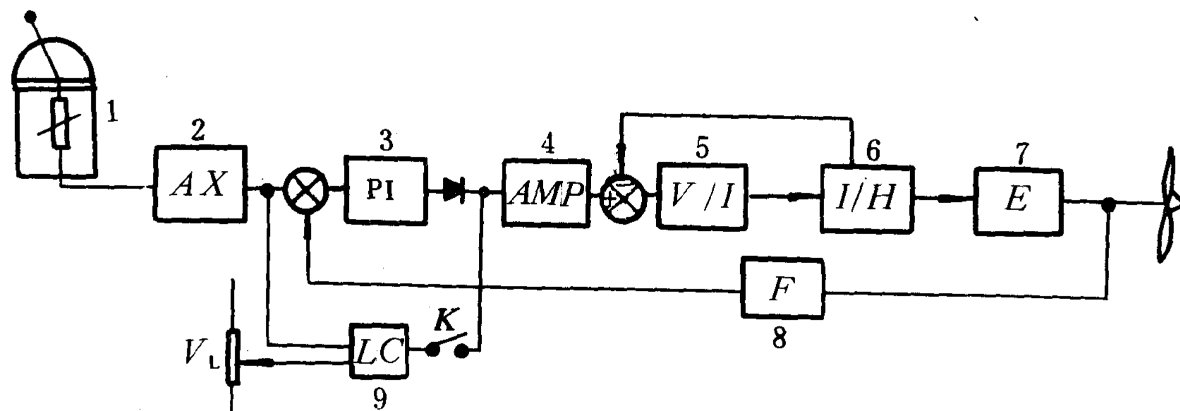


图 9.4.1—13 转速—负荷控制方式

1—指令发讯装置；2—辅助环节；3—调节环节；4—放大环节；5—电压/电流转换环节；6—电流/液压转换环节；7—主机；8—转速反馈环节；9—负荷控制环节

5.2 控制回路的形式

5.2.1 反馈控制

反馈控制回路可用图 9.4.1—14 所示的方块图表示。

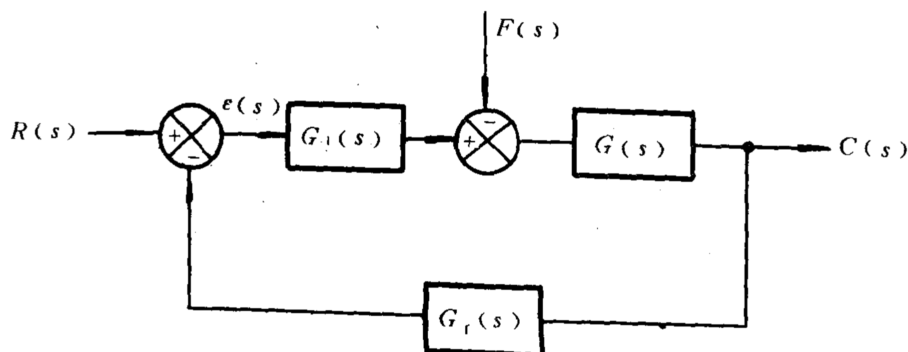


图 9.4.1—14 反馈控制回路方块图

其中R(s)为系统参考输入量的拉氏变换;C(s)为输出量的拉氏变换;F(s)为干扰信号的拉氏变换;$G_1(s)$为调节环节的传递函数;G(s)为控制对象的传递函数;$G_f(s)$为反馈环节的传递函数。目前采用这种控制回路较多,下面给出各类系统和各种机型的反馈控制原理图。

5.2.1.1 气动反馈控制形式(或电一气反馈控制形式)原理框图如图 9.4.1—15 所示。车令信号是气动信号,通过指令发讯,限制环节送到 PG 调速器,调速器的输出通过执行器去控制主机的油量。主机转速信号反馈到调速器,并根据转速偏差进行 PI 调节。

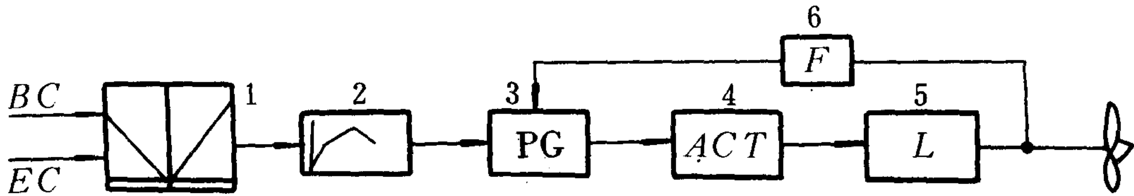


图 9.4.1—15 气动反馈控制形式原理图

1—指令发讯装置;2—速率限制环节;3—调速器;4—执行器;5—主机;6—转速反馈环节

5.2.1.2 电一气反馈控制形式原理框图如图 9.4.1—16 所示。

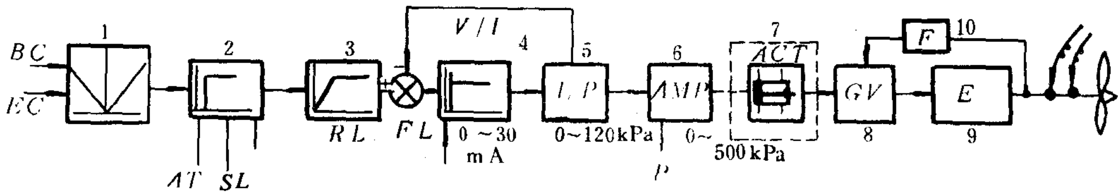


图 9.4.1—16 电一气反馈控制形式原理图

1 指令发讯装置;2—速度限制环节;3—发讯速率限制环节;4—电压/电流转换环节;5—电流/气压转换环节;

6—气动放大器;7—执行器;8—PG 调速器;9—主机;10—速度反馈环节

车令为标准电压信号,最终以气压信号控制调速器拉动油门。图中 AT 为自动停车信号;SL 为速度限制信号;RL 为发讯速率限制;FL 为燃油限制。

5.2.1.3 电一液反馈控制形式原理框图如图 9.4.1—17 所示。

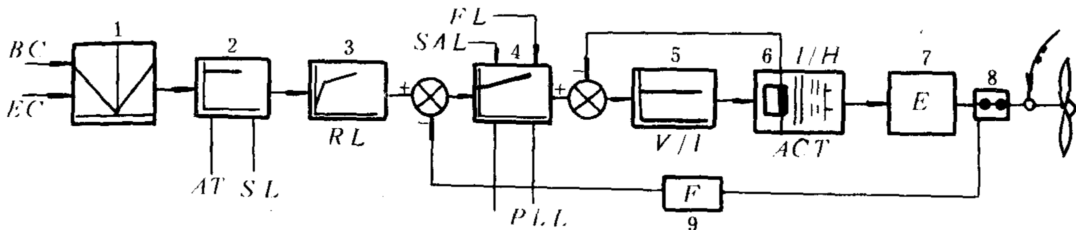


图 9.4.1—17 电一液反馈控制形式原理图

1 指令发讯装置;2—速度限制环节;3—发讯速率限制环节;4—电子调节器;5 电压/电流转换器;

6 电流/液压转换器;7—主机;8 测速单元;9—速度反馈环节

其主要特点是采用了电子调速器和液压执行机构。图中 AT 为自动停车信号;SL 为速度

限制信号；RL 为发讯速率限制；SAL 为增压空气限制；FL 为燃油限制(或转矩限制)；PLL 为负荷程序限制。

5.2.2 复合控制

在控制系统中，既通过偏差信号，又通过前馈信号对被控信号所进行的控制称为复合控制。它适用于控制精度和动态性能要求较高的控制系统中。通常复合控制分为补偿扰动和补偿控制信号二种方案。主机遥控系统中采用补偿扰动信号的复合控制方案较少见。图 9.4.1—18 为实际应用的主机控制系统简化方块图。

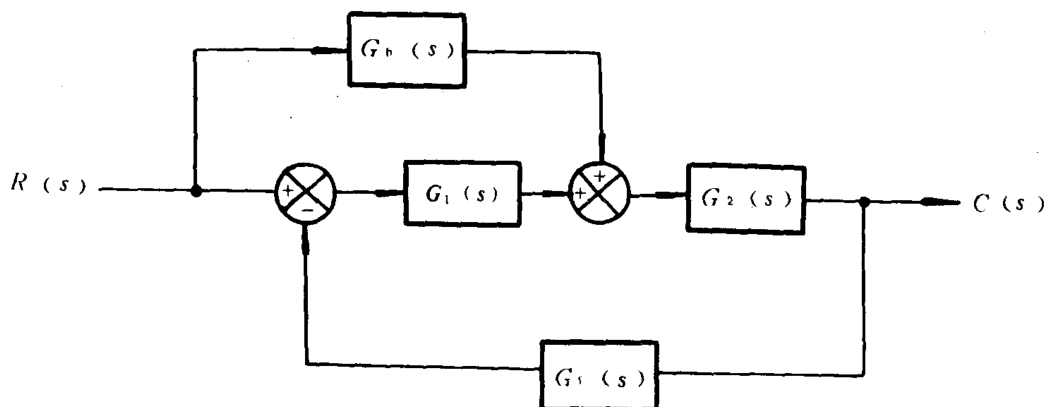


图 9.4.1—18 主机控制系统简化方块图

该系统引进部分补偿前馈通道，在一定程度上提高了系统的跟踪精度和减小稳态误差。

5.3 限制环节

转速与负荷控制回路中的限制环节是为保证主机安全可靠运行的各种保护环节。

转速限制通常包括：启动转速限制、临界转速限制、最大转速限制、故障停车、故障减速以及热负荷限制等。另外，当主机工作在额定负荷 70%以上的交变负荷区时，为防止超负荷，须给定一个特殊的时间程序，使主机慢慢加速，称之为程序负荷。

负荷(燃油)限制是对柴油机的机械负荷和热负荷的限制。通常，负荷限制环节包括增压空气压力限制，转矩限制和螺旋桨特性限制等。

5.3.1 转速限制

从车钟手柄给出车令(即设定主机转速)，到调速装置输出给油量使主机转速变化，其间设置了各种限制环节，目的在于确保主机安全不失事地加速运行。下面介绍的各种限制环节的基本原理均是利用钳位原理。

5.3.1.1 加速限制

为了防止加速过快，在指令发送回路中设置加速限制环节，使手柄设定指令信号按预先调定的加速速率发送出去。在电动控制系统中，采用斜坡控制电路(积分环节)。当突加的转速设定信号输入该回路时，其电路的输出则按预先调定的斜坡特性变化。在气动控制系统中，多采用分级式延时阀达到限速目的。如图 9.4.1—19 所示。当转速设定信号 p_1 小于调定压力 p_{st}时，对 p_1 无限制作用。当 $p_1 > p_{st}$时，则有延时作用，使其输出 p_0 缓慢增加。若 $p_1 < p_0$，则对 p_0 的下降速度无限制。

5.3.1.2 程序负荷

当主机转速达到额定负荷的70%之上时，主机热负荷已经很高，为了防止超负荷，须加一个特殊的时间程序，满足主机缓慢加速的要求。

图9.4.1—20为电动遥控系统的负荷程序控制回路原理图。负荷程序的开始必须是转速设定值与实际转速值（转速检测值）均已超过负荷程序的设定值。

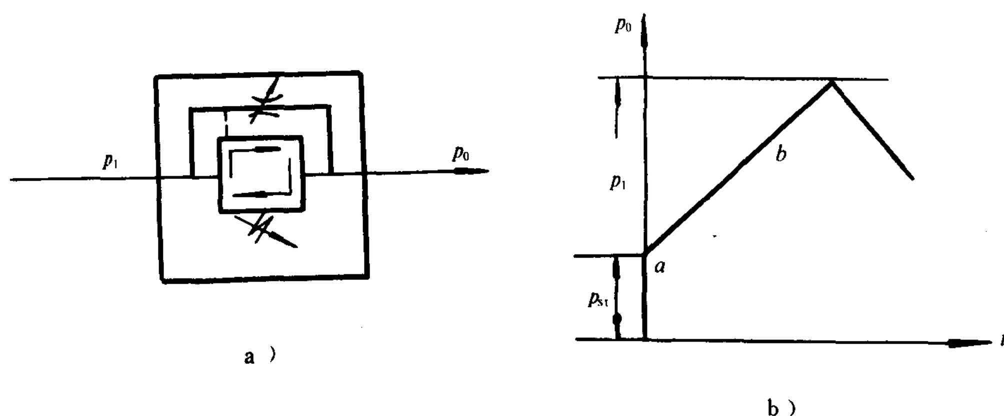


图9.4.1—19 分级延时特性图

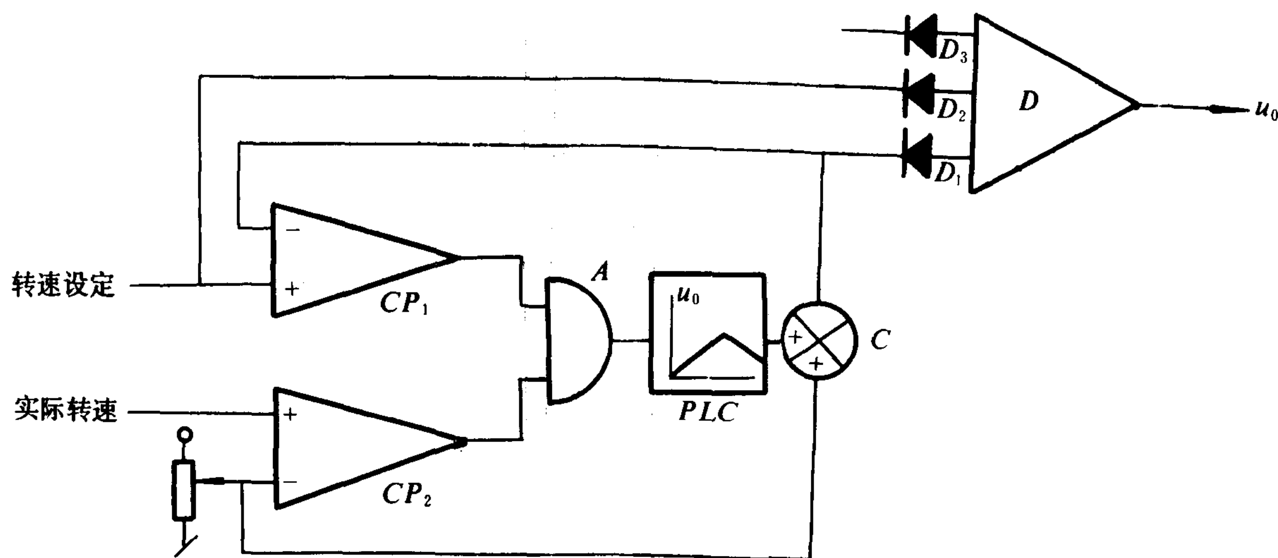


图9.4.1-20 电动程序负荷控制原理图

当转速设定值小于负荷程序设定值时，选小器D送出转速设定信号。

当转速设定值及转速测量值（实际转速）均已大于负荷程序设定值时，CP_1、CP_2 输出高电平，与门A也输出高电平到负荷控制器PLC，并以预先调定的斜坡特性输出控制信号与负荷程序设定值相加，送到选小器D的 D_1 端，由于 D_1 端电位低于 D_2 端，故选小器D送出 D_1 端信号。随着PLC信号的增加，D_1 也逐渐增加，从而实现程序负荷。当 D_1 值达到转速设定值，停止加速过程。

图9.4.1—21为气动遥控系统程序负荷控制原理图。当车钟手柄设定转速高于70%额定负荷时，程序负荷设定阀只输出其预先调定的相当于70%额定负荷的控制信号，这时转速设

定信号经单向节流阀 1 向气容 2 充气，由于阻一容环节作用，A 点压力建立较慢，输出信号 p_0 缓慢增加，从而保证了柴油机在进入高负荷加速阶段只能缓慢加速。

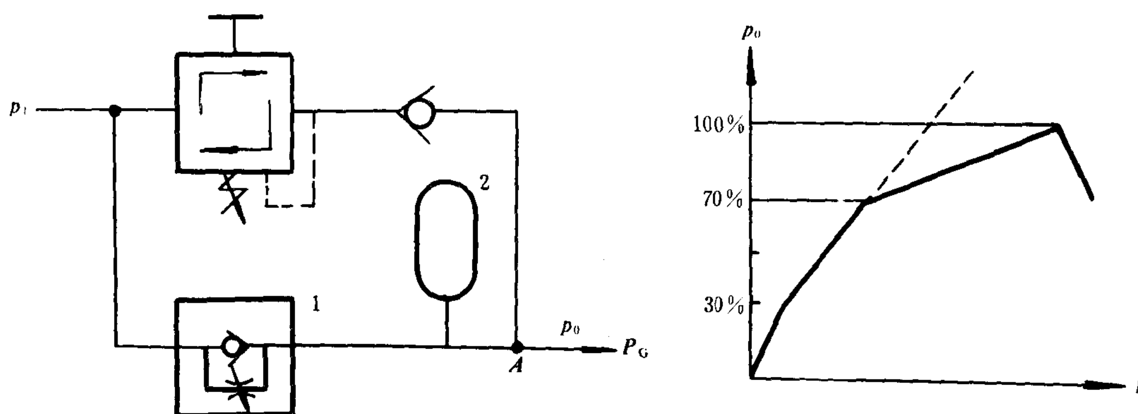


图 9.4.1—21 气动程序负荷控制原理图

5.3.1.3 临界转速的回避

柴油机在临界转速区工作时，产生的扭转振动应力将超过曲轴材料的允许应力，可能造成曲轴扭伤或折断；或者造成组合式曲轴的组合件相对滑移，破坏了柴油机的各种定时，因此，必须避开临界转速区。避开临界转速区的方案不一。

图 9.4.1—22a)为电动控制系统的临界转速避开回路。u_s 为转速设定电压，u_0 为回路的输出电压；V_a、V_b 分别为临界区的上、下限值。

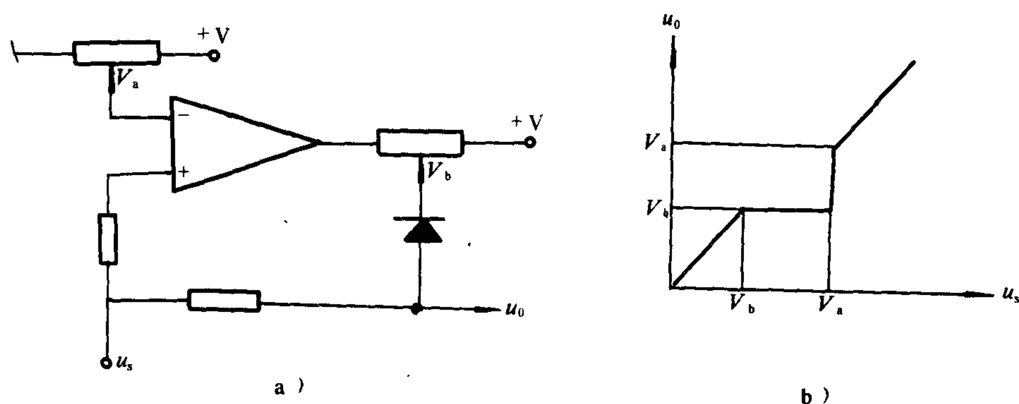


图 9.4.1—22 电动临界转速避开原理

当 $u_s < V_b$ 时，$u_0 = u_s$

$V_b < u_s < V_a$ 时，$u_0 = V_b$

$u_s > V_a$ 时，$u_0 = u_s$

其输出特性如图 9.4.1—22b)所示。

图 9.4.1—23a)为气动控制系统临界转速区避开回路。p_0 为该回路的输出压力，p_a、p_b 分别为临界区的上、下限值；阀 1、3 为调压阀，分别调定 p_b、p_a。阀 2 为双气路控制阀。当 $p_s < p_a$ 时，阀 2 工作于上位，反之，工作于下位。

当 $p_s < p_b$ 时，$p_0 = p_s$

$p_b < p_s < p_a$ 时，$p_0 = p_b$。

$p_s > p_a$ 时，$p_0 = p_s$

其输出特性如图 9.4.1—23b)所示。

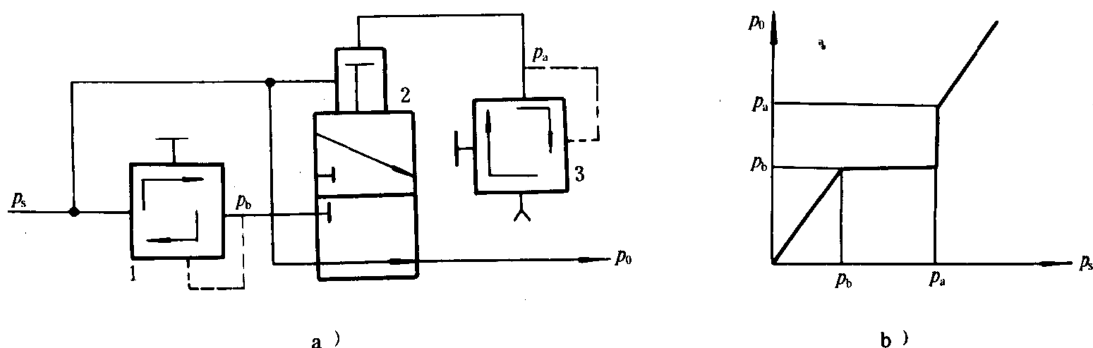


图 9.4.1—23　气动临界转速避开原理图

5.3.2　负荷限制

负荷限制是指对柴油机的机械负荷和热负荷限制，由于这些限制环节加在调速器的输出端上，对其供油量加以限制，故称为负荷限制。它包括增压空气压力限制，转矩限制和螺旋桨特性限制等。

5.3.2.1　增压空气压力限制

为了保证在加速过程中燃油量与空气量有一合理的配比，采用增压空气压力限制环节，使燃油量随增压空气压力的提高而成比例地自动增加。在气动遥控系统中，该环节多设在调速器内部(如 UG 和 PG 调速器本身设有增压空气限制环节)。在电动控制回路中该环节的原理图如图 9.4.1—24 所示。图中 u_{AP}为增压空气压力变送器输出的电压信号；u_p 为预先设定的电压信号值，这个电路可实现图示的特性。其中 ab 段为启动状态的限制段，bc 段为正常工作限制段。从这个限制特性可以看出：对应于一定的空气压力就有一个最大的油量限制。送至调速环节的油量控制信号只能低于或等于这个最大值，从而起到用增压空气压力限制最大给油量的目的。

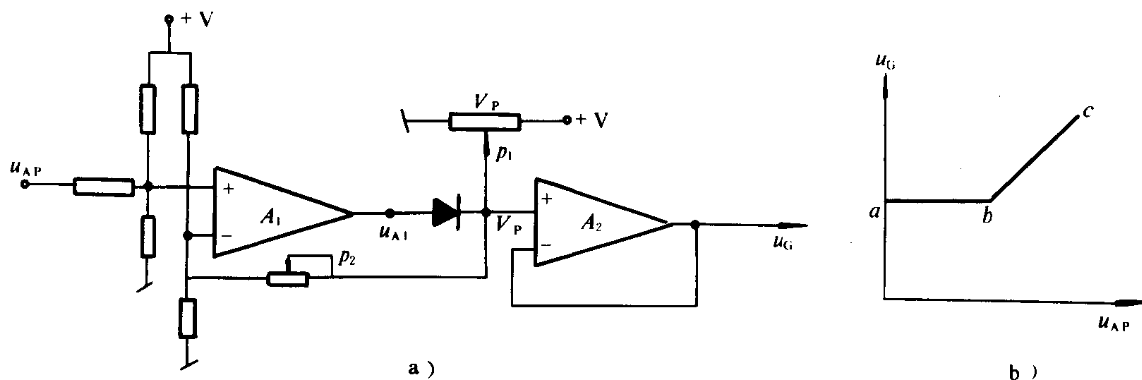


图 9.4.1—24　电动增压空气压力限制原理图

5.3.2.2　螺旋桨特性限制

主机与螺旋桨的配合是按螺旋桨特性工作的，即转矩(油量)与转速成平方关系。而转矩限制、增压空气压力限制等，其限制特性均为线性关系。由于主机的转矩与转速的特性是非线性的，因此，无法实现理想的限制。若采用螺旋桨特性来限制给油量，则能使给油量与转速成平方关系，实现更为完善的负荷限制。

完全按着螺旋桨特性来限制负荷较为困难，现行的系统有的是采用螺旋桨特性函数发生器来实现。如图 9.4.1—25 所示。

图中 u_a 为初始设定电压；u_b、u_c 分别为折点 b、c 的电压；$-u_R$ 为调节器送来的调速电压信号。从图中可以看出，改变函数发生器的折点电压值（u_b、u_c）和调整线段的斜率（A_1、A_2、A_3）就可以近似地实现螺旋桨特性限制。

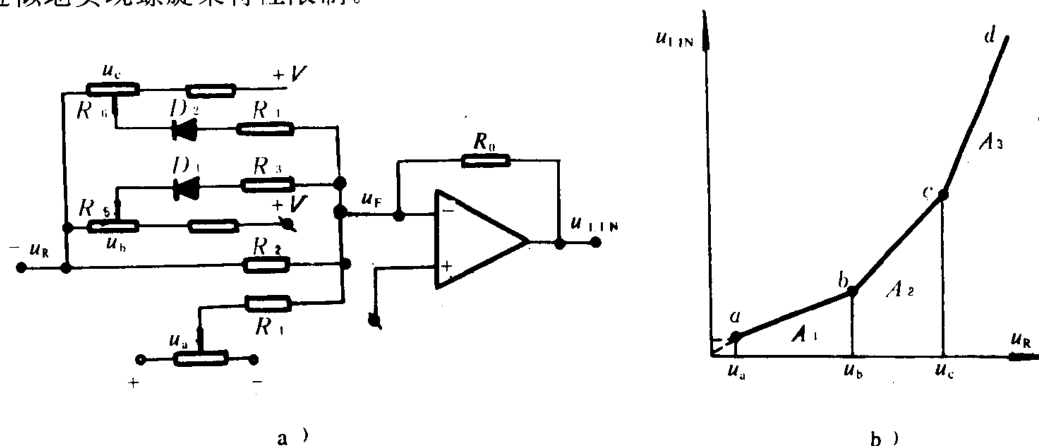


图 9.4.1—25　螺旋桨特性限制原理图

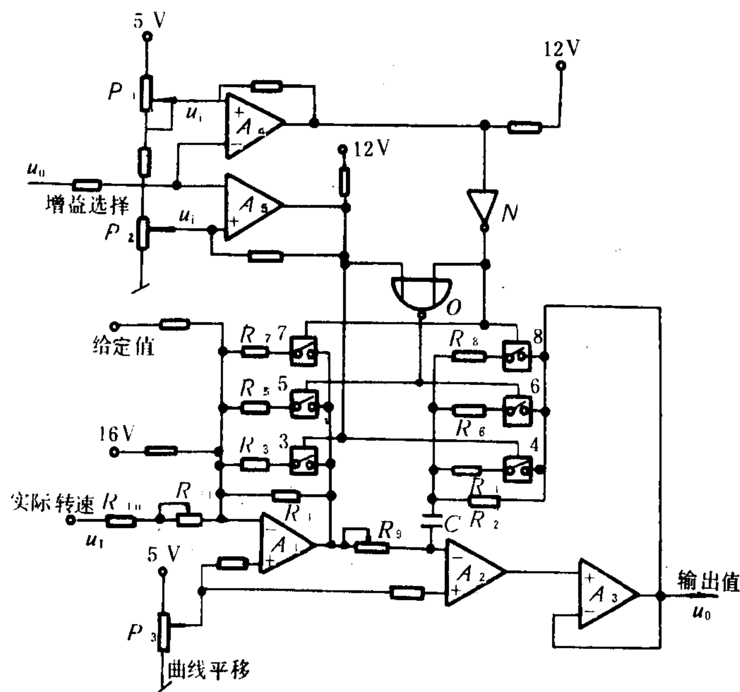


图 9.4.1—26　PI 调节器及其调节特性

有的电子调速器中采用电子开关控制的电阻网络来改变运算放大器的放大系数，从而使输出电压（对应油量大小）与输入的转速设定信号之间的关系与螺旋桨特性更加吻合。图 9.4.1—26 为 PI 电子调节器的电路图。

在调速过程中，若转速设定值较低，经调节器后输出的电压信号 u_0 也较低，u_0 回送到增益选择电路，使其 A_4、A_5 的 u_i 均大于零，故 A_4、A_5 输出高电平，电子开关 3、4 闭合，较小的电阻 R_3、R_4 并在固定的反馈电阻 R_1、R_2 上，所以，运放器 A_1、A_2 的放大系数 K_1、K_2 较小，使调节器的输出电压沿第一段特性线变化。随之转速设定值继续升高、u_0 也升高，在 u_0 值升至使 A_5 的 $u_i<0$ 时，A_5 翻转，输出低电平，此时 A_4 仍输出高电平，故使电子开关 5，6 闭合，中值电阻 R_5、R_6 并入，K_1、K_2 取中值，调节器工作于第二段特性线上。若转速设定值的进一步提高，最终也会使 A_4 翻转，输出低电平，电子开关 7、8 闭合，较大电阻 R_7、R_8 并入，调节器工作于第三段特性线上。这一折线便可近似地认为螺旋桨特性线。因此，主机的给油量与转速之间的变化关系基本上按着螺旋桨特性进行。

第 2 章　气动遥控系统

目前，气动遥控系统随柴油机的型式而异，类型较多。不管那种型式的遥控系统，其工作原理都是利用压缩空气作为控制能源，通过各种气动控制阀件组成的逻辑程序控制回路及执行机构，对柴油机的换向、启动、调速及停车进行自动操纵。下面通过典型气动遥控系统介绍其组成原理、逻辑功能、控制回路及操作管理方法。

1　系统的组成和基本功能

表 9.4.2—1 列举了几种典型气动遥控系统的组成及其基本功能。

表 9.4.2—1　**气动遥控系统的组成及功能比较**

型式	组成及设备	基本功能	适用机型
M·A·N 型柴油机气动遥控系统	系统由驾驶室操纵台、集控室操纵台、气动程序控制箱、气动执行机构及测速装置等组成	①在驾驶室或集控室均能用单手柄遥控主机。操纵部位的转换可通过设在集控室的“驾控—集控”转换阀和设在机旁的“手控—遥控”转换阀进行	M·A·N 16V40/54 及 M·A·N 18V40/54 型柴油机
	①驾驶室操纵台上设有遥控车钟，紧急操纵、紧急停车、强制运行等操纵按钮及启动、控制和供油气压表等	②主机的换向、启动、调速及停车能按操作程序自动进行	
	②集控室操纵台上还有操纵部位转换开关，燃油限制及模拟测试等设备	③启动失败能自动重复启动，重复启动三次失败发出声光报警信号	
	③气动程序控制箱包括换向、启动、调速及停油的逻辑控制单元	④在驾驶室、集控室可使主机紧急停车、紧急制动和紧急换向	
	④执行机构包括停油气缸、换向、启动及膜式调速执行机构	⑤能利用模拟测试装置对系统功能进行检查	

续上表

型式	组成及设备	基本功能	适用机型
SULZER型柴油机气动遥控系统	系统由驾驶室操纵台、集控室操纵台、电气控制箱、气动逻辑控制箱、电气转换环节和执行机构等组成 ①在驾驶室操纵台上设有气动遥控车钟、操纵部位转换装置、紧急停车按钮及指示仪表、显示报警设备 ②在集控室操纵台上设有启动、换向、调速操纵机构；操纵部位转换装置；指示仪表及报警显示设备 ③电气控制箱设有自动负荷程序控制环节 ④气动逻辑控箱设有气动逻辑控制环节 ⑤执行机构包括三位置缸、调速气缸、启动控制阀等	①在驾驶室、集控室均能遥控主机，主机的换向、启动、调速及停车均能按操作程序自动进行 ②遥控部位的转换可在集控室和机旁进行 ③启动失败后能自动重复启动，重复启动三次失败发出声光报警信号 ④能自动避开临界转速区 ⑤能实现自动负荷程序控制 ⑥具有紧急停车、紧急制动和换向、安全保护联锁及模拟测试的功能	SULZER RND型柴油机
B&W型柴油机电$气式遥控系统	系统包括驾驶室操纵台和集控室操纵台、电气程序控制箱、气动控制阀箱及执行机构等 ①驾驶室操纵台上设有遥控主、副车钟，操纵部位转换开关，转速微调开关、自动增速程序切除开关、紧急停车按钮 ②集控室操纵台上设有主车钟接收器(兼换向手柄)，副车钟接收器、调速手柄(兼启动手柄)、操纵部位转换开关、负荷解除开关、紧急停车按钮、启动及控制空气压力表 ③电气控制箱内设有继电器、转速及重复启动次数设定装置等 ④气动控制阀箱中设有电磁阀、减压阀及伺服气缸等	①在驾驶室、集控室及机旁均能操纵主机。驾驶室操纵主机的换向、启动、调速能按程序自动进行、集控室操纵没有自动程序 ②在驾驶室和集控室可进行"驾控—集控"操纵部位的转换 ③启动失败后能自动重复启动，重复启动三次失败发出声光报警信号 ④能自动避开临界转速区 ⑤用遥控车钟可进行有级调速、用微调开关可进行级间的无级调速 ⑥自动增速程序。当主机转速达到额定转速的80%时，能自动进入程序负荷区 ⑦驾驶室可对主机进行紧急停车或紧急加速控制	B&W 6K62EF和B&W 7K62EF型柴油机

2 常用控制阀件

在气动遥控系统中，对气压信号起控制与调节作用的阀件有很多种。根据用途和工作原理的不同可分为：流向控制阀、流量控制阀和压力控制阀三大类。

2.1 流向控制阀

这类控制阀有多种控制方式实现流向的切换控制。常用的有二位三通阀和逻辑控制阀两种，见表9.4.2—2。

表 9.4.2-2　　　　**流向控制阀的种类及代用符号**

<table>
<tr><th colspan="2">类　　型</th><th>代用符号</th><th colspan="6">原　理　与　特　性</th><th>应　用　说　明</th></tr>
<tr><td rowspan="19">二位三通阀</td><td rowspan="3">气压控制阀</td><td rowspan="3"></td><td colspan="2">接口号</td><td>5</td><td>1</td><td>2</td><td>4</td><td rowspan="3">利用气压信号实现流向切换控制。根据管路接口 1、2、4 的安排不同，可以得到各种逻辑功能</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">状态</td><td>无气</td><td colspan="2">导通</td><td>截止</td></tr>
<tr><td>有气</td><td>截止</td><td colspan="2">导通</td></tr>
<tr><td rowspan="4">中间继动阀</td><td rowspan="4"></td><td>接口</td><td>3</td><td>5</td><td>1</td><td>2</td><td>4</td><td rowspan="4">常用来作中间继动阀使用</td></tr>
<tr><td rowspan="3">状态</td><td rowspan="2">无气</td><td>有气</td><td colspan="2">导通</td><td>截止</td></tr>
<tr><td>无气</td><td>截止</td><td colspan="2">导通</td></tr>
<tr><td>有气</td><td>有或无</td><td colspan="3">截止</td></tr>
<tr><td rowspan="3">机械控制阀</td><td rowspan="3"></td><td colspan="3">机控定位</td><td>1</td><td>2</td><td>4</td><td rowspan="3">利用凸轮或限位止档实现气压流向切换或给出控制气压信号</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">状态</td><td>I</td><td colspan="2">导通</td><td>截止</td></tr>
<tr><td>II</td><td>截止</td><td colspan="2">导　通</td></tr>
<tr><td rowspan="3">手控控制阀</td><td rowspan="3"></td><td colspan="3">手控定位</td><td>1</td><td>2</td><td>4</td><td rowspan="3">除了可进行手操控制外，还可从控制口 5 引入复位气压使手柄自动切换到“0”位用于自动—手动切换及手操控制启动控制阀</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">状态</td><td>O</td><td colspan="2">导通</td><td>截止</td></tr>
<tr><td>I</td><td>截止</td><td colspan="2">导通</td></tr>
<tr><td rowspan="3">手操—气控两用控制阀</td><td rowspan="3"></td><td colspan="2">接口号</td><td>5</td><td>1</td><td>2</td><td>4</td><td rowspan="3">该阀动作与二位三通阀相同。增加了一手动装置。常用作在紧急情况下可以手动操作的场合</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">状态</td><td>失压</td><td colspan="2">导　通</td><td>截止</td></tr>
<tr><td>加压</td><td>截止</td><td colspan="2">导通</td></tr>
<tr><td rowspan="3">电磁控制阀</td><td rowspan="3"></td><td colspan="3">电磁控制</td><td>1</td><td>2</td><td>4</td><td rowspan="3">利用电磁作用实现流向切换控制。根据管路接口 1、2、4 的安排不同可以得出各种逻辑功能</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">状态</td><td>失电</td><td colspan="2">导通</td><td>截止</td></tr>
<tr><td>通电</td><td>截止</td><td colspan="2">导　通</td></tr>
</table>

续上表

类型		代用符号	原理与特性	应用说明
逻辑控制阀	单向止回阀	A—P	根据管路上气压的流向确定气流的导通或截止。气流由P→A导通，A→P截止	导通时应有低的流动阻力，阻断时应有好的气密性。用于只允许气流单向导通，反向截止的场合
	双向止回阀	P_2—P_1，A	由两个单向止回阀串联而成，它对流向控制具有"或门"的逻辑功能。即P_1或P_2口有气压输入时，A口就会有气压输出。	用于实现气流流向"或"逻辑的切换控制
	双压(联动)阀	P_2—P_1，A	对气流的控制具有"与门"的逻辑功能。即P_1和P_2口都有气压输入时，A口才有气压输出。	用于实现气流流向"与"逻辑的切换控制。
	快速排气阀	A—P	管路上有气压时阀处于导通状态，气压消失则快速排气。P→A导通，P口失压，A口气压排大气	用于管路的快速排气

2.2 流量控制阀

流量控制阀是利用阀芯开度的大小来实现流量控制的。常用的见表9.4.2—3。

表9.4.2—3 **流量控制阀的种类及代用符号**

类型	代用符号	原理与特性	应用说明
单向节流阀	A_2 A_1	由单向止回阀和节流环节并联而成。气压流向由A_1→A_2，起流量控制作用气压流向由A_2→A_1不起流量控制作用。流量控制范围是管道流量的20%～30%	用于需要有延时输出作用的控制回路中，如设定启动过程的总周期
定压流量控制阀	2 1	由定压控制环节和节流控制环节组成。当输入口的气压大于定压控制值时，输出口的压力升高要经过延时，反之不经延时。定压控制值的大小和压力增加的延时时间可调	常用于转速设定信号的压力延时及启动过程的时间延时

2.3 压力控制阀

对控制系统的气压信号起调节和控制作用的压力控制阀见表9.4.2—4。

表 9.4.2—4　　压力控制阀的种类和代用符号

类型	代用符号	原理与特性	应用说明
减压阀	P_2 P_1	利用力平衡原理进行工作。给定弹簧的作用力和输出气压的反馈力进行比较，在平衡时有确定的气压输出，减压值可调	转动调节手轮可以调定输出压力的大小，当输出负载发生变化时，仍能使输出压力保持恒定值
精密调压阀	2 1	是工作过程中可以调节的减压阀。在平衡状态下，输入控制机构的位移变化与输出气压变化有一一对应关系	转动调节手轮可以设定输出压力的大小。常用来稳定气路中的工作气压和遥控转速的设定气压
比例调压阀	5 3 4 2 1	它也是利用力平衡原理进行工作。当输入气压足够大时，输出气压和控制气压彼此呈 1:1 的比例关系	用于控制柴油机的供油量

3　气源处理回路及选通

图 9.4.2—1 为气源处理回路。由它提供遥控系统所需的 296×10^4Pa 和 68×10^4Pa 气源。

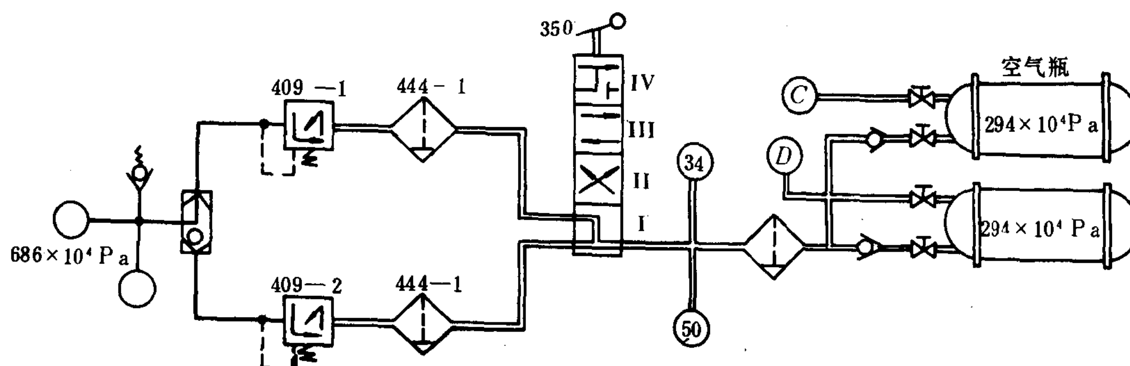


图 9.4.2—1　气源处理回路

气源处理回路设有两个分支，以便交替使用或同时使用。各分支的切换由选择阀 350 来进行。

I 阀位：　上下两分支同时投入使用；

Ⅱ、Ⅲ阀位：　都是单分支投入使用；

Ⅳ阀位：　上下两分支都不用。

4　遥控车令发信及操纵部位转换

遥控车令发信是通过遥控车钟实现的。图 9.4.2—2 示出了遥控车令发信及操纵部位转换原理。

遥控车钟操纵手柄同时带动正、倒车指令凸轮和调速指令凸轮，分别作用于二位三通阀 A、B 和精密调压阀 C 上，使 A、B 发出正、倒车换向指令信号，C 发出与车令成比例的转速控制信号。

设在驾驶室和机舱集控室的遥控车钟输出的信号都与操纵部位选择阀 L_{303} 相连。这个阀是一个多路双位控制阀，它的底部设有一个气动活塞锁紧装置，当管路 K 有气压时，操纵手柄可以进行切换。如果管路 K 无气压，切换手柄被锁住。

切换联锁的必要条件是通过联锁阀 L_{603} 来满足的。L_{603} 是一个有四个控制端组合安装而成的流向控制阀，其输入端为 J，输出端为 K。联锁阀的切换规律可归纳为表 9.4.2—5。

表 9.4.2—5　**联锁阀的切换规律**

遥控车钟的工况	控制口				输入 J	输出 K
	第 1 组		第 2 组			
	集:倒	驾:正	驾:倒	集:正		
停车时	×	×	×	×	○	○
驾:正车		○	×		○	×
集:停车	×			×		
驾:倒车		×	○		○	×
集:停车	×			×		
驾:正车		○	×		○	○
集:正车	×			○		
驾:倒车		×	○		○	○
集:倒车	○			×		

结论：当驾驶室和集控室遥控车钟处于同一位置时，L_{603} 导通，管路 K 有气压，L_{303} 解除联锁控制，允许切换。否则不允许切换。

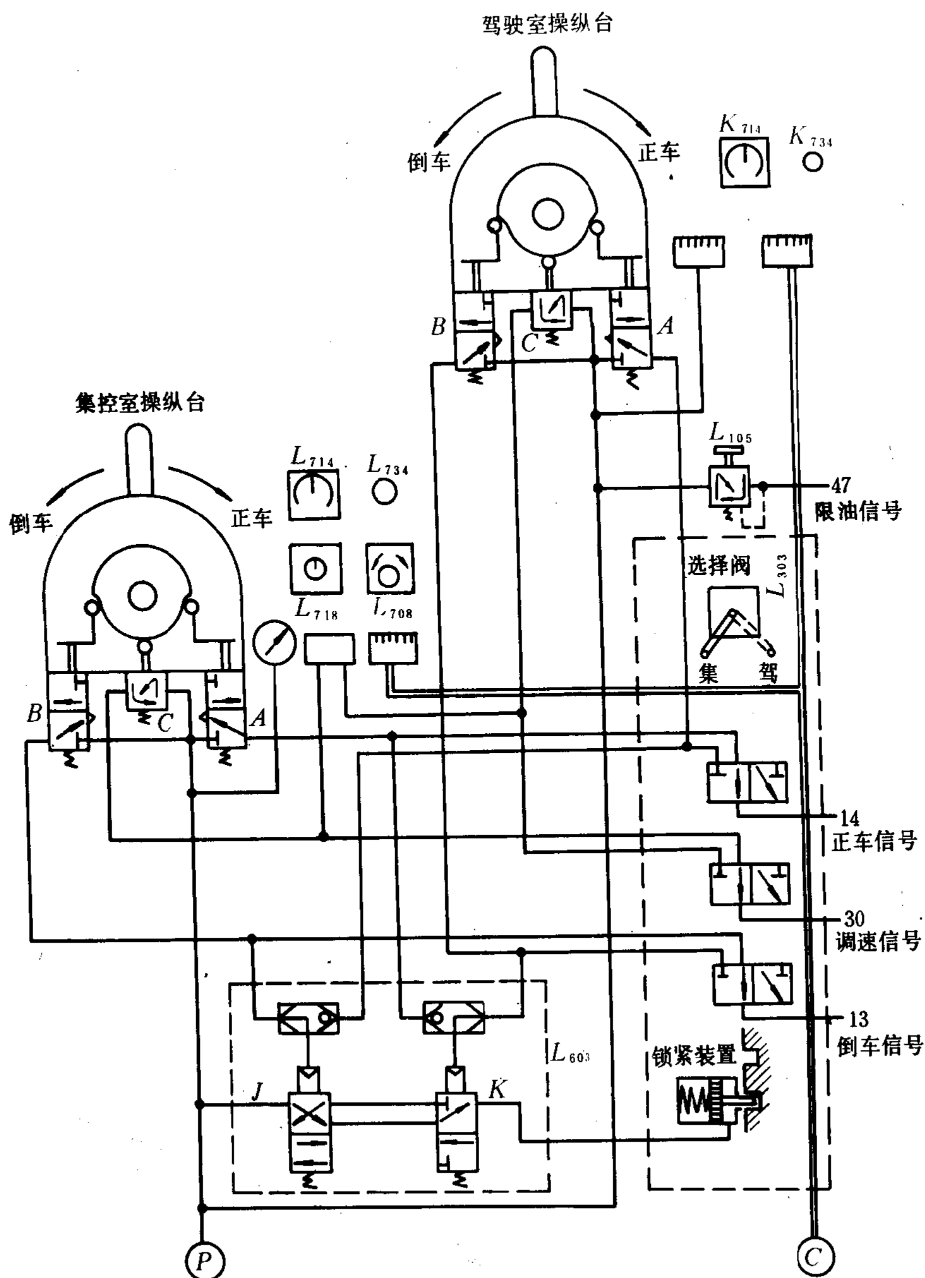


图 9.4.2—2　遥控车令发信及操纵部位转换回路

5　遥控系统的工作原理

遥控系统的工作过程是换向控制回路、启动控制回路和转速控制回路等部分动作的有机结合。下面以 M·A·N16V40/54 和 SULZERRND 型柴油机气动遥控系统为例，介绍换向、启动和转速控制的工作原理。

5.1　换向控制回路工作过程

图 9.4.2—3 示出的换向控制回路的工作过程见表 9.4.2—6。

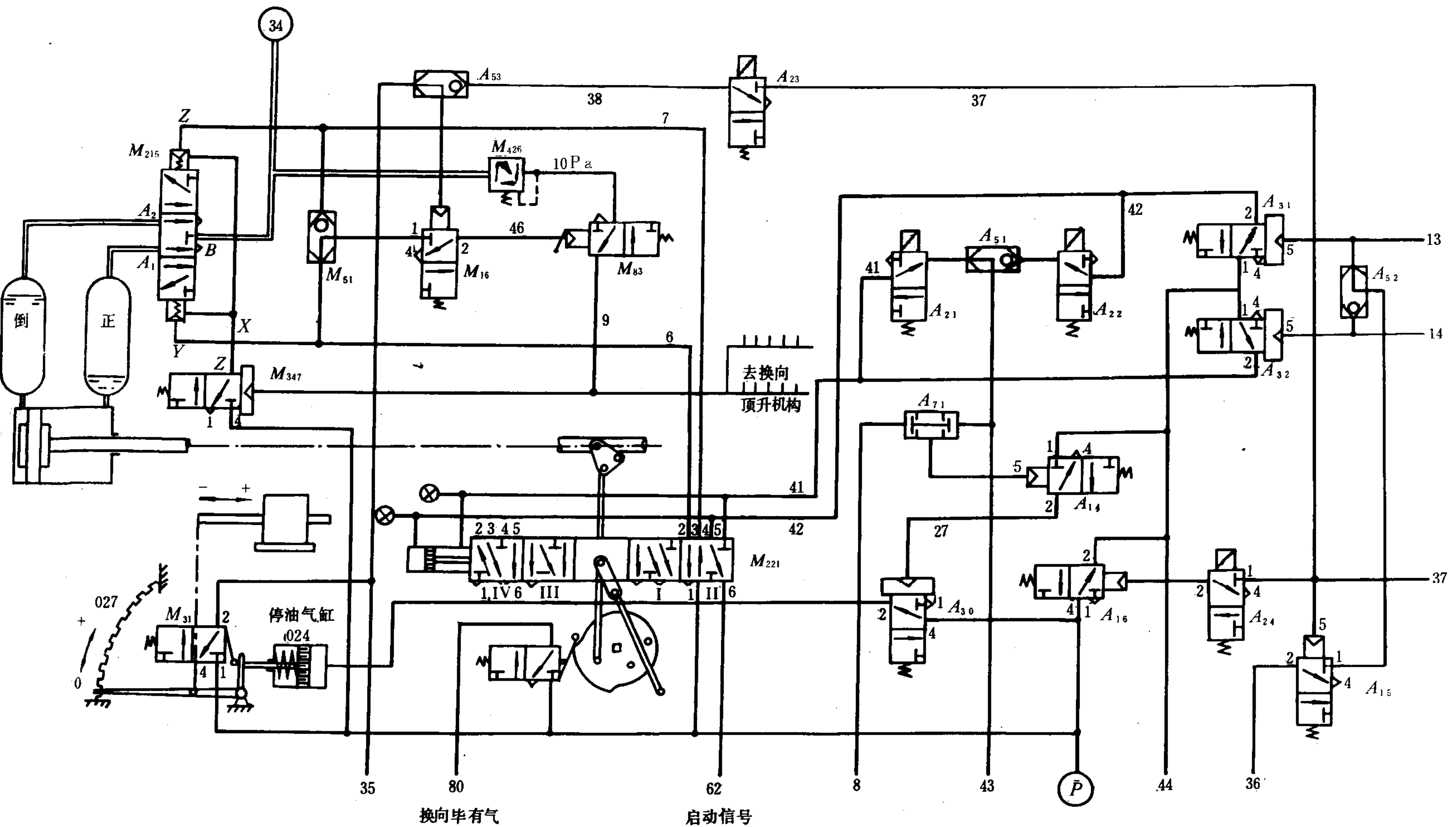


图 9.4.2—3　换向控制回路之一

表 9.4.2-6　　换向控制回路工作过程

换向程序	组成环节	阀动作过程
(1)换向判断	用四位八通阀 M_{221} 进行换向逻辑的判断。该阀有Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ四个阀位	见下表

<table>
<tr><th rowspan="3">阀口 \ 阀位</th><th colspan="4">阀芯受控到位情况</th></tr>
<tr><th>Ⅳ→Ⅰ
机动到位</th><th>Ⅰ→Ⅱ
气动到位</th><th>Ⅱ→Ⅲ
机动到位</th><th>Ⅲ→Ⅳ
气动到位</th></tr>
<tr><th>Ⅰ</th><th>Ⅱ</th><th>Ⅲ</th><th>Ⅳ</th></tr>
<tr><td>2</td><td>通大气</td><td>通大气</td><td>通大气</td><td rowspan="2">导通</td></tr>
<tr><td>1</td><td>截止</td><td rowspan="2">导通</td><td>截止</td></tr>
<tr><td>3</td><td>通大气</td><td>通大气</td><td>通大气</td></tr>
<tr><td>4</td><td colspan="2" rowspan="2">导通</td><td colspan="2">截止</td></tr>
<tr><td>6</td><td colspan="2" rowspan="2">导通</td></tr>
<tr><td>5</td><td colspan="2">截止</td></tr>
<tr><td>状态</td><td>倒车换向完</td><td>正车换倒车</td><td>正车换向完</td><td>倒车换正车</td></tr>
</table>

(2)允许换向条件

停油：由 A_{71}、A_{14} 组成的"与非"门环节判断

输入 管8	输入 管43	A_{14} 输出	状态
0	1	1	停油
1	0	1	停油
0	0	1	停油
1	1	0	供油

换向转速低于允许换向转速：用阀 A_{23} 得电来判断——满足允许换向转速($n \leq 70r/min$)电磁阀 A_{23} 得电，管路 38 与大气相通

(3)可否换向判断：由 A_{53} 和 M_{16} 组成的"或非"门环节判断

输入 管35	输入 管38	输出(可换向指令)
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

(4)换向：三位四通阀 M_{215} 作换向阀，M_{426} 输出的 $98 \times 10^4 Pa$ 气压信号使 M_{215} 切换，$294 \times 10^4 Pa$ 工作气压至换向油缸

<table>
<tr><th rowspan="2">接口</th><th rowspan="2">闭锁口X</th><th colspan="2">控制口</th><th rowspan="2">输出 A_2</th><th rowspan="2">输入B</th><th rowspan="2">输出 A_1</th></tr>
<tr><th>Y</th><th>Z</th></tr>
<tr><td rowspan="3">状态</td><td>有气压</td><td colspan="2">有或无</td><td>通大气</td><td>截止</td><td>通大气</td></tr>
<tr><td rowspan="2">无气压</td><td>有</td><td>无</td><td>通大气</td><td colspan="2">导通</td></tr>
<tr><td>无</td><td>有</td><td colspan="2">导通</td><td>通大气</td></tr>
</table>

(5)换向结束：M_{215} 阀芯复位，指令气压经 M_{221} 至管 62——换向过程中，通过机械反馈使 M_{221} 阀芯从Ⅱ→Ⅰ(倒车工况)或从Ⅳ→Ⅲ(正车工况)，管 6 或 7 失压，M_{215} 自动复位，换向结束。

图 9.4.2—4 换向控制回路的换向动作是通过三位置气缸 8.02 带动换向杆及其转阀4.02 来完成的。换向回路接受驾驶室 BC 或集控室 CR 发出的正、倒车信号 AH 和 AS。当 AH=1、AS=0 时三位置缸带动换向杆及其转阀 4.02 至正车位置。当 AH=0、AS=1 时，至倒车位置，转阀 4.02 控制换向伺服油缸 4.01 的油路，当伺服油缸带动凸轮轴到达转阀 4.02 所规定的位置后，它的信号输出端 81 有油压信号 RF 输出，表示已完成换向。

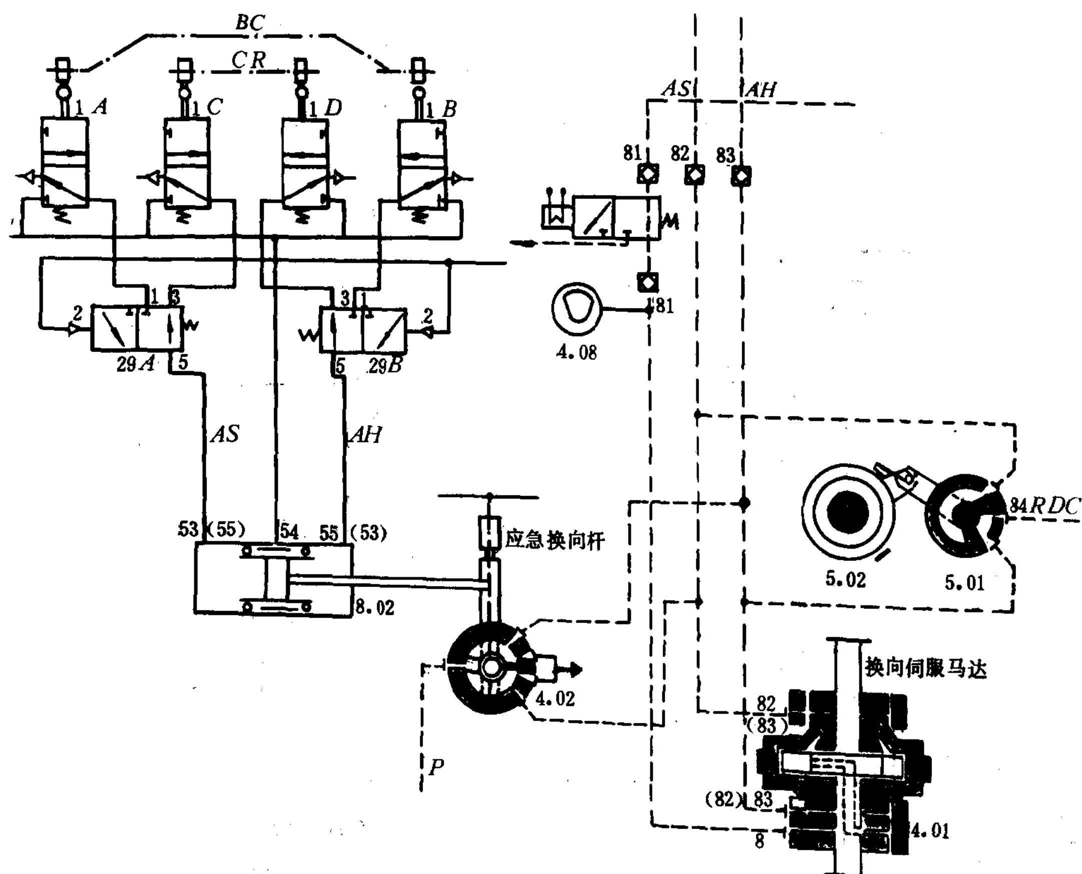


图 9.4.2—4 换向控制回路之二

5.2 启动控制回路工作过程

图 9.4.2—5 所示的启动控制回路是由自动重复启动控制环节、空气分配阀控制环节、缸头启动阀控制环节、启动成功控制环节及应急操纵控制环节等部分组成。

5.2.1 停油情况下的遥控启动

停车情况下的遥控启动，不论是换向启动还是不换向启动，它总是以管路 62 出现由遥控车钟所给定的启动指令信号为标志。其工作过程见表 9.4.2—7。

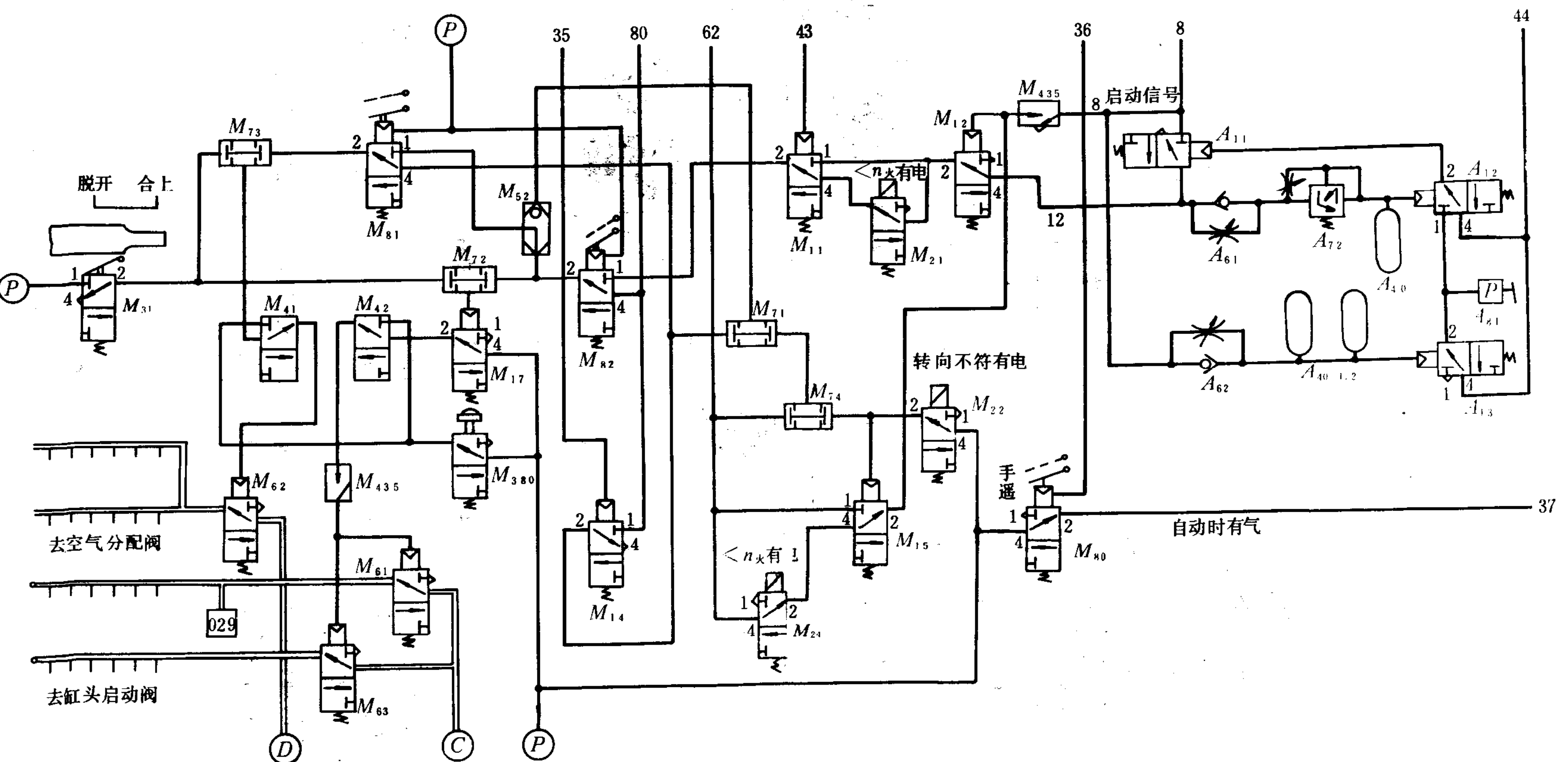


图 9.4.2—5 启动控制回路之一

表 9.4.2—7　**停车情况下的遥控启动过程**

启动过程		控制阀件	说明
启动条件	(1)凸轮轴换向完成	管 62 的启动信号进入 M_{24}(n=0 时得电)和 M_{15}、$M_{12}M_{21}$($n<n_k$ 时得电。)M_{11}(转向一致时有气)、M_{52}、M_{81}和 M_{73}、M_{41}到空气分配器	为主机启动提供控制气压
	(2)盘车机脱开	启动信号经 M_{72}、M_{17}使遥控气源经 M_{42}、M_{435}到缸头启动控制阀 M_{61}和 M_{63}	为启动提供动力气压
	(3)供油	因管 27 失压,停油气缸复位。	为启动提供供油条件
启动	启动成功	当转速 $n\geqslant n_k$ 时,M_{21}失电,启动过程结束	启动成功进入调速控制。启动失败后自动进行重复启动
	自动重复启动	启动信号经 A_{61}、A_{72}、A_{40}至 A_{12},利用 A_{72}定压节流和 A_{61}节流排气延时原理实现 A_{62}、A_{40}—1.2 延时环节实现三次启动总计时	重复启动持续时间由 A_{72}调定(例如 5s)。启动间隔时间由 A_{61}调定(例如 3s)

5.2.2　运行情况下的反向启动

它是指凸轮轴换向到位,主机转向与指令不一致的启动过程。见表 9.4.2—8。

表 9.4.2—8　**运行情况下的反向启动过程**

启动过程	控制阀件	说明
(1)有启动信号	M_{221}切换,M_{32}失控	管 62 和管 80 有气压信号
(2)停油	因转向不一致管 43 无气	停油气缸处于断油状态
(3)接通启动空气	M_{82}使 M_{62}、M_{61}、M_{83}受控	294×10^4Pa 工作气压进入空气分配器、启动阀及 029 升压器
(4)加压制动	管 80 的启动气压经 M_{82}至 M_{63},接通工作气源	294×10^4Pa 气压进入气缸,形成加压制动过程
(5)启动	主机转速下降为零	进入停车情况下的反向启动过程

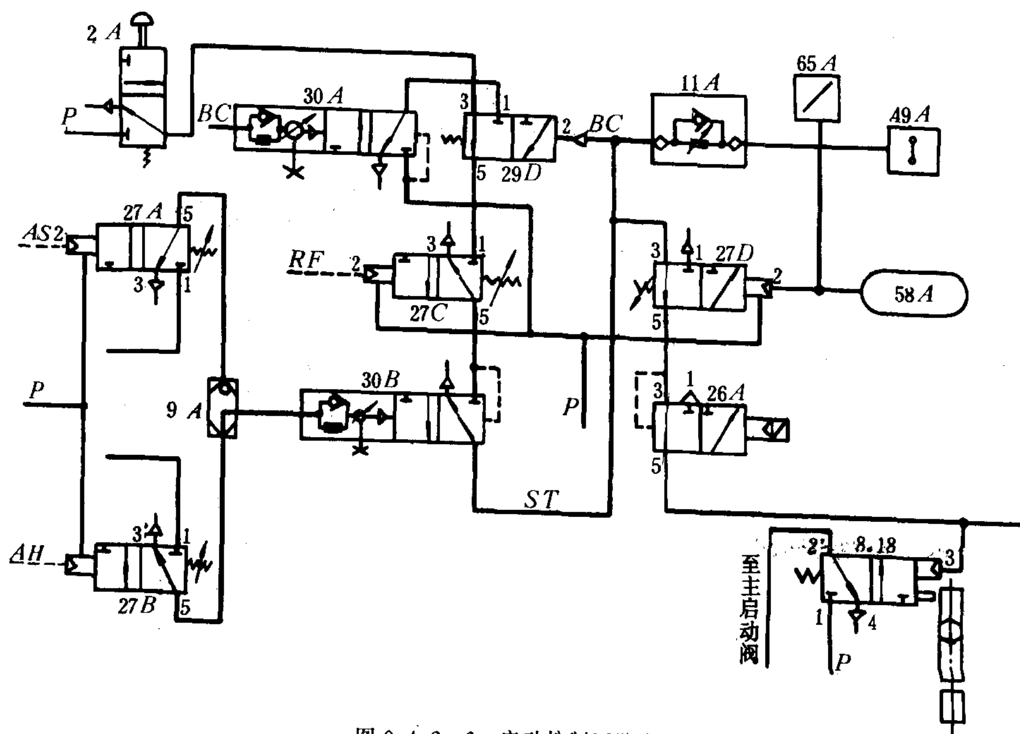


图 9.4.2—6　启动控制回路之二

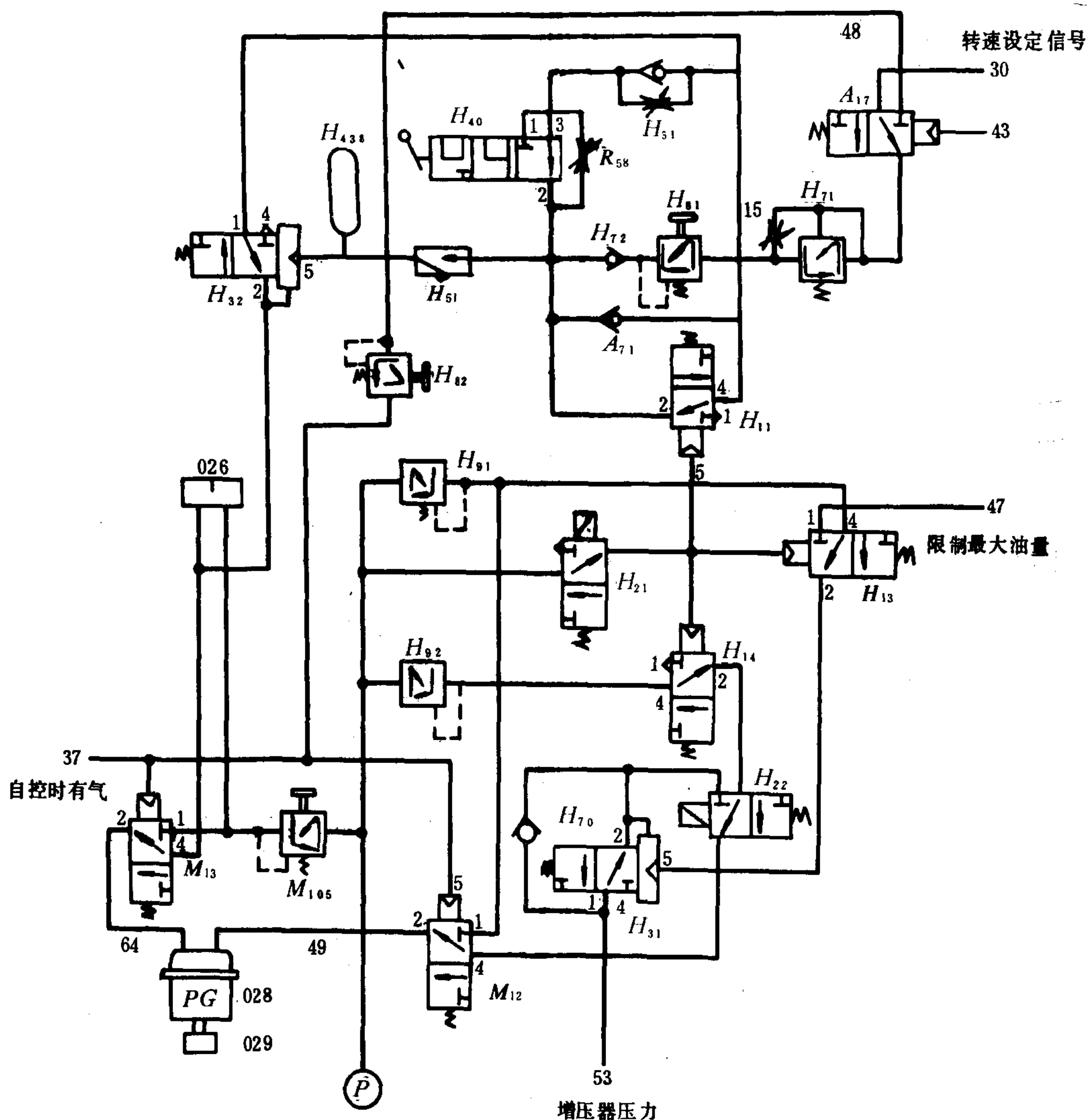


图 9.4.2—7 转速控制回路之一

5.2.3 应急情况下的反向启动

它与运行情况下的换向启动过程的主要差异是采取了先减压制动后加压制动的控制。

在满足应急制动和转向不符两个条件后，使阀 M_{22}得电，M_{15}切换且 M_{24}在 $n>n_{火}$ 时失电，管 62 的启动信号受阻，主机不能出现加压制动过程。M_{22}的输出信号经“与门”M_{74}、M_{71}至 M_{81}使 M_{62}受控，工作气压进入空气分配阀，以正常定时相反的规律控制缸头启动阀进行减压制动过程。当 $n<n_{火}$ 时，M_{21}和 M_{24}得电，使管路 8 又获启动信号，减压制动自动切换成加压制动。当 $n=0$ 时，启动过程同上述。

图 9.4.2—6 所示的启动控制回路的关键是确认凸轮轴换向到位和转速低于允许换向转速后，阀 27A 和 27B 在逻辑上完成“与”功能，即换向转阀的位置和指令一致时才有气压输出经阀 9A 至 30B。当凸轮到位的信号 RF 来到时才能使 30B 有气压信号 ST 输出，并通过 27D 和 26A 使主启动阀 8.18 打开，启动主机。当达到指令转向的启动转速时，阀 26A 得电，使主启动阀关闭。

如果启动失败，26A 失电，自动进行二次、三次重复启动。重复启动次数由阀 11A、气容

58A 和阀 27D 组成的计时环节来限制。

5.3 转速控制回路工作过程

主机转速控制是通过燃油油门开度的控制实现的。由程序加速控制环节和燃油限制控制环节组成，见图 9.4.2—7。

5.3.1 程序加速控制环节

它由 A_{71}、H_{71}、H_{81}、H_{72}、H_{61}、H_{40}、H_{438}和 H_{32}等阀组成。程序加速的三个阶段见表 9.4.2—9。

表 9.4.2—9　**程序加速过程的三个阶段**

项　目	性能要求	工作原理	调定方法
(1)启动供油量控制阶段	从 0～30%额定转速采用快加速达到	由于 A_{71}对低于 30%额定转速所对应的气压信号不产生节流作用，故 H82 输出的“启动供油”气压经 A_{17}、A_{71}至 H_{32}，使其输出至调速器的气压大小决定于 H_{82}的设定值	①把调压阀 H_{82}调定为“启动供油”气压 ②把定压节流阀 A_{71}调整到相当于 30%额定转速时的气压值 ③把调压阀 H_{81}调整到相当于 70%额定转速气压
(2)快加速控制阶段	从 30%～70%额定转速用较快的速度到达	A_{71}对超过 30%额定转速所对应的气压产生节流，H_{81}对低于 70%的额定转速对应的气压信号无减压作用，超过 70%额定转速所对应的气压被减压为 70%额定转速所对应的气压。故自管 30 输入的转速设定气压在相当于 30%～70%额定转速时，经 A_{71}节流后至 H_{32}，由 A_{71}和 H_{438}组成的阻容延时环节决定了 H_{32}输出气压增加至 70%额定转速时需 35s	
(3)慢加速控制	从 70%～100%额定转速用较慢的速度到达	自管 30 输入的转速设定气压经 A_{71}节流后，一方面经 H_{81}减压使其输出控制在 70%额定转速对应的气压值上。另一方面经 H_{61}，H_{40}和 H_{438}组成的阻容环节使 H_{32}输出的气压增加更慢，实现慢加速(约 600～900s)	
(4)应急加速控制	应急操纵快加速	使 H_{21}得电，H_{11}受控，转速控制信号不经过程序加速环节，直接控制 H_{32}	操纵应急按钮

5.3.2 燃油供给控制环节

1)正常情况下的供油限制　根据增压器扫气压力限制供油量是通过由阀件 H_{13}、H_{31}、H_{70}和 H_{22}组成的控制环节实现的。最大供油量限制是通过 H_{31}使输出至调速器的气压只能是限制值。

2)应急情况下的供油限制　操纵应急按钮，H_{21}得电，H_{13}、H_{14}受控。在 $n<n_{火}$ 时，由 H_{92}设

定的较高气压至调速器，为主机提供较多的启动供油量。当 $n > n_{火}$ 时，因 H_{22} 失电，H_{13} 受控切换，由 H_{91} 设定的高于燃油限制的气压可进一步提高主机转速。

图 9.4.2—8 为转速控制回路之二。它除了转速程序控制环节外还有两个基本环节。一个是自动避开临界转速环节，另一个是启动转速设定（包括启动供油量限制）环节。

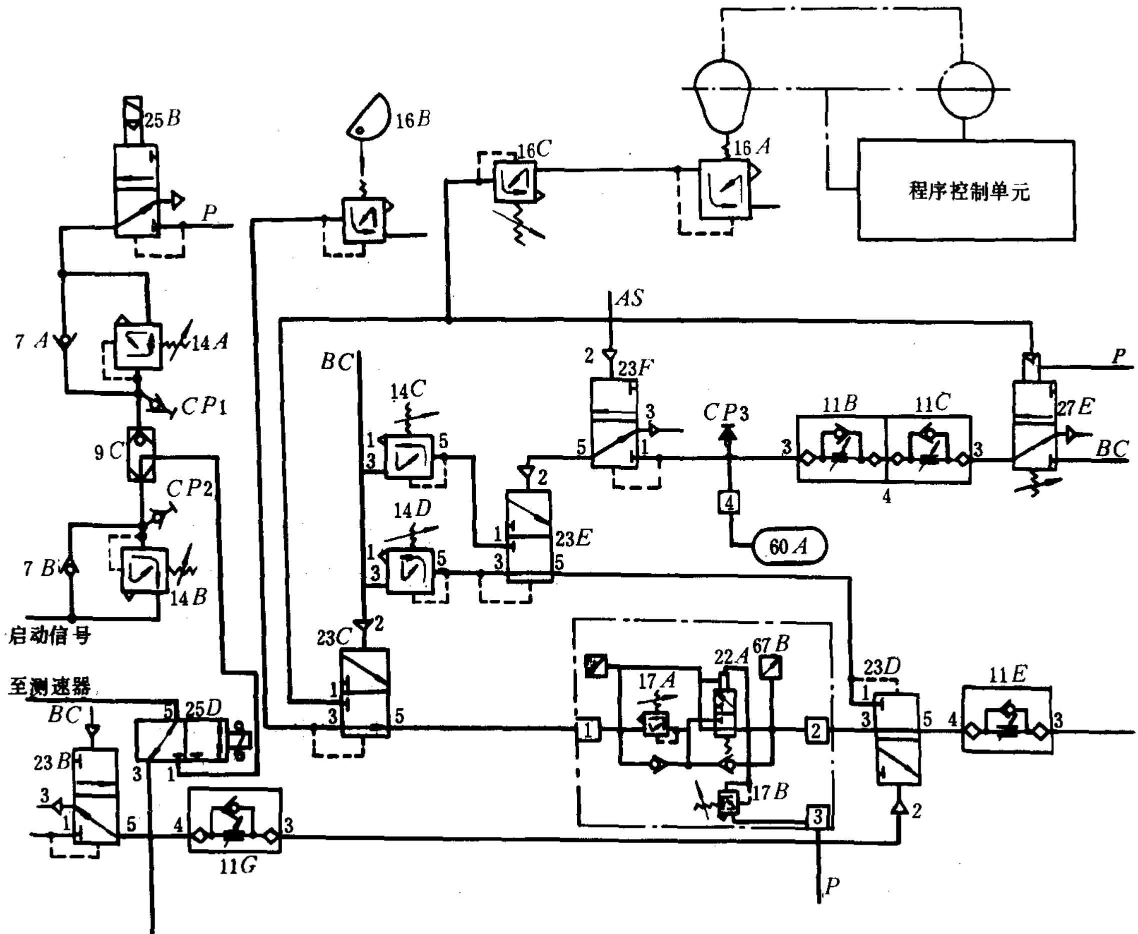


图 9.4.2—8 转速控制回路之二

自动避开临界转速环节由调压阀 17A 和 17B、一个差压气动二位三通阀 22A 和二个单向阀 8A、8B 组成。阀 22A 由信号气压的比较元件和二位三通阀组成。作用在比较元件上的气压有二个，一个是转速指令气压，另一个是调压阀 17B 输出的气压。17B 调定为临界转速的上限气压值，17A 调定为临界转速的下限气压值。当转速指令大于这一上限值时，17B 允许直接通过。否则不能通过，只让 17A 输出的气压通过，实现自动避开临界转速。

6 系统的操作管理

以 M·A·N16V40154 型柴油机气动遥控系统为例说明其操作管理方法。

6.1 系统的投运条件

遥控系统投入使用时，要求具备的投运条件：

1）转车机构已经和主机脱开，这时连锁阀 M31 处于不受控状态。“转车机构啮合”指示灯

熄灭，这时管路 61 有遥控气压。

2)接通 294×10^4Pa 工作气压，即管路 50、34、C 和 D 上有气压，各处的压力表有相应的压力指示。

3)接通 68×10^4Pa 遥控气压，即管路 0 及 39 上有气压，各处压力表有相应的压力指示。

4)遥控系统电源已接通。

5)“手动—遥控”转换阀 M80 置于遥控位置。

6)调油限制手柄 027 应置于上极限位置。

6.2 系统的操纵

6.2.1 正常操纵

系统具备了投运条件后，就可以在驾驶室或集控室利用遥控手柄操纵主机了。当遥控手柄从“正车”直接扳到“倒车”时，遥控系统先切断燃油；当主机转速降低到允许换向转速后，自动顶起进排气阀顶杆，进行凸轮轴换向；换向结束后进行反向启动；当启动成功后进入转速控制。系统正常运行的信号显示见表 9.4.2—10。

表 9.4.2—10 **系统运行的信号显示**

在集控室操纵台上			在驾驶室操纵台上		
正　车	启　动	遥控：投运	正　车	启动失败	启　动
停　车	燃油限制	转车机啮合	停　车	驾：遥控	集：应急操纵
倒　车	启动失败	驾：应急操纵	倒　车	集：遥控	燃油限制

6.2.2 应急操纵

应急操纵包括紧急停车、紧急制动和紧急换向等。不论在驾驶室或在集控室进行应急操纵时，都应该按下相应的应急操纵按钮，即按下 K_{734}或 L_{734}。这时除了遥控系统的应急操纵有关部件立即起作用外，在按钮下方以及信号联络部分的“应急操纵”指示灯都给出相应的常亮显示。

6.3 系统功能的模拟测试

图 9.4.2—9a)为模拟测试指示板。图 9.4.2—9b)为模拟测试电路原理。

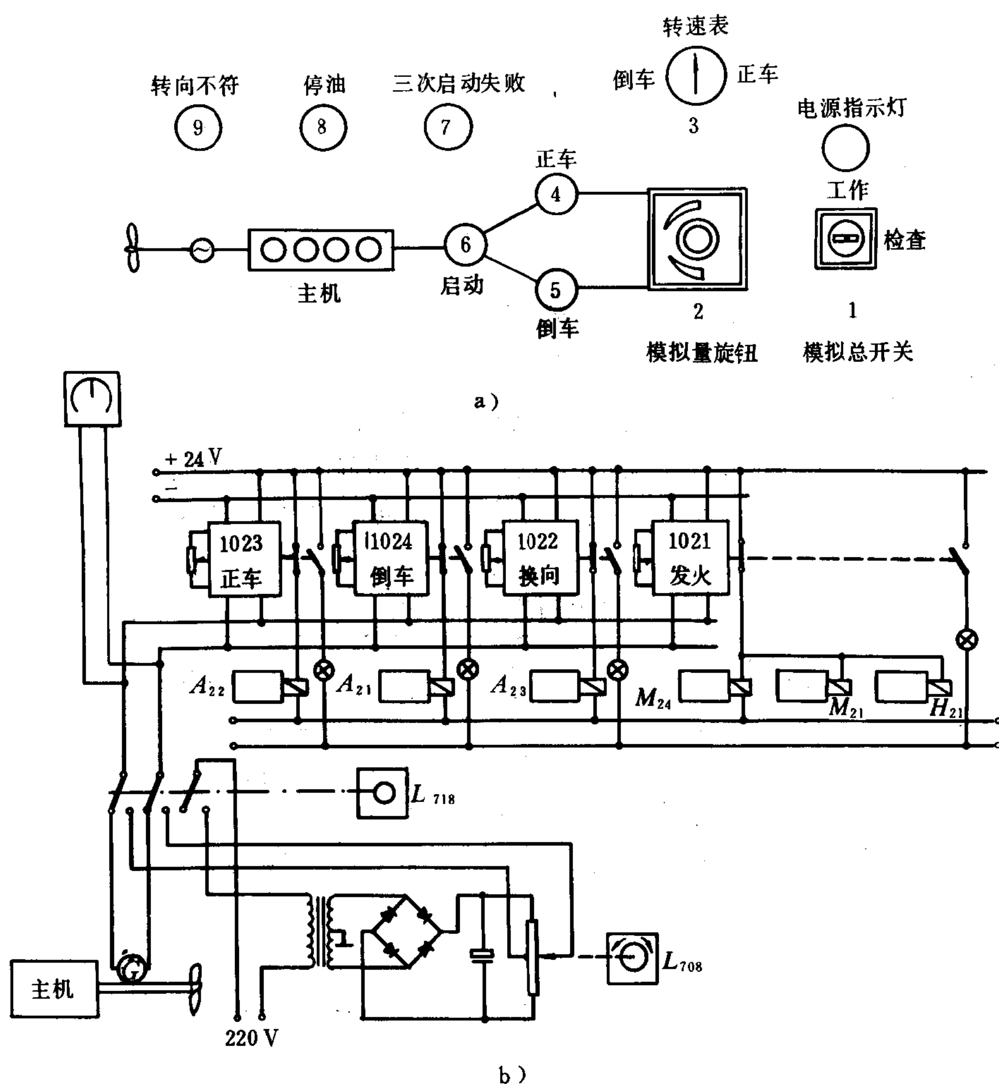


图 9.4.2-9 系统功能模拟测试原理

a)模拟测试指示板;b)模拟测试电路

模拟测试是在停车情况下进行。测试前应先关闭主启动闭,然后用专用钥匙把模拟总开关1转到检测位置,使遥控系统中所需信号由模拟系统供给,而与实际转速检测系统脱开。这时转动转速模拟旋钮2的电位器,可产生相当于正、倒车转速的电位信号。模拟测试项目如下:

1)转速表读数检查　正反转动模拟转速旋钮2,观察转速表3的指示值。

2)换向和启动功能检查　先把旋钮2向与凸轮轴同向的方向转到低于换向转速位置(指示灯4亮),然后把车钟手柄扳至反向位置。这时指示灯9亮,表示车令与转向不符,开始换向过程,指示灯4亮。当指示灯5亮9熄灭时,表示换向已完成。再将旋钮2向车钟指令相反的方向转动到低于发火转速,模拟启动指示灯6亮,约3s后自行熄灭。继续观察灯6的“亮”和“熄”检查自动重复启动过程。

3)发火转速检查　把旋钮2放在零位,再把车钟手柄扳到正车(或倒车)位置,待灯6亮时,立即把旋钮2向相同方向,在5s内慢慢加上去,当灯6熄灭时,转速表3的读数即为发火转速。

4)换向转速检查　若凸轮轴处于“倒车”位置,将旋钮2转到较高的倒车位置,然后把车钟

手柄扳至“正车”，即车令与转向不符，然后慢慢转动旋钮 2，使电压下降至倒车，指示灯 5 熄灭，正车指示灯 4 亮为止，此时的转速就是换向转速。

5）转向的检查　把车钟手柄放在正车位置，旋钮 2 转到“倒车”任意位置，即为转向不符工况，指示灯 9 亮，停油指示灯 8 也亮。若将旋钮 2 又转回到“正车”任意位置，主机模拟转向已符合车令要求，灯 8 熄灭。

6.4　系统的性能调试

6.4.1　系统的转速调整

1）启动成功（发火）转速的调整　启动成功转速由转速监视装置中启动开关给出。用红色电位器可以给出下限释放点，顺时针方向转动电位器即可提高下限释放点。黄色电位器可以给出上、下限释放点的差值，顺时针方向转动电位器即提高差值。

2）换向转速的调整　转动转速监视中的“换向”开关元件可以调整换向转速。调整方法同启动成功转速的调整。

用于紧急操纵时的换向转速，可调“紧急换向”开关元件上的调整电位器。

3）转向的调整　当模拟测试装置给出“正车”转速时，转速监视装置中的“倒车”开关元件的指示灯必须发亮。当模拟测试装置给出“倒车”转速时，“正车”指示灯必须相应发亮。如果情况相反，必须交换接线柱的接线。

4）转速测量装置的特性　它输出的转速设定信号控制系统中各电磁阀切换，见表 9.4.2—11。

表 9.4.2—11　**系统各电磁阀切换特性**

各有关阀件	编　号	受　控	不　受　控	切换控制点
主机转速转向判别阀	A_{21}	倒车、停车	正　车	～30r/min
	A_{22}	正车、停车	倒　车	
换向切换电磁阀	A_{23}	$n<n_{\text{换}}$	$n>n_{\text{换}}$	70～75r/min
		$n<n_{\text{急换}}$	$n>n_{\text{急换}}$	～160r/min
启动成功控制阀	M_{21}	$n<n_{\text{火}}$	$n>n_{\text{火}}$	$n_{\text{火}}=40\sim50$r/min
启动旁通电磁阀	M_{24}			
限油切换电磁阀	H_{22}			
应急制动控制阀	M_{22}	应急操纵转向与车令不一致	两个条件不能同时满足	
应急供油控制阀	H_{21}	应急操纵	正常工作	

6.4.2　重复启动时间的调整

调整延时阀 A_{72} 的调整螺钉可以整定启动时间为 3s 左右。顺时针转动调整螺钉则启动时间增加。

二次启动之间的间隔时间由单向节流阀 A_{61} 来调整。顺时针转动调整螺钉启动间隔时间增加。三次启动总时间（约 15s）由单向节流阀 A_{62} 整定。顺时针转动调整螺钉则总时间增加。

6.4.3　加速程序的调整（见表 9.4.2—12）

表 9.4.2—12　　加速程序的调整方法

调整内容	调整方法	说明
启动供油量设定	调整H_{81}的输出压大小	改变输出压力的大小可以改变启动供油量的大小
快加速时间	调整A_{71}的定压控制值可以调节快加速时间(35s)	快加速时间取决于A_{71}和H_{438}组成的阻容环节
慢加速时间	调整H_{82}的设定值可改变70%额定转速值的大小。调节H_{61}的节流流阻可以调节慢加速时间(600～900s)	由H_{61}、H_{40}、H_{438}组成阻容环节。故慢加速时间取决于H_{61}的调整和H_{40}的位置选择

6.5 维护保养

1)定期排水　气源处理回路的过滤器应每天泄放一次凝水。驾驶室空气瓶与元件板上的泄水考克应每周泄放一次。

2)空气过滤器中的过滤材料每年清洗检查一次。

3)每年检查一次主要装置(如控制阀组、换向控制阀 M_{221},停油气缸等),若发现磨损或拉痕应换新。

4)每四年全面检查一次,更换橡胶零件。特别是"0"形圈、膜片、过滤材料等。用合适的溶剂清洗部件,用肥皂水清洗橡胶零件,然后用清水漂清,再用低压空气吹干。装入时应在磨擦表面上用优质牛油涂覆表面。装好后按说明书要求调整。

5)定期用肥皂水检查管路的漏泄情况,发现有漏气处应予排除。

6)在更换管子时,应注意微粒进入管子,新管子最好用酸清洗,若不可能则在安装时一边用木锤敲击管子,一边用压缩空气吹洗。

6.6 常见故障的排除

气动遥控系统在使用中常见的故障见表 9.4.2—13。

表 9.4.2—13　　常见故障的分析和排除方法

故障	原因	排除方法
1)控制气源失压	(1)气源处理回路减压阀膜片破裂漏气 (2)遥控系统管道漏气	更换减压阀膜片 用肥皂水检查漏气点并排除漏气
2)不能换向	(1)停油气缸不能停油,转速未降到允许换向值 (2)转速测量装置在 n<70r/min 时无信号输出 (3)换向电磁阀 A_{23}线圈烧坏 (4)四位八通阀 M_{221}未切换到位 (5)换向阀 M_{215}未切换	检查停油气缸是否漏气,并修复 检查测速装置转速设定值 更换电磁阀 A_{23} 检查阀 M_{221}切换性能 检查阀 M_{215}切换性能

续上表

故障	原因	排除方法
3)启动失败	(1)凸轮轴位置与操纵手柄不一致 (2)停油气缸的活塞未复位,不能为启动供油 (3)盘车机未脱开,不能为启动提供动力气压 (4)启动动力气压偏低,不能达到发火转速	检查换向回路故障 检查复位弹簧的恢复力 检查盘车机控制阀 提高动力气压
4)启动工作空气不能切断	(1)启动成功电磁阀 M_{21} 不能断电 (2)主启动阀不能复位	检查测速装置的转速设定值 检修主启动阀
5)启动转速过高	启动供油量调压阀输出压力设定偏高	重新调整
6)不能加速	(1)精密调压阀膜片破裂 (2)调速执行机构膜片破裂	更换膜片 更换膜片
7)控制转速达不到设定值	精密调压阀输出压力偏低	调整反馈弹簧预紧力
8)故障停车	(1)主机滑油低压,冷却水高温 (2)主机超速	检查主机滑油、冷却水系统故障 检查超速限制回路故障

第3章　电子遥控系统

1　CZZY型电子遥控系统

CZZY型遥控系统是由交通部上海船舶运输科学研究所开发的主柴油机电子遥控系统，可在驾驶室和集控室内直接操纵主机，并有模拟测试和保护功能。

1.1　装置简介

装置包括以下几部分：

1)驾驶室操纵台

装有：遥控操纵器，转速表，启动空气压力表，报警指示灯，应急操纵及应急停车按钮，副车钟和消声，试灯按钮等。

2)机舱集控室操纵面板

装有：遥控操纵器，副车钟，"驾驶室遥控"与"集控室操纵"转换开关，电磁阀动作指示灯，报警指示灯，最高转速限制旋钮，应急停车及复位按钮，消声及试灯按钮等。

3)主控制箱

其内包括：电源，印刷电路板，设定值调整电位器以及模拟试验面板。

4)电磁阀，电气转换器以及气动执行机构。

1.2　功能说明

1.2.1　电源

输入为220VAC，输出有+24V，±15V，+12VDC四组。

1)电压变换与稳压　进行交直流电压变换以及±15V，+12V的稳压。

2)过压保护　±15V电压超过±3V时，自动切断±15V电源，并报警。

3)电源自动切换　遥控交流电源失电，立即自动切换为+24V应急电瓶供电，并报警。

1.2.2　逻辑程序控制

1)电平隔离　与逻辑程序控制系统联系的所有外部输入信号，全部通过光电耦合管实施电平隔离。

2)停车

(1)在以下情况时，逻辑控制电路发出停车信号，经停车电控气阀，作用于主机油量切断器，断油停车。

①驾驶室或集控室发出停车信号。

②主机在换向过程中，换向未结束，起动阀尚未打开。

③螺旋桨的实际转向与遥控操纵器发出的给定转向不一致。

(2)在以下情况时，直接通过应急停车继电器，接通应急停车电控气阀，断油停车。

①出现应急停车信号　即按下驾驶室遥控操纵台上或集控室操纵面板上的应急停车开关。

②故障停车出现主机滑油失压及主机飞车等信号时。

3)正倒车换向启动

(1)启动联锁　当遥控操纵器发出正车(或倒车)给定信号,并具备以下全部条件时,即进行正车(或倒车)换向启动过程。

①无“启动失败”信号。

②盘车机已脱开。

③无“应急停车”信号。

④小于启动转速。

⑤未出现“启动自锁信号”。该信号在主机正常启动结束 90～150s 后产生,使启动电磁阀电源断开,防止因控制电路的故障造成在主机已处在运转情况下的误启动。

(2)程序启动

①启动已达到启动转速,在启动阀关闭后,因发火不良而使启动失败时,自动重复启动三次,第三次启动仍不成功,则发“启动失败”信号,需将遥控操纵器手柄至“停车”位置复位后,才能启动。

②正车第三次启动,倒车第二、三次起动以及应急操纵等四种情况,自动发出“重启动”信号,进行重启动。重启动时,启动转速自动提高,启动油门也自动提高。

③发出启动时间过长信号,使正(倒)车启动电磁阀开启后 4～10s,主机仍达不到启动转速,即发出“启动时间过长”信号,自动终止启动,需停车复位后,才能重启动。

④启动成功,主机已稳定运转,90～150s 后自动发出“启动自锁”信号,切断通向正(倒)车启动电磁阀的电源通路。

1.2.3　磁脉冲测速

测速采用磁性探头,磁性探头装于主机盘车齿轮端面,以非接触方式,产生与主机转速相对应的脉冲数,并完成以下功能:

1)测量和指示螺旋桨的实际转速。

2)指示螺旋桨的正、反转方向,并发出相应的正、反转向的电平信号,输入逻辑控制电路。

3)提供主机累计计数器的转数脉冲,每 10 转产生 1 个计数脉冲。

4)给出启动、重启动和换向的转速门阈信号。

5)当测速脉冲出现脉冲失落或波形不正常时,发出“测速故障”信号。

1.2.4　电子调速系统

1)转速为有级调速,各挡有微调。

2)最高转速可在机舱集控室用转速限制电位器在一定范围内进行限制。

3)自动避开临界转速

4)主机主要参数越限时,自动降速运行。

5)最大油量可用机舱集控制室主控制箱内的油量限制电位器在一定范围内进行限制(70%～100%可调)。

6)负荷程序限制:主机转速从“港内全速”增至“出海全速”时,其增速时间不得快于 15～60min(可调),防止加速过猛,产生不良应力。

7)“应急操纵”时,取消自动降速、转速限制、负荷程序限制,并加快加速速率;在启动过程中,则取消启动失败并给出重启动信号。

8)调速系统中有一最低稳定转速给定值,遥控时的主机转速不会在低于此转速下运转。

9)转速给定值从最低稳压转速加速到港内最高转速，其加速时间为25～40s(可调)。

10)启动时，迅速发出启动给定转速信号，不受加速时间的限制。

11)转速按PI调节规律调节。

12)启动或重启动时，给出启动或重启动油量。

13)扭矩限制：在主机的不同转速时有相应的最大油门开度限制。

1.2.5 报警系统

1)报警　在遥控时，当出现以下情况，驾驶室和机舱集控室可同时发出声、光报警信号：①启动失败；②应急操纵；③电源过压；④转车机合上；⑤应急停车；⑥故障降速；⑦电源失压；⑧机旁操纵。

2)消声　驾驶室和机舱集控室分别设有消声按钮，消声后，若报警信号未撤除，报警指示灯保持发亮。

3)试灯　驾驶室和机舱集控室都设有试灯按钮，分别检查驾驶室和集控室的报警指示灯本身的故障。

1.2.6 遥控车钟与副车钟

1)遥控车钟

驾驶室及集控室的遥控操纵器兼作遥控车钟用，在驾驶室和集控室遥控操纵时，使用的方式不同。

(1)驾驶室遥控时

①按驾驶人员操纵习惯给出车令，分挡直接操纵主机。但各挡可在一定范围内无级微调。

②遥控操纵时，操纵器每操作一次，驾驶室同时发出3s钟声响。

③驾驶室与集控室各有一组相应的发光二极管同时指示遥控操纵的车令状态。

④驾驶室遥控时，集控室的遥控操纵器仅作驾驶室的车令指示器，不能发出车令和回令信号。

(2)集控室遥控时

①驾驶室发车令时，驾驶室和集控室的遥控操纵器上相应车令的发光二极管闪光并同时发出声响信号。

②集控室遥控操纵器根据驾驶室发来的车令进行回令，回令的同时即进行集控室的遥控操纵。

③集控室操纵器与驾驶室的车令一致时，声响消失，并有相应的发光二极管发光指示；当不一致时，声响不会消失。机旁设有复示器，复示驾驶室及集控室遥控的操纵状态。

2)副车钟

分别设在驾驶室和集控室操纵台面板上，用于驾驶室和集控室之间联系除车令以外的其它信号。由转换开关和5个指示灯组成：驾驶室遥控、集控室遥控、备车、完车，电源关断(仅集控室有作用)。

(1)集控室副车钟兼电源开关。

(2)驾驶室或集控室都可发联系信号，发令后未获另一方应答时，驾驶室和集控室同时发出声响，两组指示灯同时闪光。

(3)发令获应答后消声，相应指示灯同时平光。

1.2.7 模拟试验

为了便于遥控系统的日常检查、故障排除或参数值的调整，在集控室主控制箱内安装模拟

测试板，可完成如下功能。

1.2.7.1 检测电子调速系统以下各主要信号

1）遥控车钟或模拟车钟发出的转速给定值。

2）避开临界转速范围。

3）经过各种限制的转速给定值。

4）电子调速器启动油量及扭矩限制值。

5）电子调速器输出值（电压）。

6）测速装置磁脉冲信号。

7）实际（或模拟）螺旋桨转速值。

1.2.7.2 用发光二极管指示主机操纵情况和主机工作状态，指示内容如下

1）遥控装置工作状态——遥控、手控、模拟试验。

2）遥控车钟或模拟车钟的发令信号——正车、刹车、停车和倒车。

3）故障降速工况。

4）负荷限制程序加速过程工作指示。

5）启动电磁阀的关闭转速信号。

6）螺旋桨（或模拟的）的正、倒车转向信号。

7）螺旋桨转向正确和错误（螺旋桨转向与遥控的发令转向一致为“正确”不一致为“错误”）。

8）正、倒车启动电磁阀通、断。

9）启动过程及重启动过程（包括换向）。

10）启动时间过长（包括换向）。

11）三次启动失败。

12）启动自锁。

13）应急操纵。

14）停车电磁阀通、断。

15）主机油门杆断油。

16）测速脉冲故障。

17）各电平电源工作指示。

1.2.7.3 模拟主机工作状况

用模拟板上的电位器、微动开关、钮子开关和按钮可以模拟主机的工作状况及驾驶室或集控室的遥控操纵器的发讯状况。模拟的内容如下：

1）模拟车钟——代替驾驶室遥控操纵器上的手柄所发出的主机转向、停车及变速的模拟给定信号。

2）模拟转速电位器——模拟主机的转速及转向。

3）故障降速按钮——用该按钮可给出使主机自动降速的信号。

4）应急操纵按钮——用该按钮可模拟驾驶室的应急操纵按钮。

5）启动阀开启开关，用钮子开关模拟换向结束，主机启动阀打开。

6）油门杆断油，用钮子开关模拟主机断油信号。

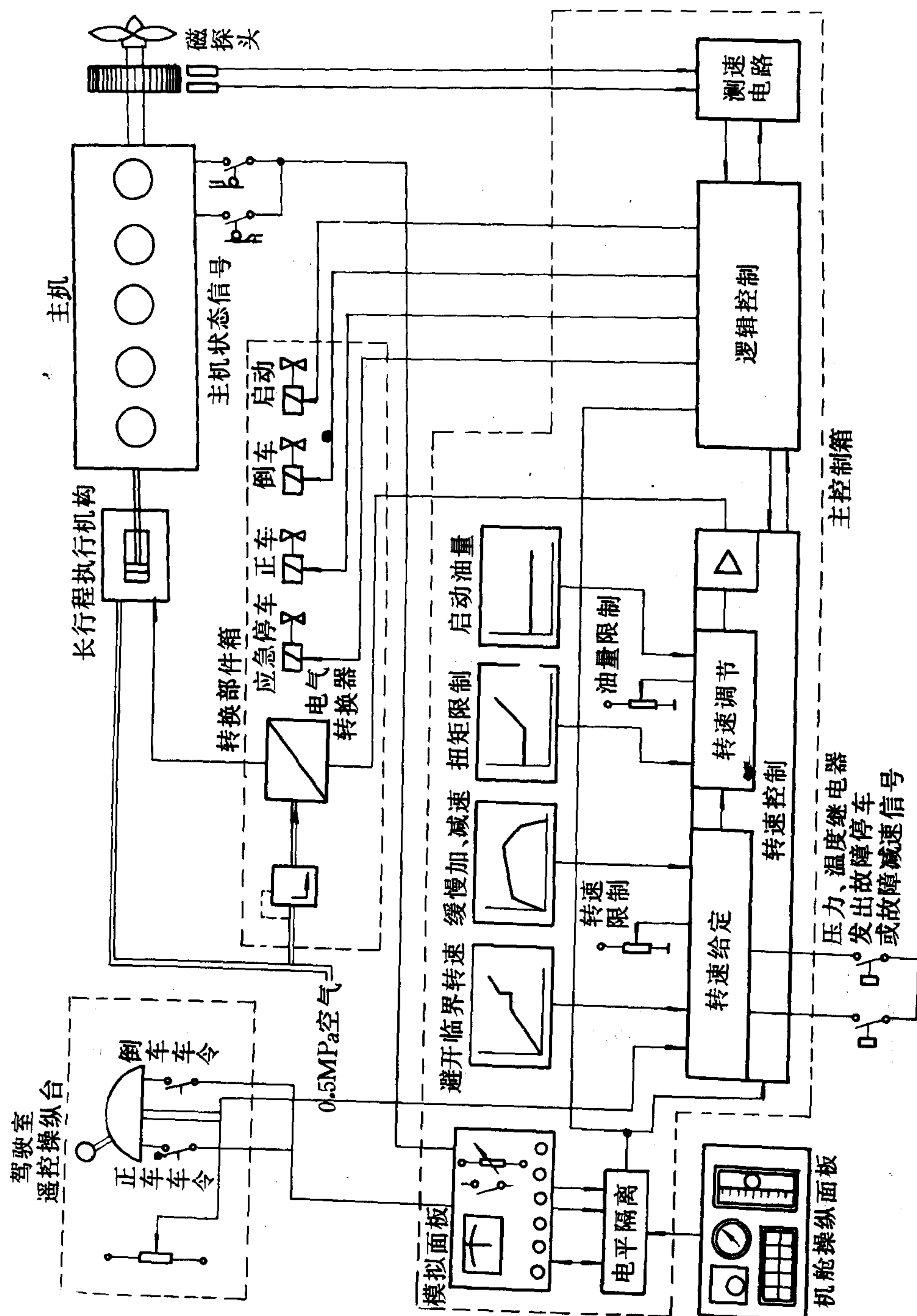


图 9.4.3—1 遥控系统电气原理图

1.3 电子线路工作原理简介

图 9.4.3－1 为系统的电气原理图，从驾驶室遥控操作器发出的各种车令信号：正车、倒车、停车及主机转速给定信号；主机旁各传感器发出的工作状态信号：燃油切断、转车机合上、主启动阀开、烟囱盖合上等；还有磁脉冲测速信号等全部输向电子线路。电子线路包括电源稳压、输入隔离、逻辑控制、测速、转速控制及报警等功能的印刷线路板，并与模拟测试板、电源变压器及接线柱等共装入主控制箱内。

1.3.1 逻辑控制电路

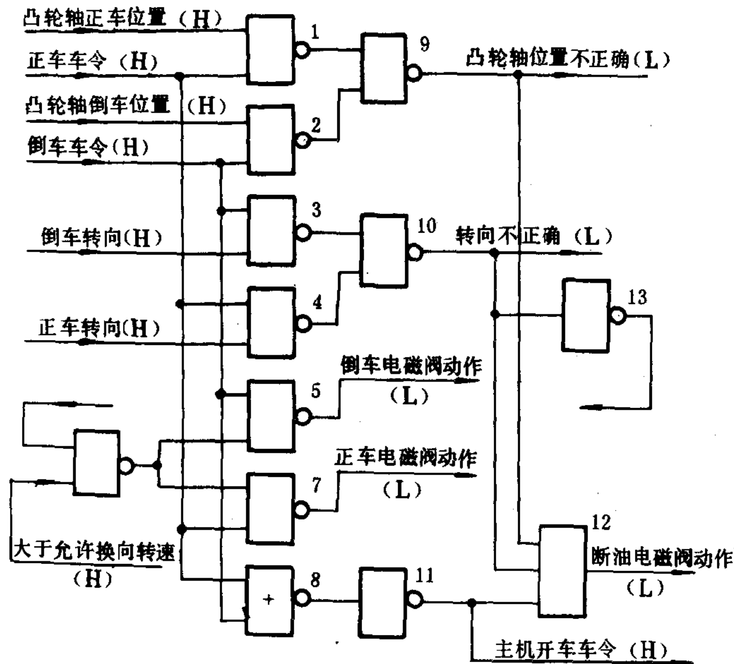


图 9.4.3－2　正、倒车电磁阀及主机断油停车电磁阀动作电路

逻辑控制的基本要求，是要使驾驶室遥控主机时，主机的换向、停车和启动能自动按最合理的顺序进行。逻辑控制电路，在接到驾驶室发来的车令（正车、停车或倒车）信号后，根据主机当时的状态反馈信号（凸轮轴位置、转速和转向）进行逻辑判断，按判断结果，以一定顺序，发出使正、倒车电磁阀、停车电磁阀及启动电磁阀动作的信号。

1.3.1.1 正、倒车电磁阀及主机断油停车电磁阀的动作电路

图 9.4.3－2 为正、倒车电磁阀及主机断油停车电磁阀的动作电路。图中(H)为高电平，(L)为低电平。

该电路在进行判断时需输入的信号有：

正车车令——来自驾驶室遥控操纵台

倒车车令——来自驾驶室遥控操纵台

凸轮轴正车位置——来自机旁

凸轮轴倒车位置——来自机旁

正车转向——来自转速测量电路

倒车转向——来自转速测量电路

大于允许换向转速信号——来自转速测量电路

“与非”门 1、2 及 9 组成“凸轮轴位量正确与否”的判断单元。“与非”门，将“正车车令”和“凸轮轴正车位置”相“与非”；“与非”门 2 将“倒车车令”和“凸轮轴倒车位置”相“与非”。只要两者中有一个“与非”门输出(L)，则“与非”门 9 便输出(H)，这就表明凸轮轴的位置已与驾驶室的车令要求相一致了；相反，若“与非”门 1 或 2 无一输出(L)，则“与非”门 9 输出(L)，表示凸轮轴位置尚不正确。该“凸轮轴位置正确与否”的信号将输向断油停车及起动电路中作为一种条件信号。

“与非”门 3、4 及 10 组成“转向正确与否”的判断单元。其原理与上述“凸轮轴位置正确与否”判断单元一样。当“与非”门 10 输出(L)时，表示主机的转向与驾驶室要求的正、倒车车令不相一致，即“转向不正确”；若“与非”门 10 输出(H)时，则表示“转向已正确”。

“或非”门 8 和“非”门 11 为“停车”或“开车”车令判断单元。当有“正车车令”或“倒车车令”时，“或非”门 8 输出(L)，“非”门 11 输出(H)。即无“开车”车令，要求主机“停车”。

“与”门 12 为主机“断油停车电磁阀动作”的判断单元，当出现下列三种情况之一：凸轮轴位置不正确，主机转向不正确或无“开车”车令时，亦即当三个“与非”门 9、10 及 11 中有任一输出(L)时，“与”门 12 输出(L)，该(L)信号经过功率放大后，送到断油电磁阀使主机停车。

“与非”门 5、6、7 及“非”门 13 组成“换向电磁阀动作”的逻辑电路。“与非”门 6 及“非”门 13 组成允许换向的条件判断单元，允许换向的条件是：“转向已正确”或者主机“转速已低于允许换向转速”，此时“非”门输出为(L)。该条件满足后，若再有“正车车令”，则“与非”门 7 输出(L)，使正车换向电磁阀动作；若有“倒车车令”，则“与非”门 5 输出(L)，使倒车换向电磁阀动作。

1.3.1.2 启动电路

图 9.4.3－3 为启动电路，包括正常启动和重启动两种启动功能。

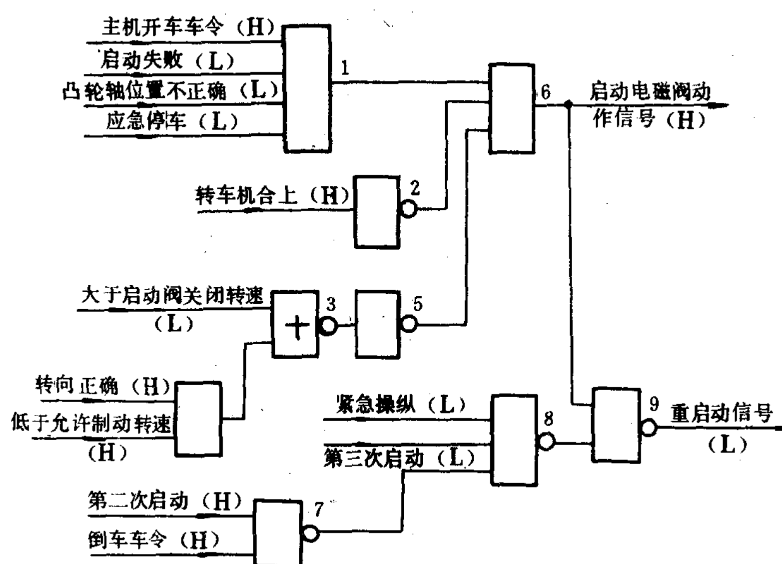


图 9.4.3－3 启动电路

该电路在进行判断时，需输入的信号有：

开车车令——来自正、倒车电磁阀及主机断油停车电磁阀动作电路。

启动失败——来自三次自动启动电路。

凸轮轴位置不正确——来自正、倒车电磁阀及主机断油停车电磁阀动作电路。

应急停车——来自驾驶室、集控室操纵台或安全保护电路。

转车机合上——来自转车机旁的限位开关。

大于启动阀关闭转速——来自转速测量电路。

转向不正确——来自正、倒车电磁阀及主机断油停车电磁阀动作电路。

低于允许制动转速——来自转速测量电路。

倒车车令——来自驾驶室遥控操纵台。

紧急操纵——来自驾驶室遥控操纵台。

第二次启动——来自三次自动启动电路。

第三次启动——来自三次自动启动电路。

“与”门 1、6 及“非”门 2 组成第一组允许启动条件的判断单元，当驾驶室发出“开车”车令

后，主启动阀的动作条件是必须无以下任一信号：启动失败、凸轮轴位置不正确、应急停车及转车机合上。这些条件满足后，“与”门 1，及“非”门 2 的输出都为(H)。

“与”门 4，“或非”门 3 及“非”门 5 组成第二组与主机转速有关的启动条件判断单元。该条件为必须具备两条件之一：主机转速小于启动阀关闭转速或者在换向启动时主机转速已低于允许换向转速。

当这二组条件同时满足时，“与”门 6 的三个输入端都为(H)，故输出也为(H)，该信号经功率放大后作用于启动电磁阀，使主启动阀打开，主机启动。

“与非”门 7、8 和 9 组成重启动条件的判断单元。从图 9.4.3—3 的逻辑关系可知：在出现启动电磁阀动作信号(H)的同时，还必须具备下列三条件之一，则为重启动：紧急操纵、第三次启动和倒车第二次启动，即“与非”门 8 只要有一个输入端为(L)其输出端便为(H)，使“与非”门 9 的输出为(L)，该(L)信号即为“重启动”信号，它将输入其它电路作为条件信号，使启动油量及启动阀关闭转速自动提高，加快主机的启动。

1.3.2 转速测量电路

遥控装置过去都用交、直流测速电机作为测速部件，但测速电机为高转速部件，经长时间使用后，容易出现传动机构啮合松动，电机碳刷磨损等现象。为了克服上述缺点，近年来普遍采用一种非接触式磁脉冲测速装置，其原理框图如图 9.4.3—4 所示。

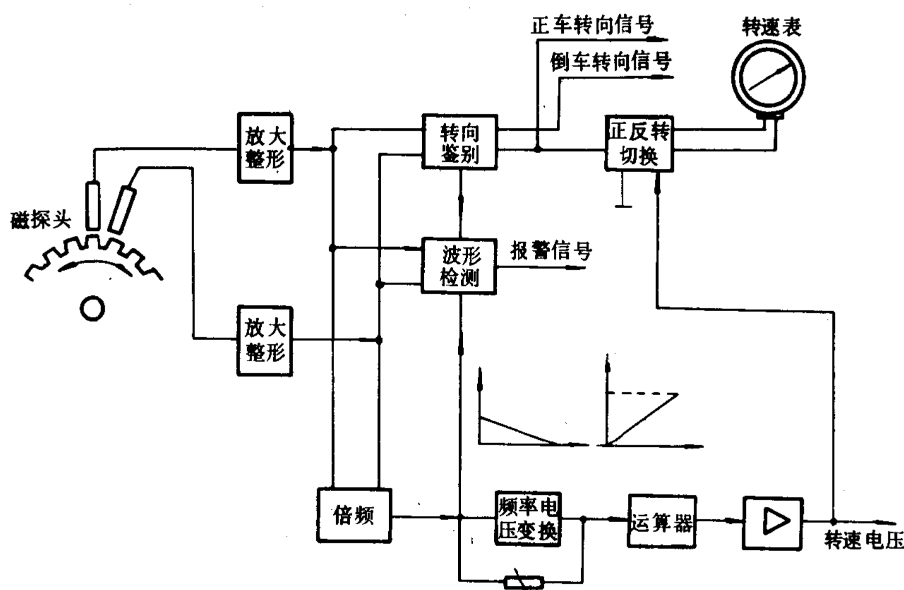


图 9.4.3—4　转速测量装置原理框图

1.3.2.1 工作原理

在主机的转轴上，选择合适的部位，装上一个模数大于 4 的齿轮，在齿的顶端端面，安装一对磁探头。当齿轮与转轴一起转动时，齿与齿之间形成的凹凸槽经过磁探头的顶端，改变磁探头产生的杂散磁场的分布，使磁探头的输出端产生与转速成正比的电压脉冲数，脉冲频率 t＝Zn/60(Z：齿数，n：转速)。在采用 60 齿的齿轮时，每转产生 1 个脉冲。

两探头输出的电压脉冲，经过各自的放大、整形电路，产生两组方波，两方波的相位应通过磁探头的安装错位，调整为相差 1/4 或 3/4 周期。在正、反转两种转向时，两组方波相位的超前和落后将相互“更换”正、反转鉴别电路利用这种相位的“更换”可鉴别出其正、反转向，发出相

应的电压信号。

两组方波，通过倍频电路，经倍频后变成一组方波，输入频率——电压变换器。变换器的第一级为反相变换，即：在频率为 0 时，输出最高电压；频率升高，电压降低；然后，再由第二级进行运算和功率放大，使最后输出的模拟电压信号与频率（即主机转速）成正比。

频率——电压变换器前的电压脉冲输入，若出现脉冲失落或波形断裂，都会影响测速精度，必须进行波形检测。因此，在测速电路中，有一波形检测电路，当波形有任何不正常时，发出报警。

1.3.2.2　磁探头

磁探头是利用“杂散磁场”工作的，不需构成磁力线闭合回路。由永久磁钢 1，软铁心 2，线圈 3 和非导磁外壳 4 组成（见图 9.4.3—5）。

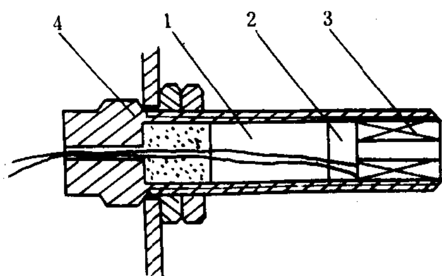


图 9.4.3—5　磁探头结构图

1—永久磁钢；2—软铁芯；3—线圈；4—外壳

当齿轮端面或其它不连续的导磁体在探头软铁端部移动时，使“杂散磁场”的分布不断发生变化。引起线圈内交链磁通发生脉冲变化。根据法拉第电磁感应定律，线圈产生的感应电动势为：

$$E=N\frac{d\Phi}{dt}\times10^{-8}\quad V$$

式中：N ——线圈匝数；

$\frac{d\Phi}{dt}$——有效磁通量的变化率。

设有效磁通密度变化为 ΔB，软铁芯的截面积 $A=1/4\pi d^2$，每转一个齿所需时间 $\Delta t=\frac{60}{z、n}$，当 $z=60$ 齿时

$$\Delta t=\frac{1}{n}(s)$$

上式可写成：

$$E=N\cdot\frac{\Delta B\cdot A}{\Delta t}\cdot10^{-8}=N\cdot\frac{1}{4}\pi d^2\cdot n\cdot\Delta B\cdot10^{-8}\qquad(V)$$

$$取\ K_i=N\frac{1}{4}\pi d^2\times10^{-8}$$

$$\therefore E=K_i\Delta B\cdot n\qquad(V)$$

在磁探头结构确定后 K_i=常数。

ΔB 的大小与探头和齿轮端面间的安装间隙有关。在一定范围内，间隙愈小，ΔB 愈大。

因此，在磁探头结构及安装位置固定后，输出电压的峰值近似地与转速成正比。由于测速装置所需要的磁探头发出的电压脉冲数只需幅值超过 0.2V 即可正常工作，对齿轮与探头间的安装要求不是很严格的。

1.3.2.3　频率——电压变换电路

该电路的作用，是要将与主机转速相当的脉冲频率转变成电压，并要求两者成线性关系。电路图见图 9.4.3—6。

变换电路由两级运放组成。两组电压脉冲经过一“异或”门转换成一组倍频电压脉冲，由三极管 T_1 整形功放后，通过电容 C 及 D_1 输入第一级运放的反相端，在同相端加标准电压 +6V，二极管 D_1 和 D_2 使电荷单方向传送到反馈电阻（$\frac{R_1W_1}{R_1+W_1}+R_2$）及电容 C_f。

在 T_1 导通时，二极管 D_2 导通，C 反向充电到 $6-V_0$（u_D 为二极管压降，忽略 T_1 的管压

降)；在 T_1 截止时，D_2 截止，因反相端此时为 6V，C 充电至电压 (u_n-u_D-6)。u_m 为电源电压，故每一脉冲 C 上的电荷变化为：

$$C[(u_m-u_D-6)+(6-u_D)]=C[u-2u_D]$$

因测速齿轮采用 60 齿，主机转速为 n 时，输入 T_1 的脉冲频率为 2n，单位时间(s)内 C 上的电荷变化(即平均电流 $\bar{I}$)为：

$$2(u_m-2u_D)\cdot C\cdot n$$

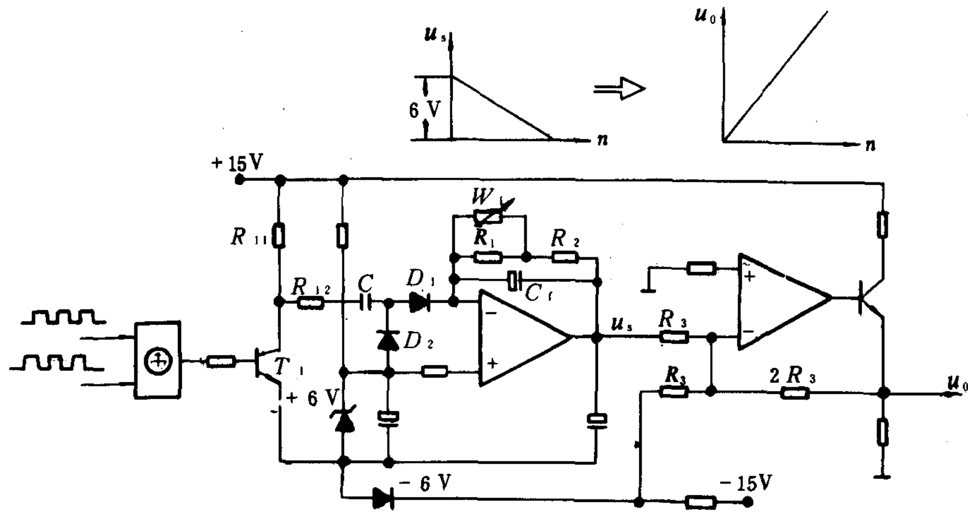


图 9.4.3－6　频率——电压变换电路

故第一级运放输出电压变化：

$$\Delta U=2(u_m-2u_D)C\cdot n(\frac{R_1W_1}{R_1+W_1}+R_2)$$

而第一级运放输出端电压为：

$u_s=6-\Delta u$

$\therefore u_s=6-kn$

$k=2(u_n-2u)\cdot C\cdot(\frac{R_1W_1}{R_1+W_1}+R_2)$

u_s 值经第二组运算后得出频率电压转换电路最后输出电压 Bu_0。

$u_0=(u-6)(-2)=2kn$

由于 k 为常数，故 u_0 与 n 之间成线性关系。

1.3.2.4　转向鉴别电路

在控制电路中，除了需要与主机转速成线性关系的电压信号外，还需要有反映主机正、反转转向的电信号。如前所述，这两种转向信号是通过两个磁探头的错位安装，使两者输出的脉冲波相差 1/4 或 3/4 周期来达到的，其工作原理见图 9.4.3—7 转向鉴别电路。

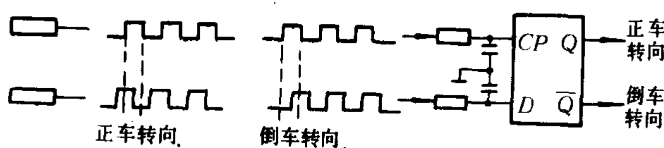


图 9.4.3－7　转向鉴别电路

将两个磁探头产生的电压脉冲，分别输入 D 触发器的 CP 端和 D 端。主机正转时，CP 端脉冲超前 D 端 1/4

周期，Q 端输出高电平；主机反转时，D 端超前 CP 端 1/4 周期，$\overline{Q}$ 端输出高电平。D 触发器的两种输出状态；表示主机的正反转向，输入逻辑控制电路，作为正、反转转向信号。

1.3.3　转速给定电路

转速给定电路的功能是将驾驶室遥控手柄发出的给定转速值（电压），经过数值限制和发送时间控制的处理以后，再输入调速器作为给定值。这是因为驾驶室板动遥控手柄改变电位器阻值，输向转速调节电路的转速给定电压信号是突变的。低速大功率柴油机本身有很大的机械和热惯性，转速给定的改变，要求有一个主机能适应的缓慢过程，即需要一个受到控制的发送过程时间。因此，在驾驶室转速给定电位器与转速调节电路输入端之间有一个控制发送过程的转速给定电路。

根据驾驶方面机动操纵的要求以及主机可以适应的程度，取港内机动操纵从“微速”升至“全速”为 25～40s，“全速”降为“微速”为 16～20s，“港内全速”升至“出海定速”为 15～16min。

除时间控制外，驾驶室发出的转速给定的数值，在输入转速调节电路以前也需要受到一定限制。如：给定值应自动避开临界转速区，启动时有固定的转速给定值，机舱集控室可以限制驾驶室发出的最高转速给定值以及因故障需主机自动降速时的降速给定值等。这些限制功能同样由转速给定电路来解决。

1.3.3.1　转速给定值的数值限制电路

图 9.4.3—8 为转速给定的数值限制电路，装于驾驶室遥控车钟内的转速发信电位器 W_1 给出的转速给定值（电压），首先进入数值限制电路中的三极管 T_1 的基极，T_1 除增加电路的输入阻抗外还与 T_2、T_3、T_4 等三极管同发射极连接，使 B_1 端的电压决定于各三极管的最低基极电压值，亦即使 B_1 点的转速电压输出是各种转速限制的最小值。各种转速限制的内容如下：

图 9.4.3—8　转速给定的数值限制电路

1）避开临界转速

W_2、W_3、F_1 及 T_2 组成避开临界转速电路，W_2 调定临界转速高限值，W_3 调定临界转速低限值。当 W_1 输出的给定转速电压处在临界转速区时（即处在低于高限与高于低限之间），B_1 的电压被 W_3 调定的 T_2 基极电压所限制，不会高于临界转速的低限值的相应电压，B_1 的输出停在临界转速的低限值上；当 W_1 输出的电压大于临界转速高限电压时，输入 F_1 同相端的电压

大于电位器 W_2 调定的电压，F_1 输出高电平，T_2 的限制作用取消，B_1 的电压便决定于 W_1 的给定电压，这就使 B_1 的输出不会出现在临界转速范围之间的电压值。

2)故障降速

当主机的某些参数（如主机排温、滑油压力）超过一定的极限值后，安全保护装置将输出一低电平至数值限制电路 B_2 输入端，W_4 及 T_3 组成的限位电路起作用，B_1 的电压将决定于 W_4 调定的 T_3 基极电压。这时，B_1 的电压即为由 W_4 预先设定的故障降速时要求的转速电压。

3)最高转速限制

W_5 为安装在机舱集中操纵台上的最高转速限制电位器，正常工况下 B_2 端输入为低电平，B_1 的电压不能高于由 W_5 调定的 T_4 基极电压，改变 W_5 的输出电压即可改变主机的最高转速限制值。

在紧急操纵时，B_3 端将由其它电路的作用变为高电压，T_4 的基极电压升高，转速限制作用取消。

4)最低稳定转速限制

T_6、T_7 及 W_6 组成最低稳定转速设定电路，电位器 W_6 用来调整 T_7 的基极电压，并由此决定 T_6 的发射极电压值。这样，B_4 输出的最小值将不低于 W_6 所设定的最低稳定转速电压给定值。

驾驶室转速发信电位器 W_1 输出的电压信号，经过上述四种限制后，最后由 B_4 输出端输向给定转速发送时间控制电路。

1.3.3.2 给定转速发送时间控制电路

发送时间控制，也称负荷限制程序。不同转速范围的发送时间是不同的。港内机动操纵时的加速或减速发送时间较快，港内"全速"至"出海定速"范围内的加速或减速则较缓慢。

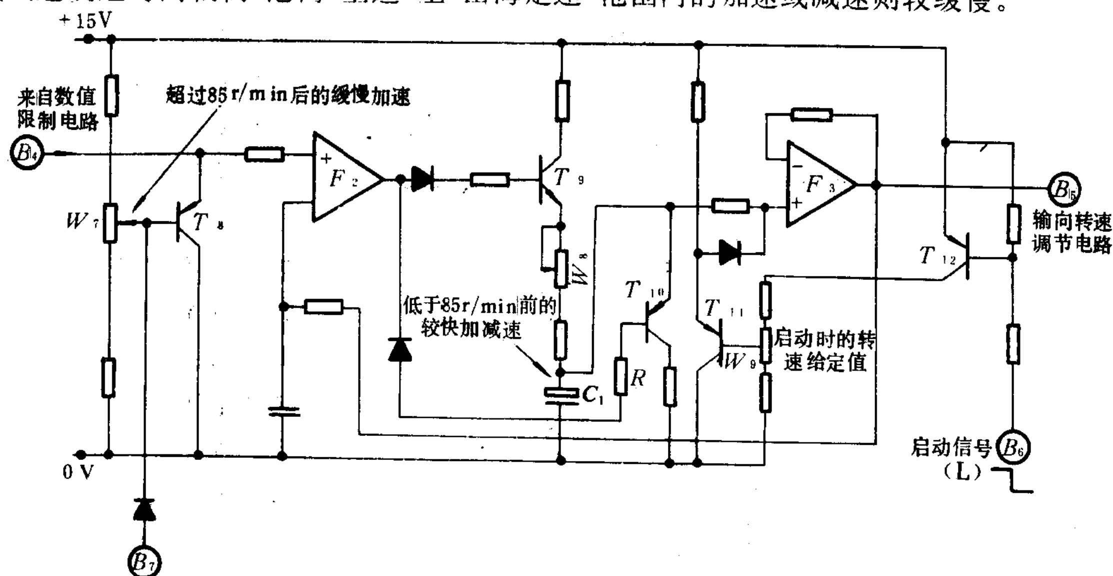


图 9.4.3—9 港内机动操纵时的转速发送时间原理图

1)港内机动操纵时的给定转速发送时间控制电路

图 9.4.3—9 为港内机动操纵时的给定转速发送时间的原理图，当 B_4 输入的给定转速电压小于 W_7 所设定的港内"全速"转速电压值（图例为 85r/min 的相应电压）时，W_7 和 T_8 组成

的缓慢加速电路便不起作用。

此时，当驾驶室要求加速时，由 B_4（来自数值限制电路）输入运算放大器（作为比较器用）F_2 同相端的电压大于发送控制电路的最后输出端 B_5 的电压，F_2 输出高电平，通过 T_9，W_8 向 C_1（220μ）充电。

W_8 可大到数百千欧，使电容 C_1 的电压按一定的速率升高，F_3 为电压跟随器，其输出电压除由 B_5 输出到电子调速器作为给定转速外，还反馈至 F_2 的反相端，当 B_5 输出和 B_4 输入相等时，F_2 处在平衡状态，电容 C_1 停止充电。

当驾驶室要求减速时，输入端 B_4 电压小于输出端 B_5 的电压，F_2 输出低电平，电容 C_1 的电压通过 T_{10}及电阻 R 放电，直至 B_5 电压降至与 B_4 相等，F_2 处在平衡状态，电容 C_1 停止放电。

由于采用电阻电容充放电来控制发送时间，时间不能过长，这部分电路仅用于港内机动操纵，要求加速及减速发送时间较快的工况。

2）出海后的给定转速发送时间控制电路

当 B_4 输入的给定转速电压大于 W_7 所设定的港内"全速"转速电压值时，W_7 和 T_8 组成的缓慢加速电路开始起作用。B_4 的电压将不能高于 T_8 的基极电压，当需要 F_2 的正端输入大于 W_7 所调定的电压时，B_7 端必须有高于 W_7 的电压输入，此时 B_7 的输入电压将按很缓慢的速率升、降，这种使 B_7 端产生缓慢电压升降的电路原理框图见图 9.4.3－10。

振荡器(1)产生低频脉冲，用于使给定转速电压升高，即用于主机加速；振荡器(2)产生较高的频率脉冲，用于使给定转速电压降低（即用于主机减速）。当转速给定数值限制电路图 9.4.3－8中 B_1 的输出电压与图 9.4.3－10 中的输出端 B_7 的输出电压进行比较后进入加、减速控制电路，当 $B_1>B_7$，控制电路使可逆计数器进行加法计数，振荡器(2)停振；当 $B_1<B_7$，则进行减法计数，振荡器(1)停振。W_1 调节振荡器(1)的振荡频率，从而调节给定转速电压升高的时间。当需要应急操纵时，控制系统使触头 J 闭合，短路 W_1，使振荡器频率骤增，加快转速的提高。W_2 调节振荡器(2)的频率，调节给定转速电压降低的时间。

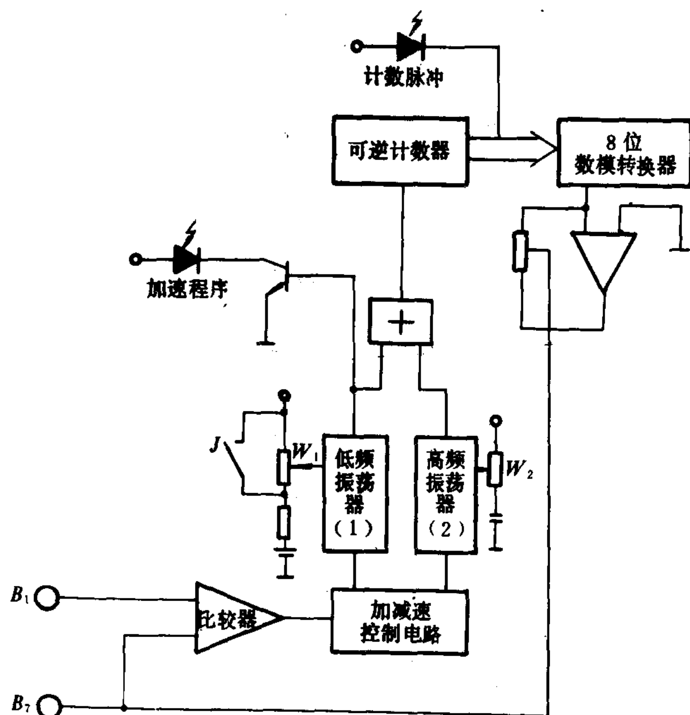


图 9.4.3－10　缓慢电压升降电路原理框图

加速时，"加速程序"发光二极管闪光；计数脉冲的快慢由"计数脉冲"发光二极管显示。计数器经加、减法计数后由 8 位数模转换器将数字量转换成模拟量，最后由 B_7 输出缓慢变化的给定转速电压值，该电压值输向图 9.4.3－9 的 B_7，亦即输向 T_8 的基极，使输入 F_2 的给定转速只能按 B_7 的电压变化缓慢增、减。

图 9.4.3－10 中的振荡器、可逆计数器及数模转换器等具体电路，可参阅有关线性及数字

电路等书籍，这里说明从略。

3）启动给定转速电路

图 9.4.3－9 中的 T_{11}、W_9 及 T_{12}组成启动给定转速电路。启动时，由逻辑控制电路输入 B_6 端一个启动低电平信号(L)，此时启动给定转速电路将不受转速数值限制或发送时间控制电路的影响，F_3 的同相端立即输入一由 W_9 调定的电压，使 F_3 的输出端 B_5 迅速输出一个预先设定的启动转速给定值。

1.3.4 转速调节电路

转速调节电路只是在主机没有安装PG型调速器时才是必要的。该电路加上电一气转换器和气动执行器就组成了电子调速器。在电子一气动遥控系统中常作为遥控装置的一个组成部分。

由于主机、螺旋桨有较大的自平衡能力，转速控制的电子部分又可视为无滞后的环节，电信号通过电气转换器转换成气信号后，推动长行程执行机构仅有微小滞后，故不需复杂的校正回路，一般的比例积分调节规律，在正常的航行工况下已能达到较好的调节品质。但在风浪中，螺旋桨跃出水面又迅速浸入后，负荷变化较正常的海上航行激烈得多，比例积分调节规律中的整定参数，较难同时适应这两种工况，故采用在风浪航行时由人工改变调节回路总增益的办法来解决。

此外，遥控系统的转速控制，还须解决启动过程中的启动油量的适当限制。这是因为启动过程中，启动给定转速较高，而主机刚开始转动，实际转速较低，这两种转速之间的偏差较大，调节电路将按比倒积分调节输出较高的电压。使进入主机的燃油骤增，引起主机启动粗暴。因此必须加以限制。图 9.4.3－11 为转速调节电路的原理图。

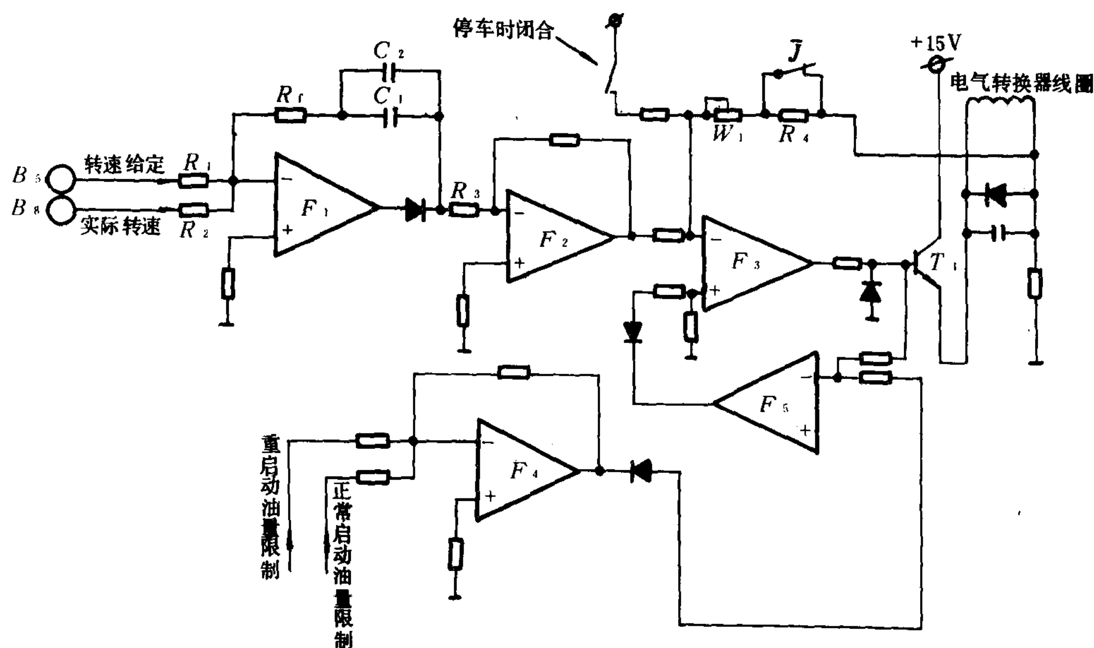


图 9.4.3－11 转速调节电路原理图

运算放大器 F_1 和 F_2 组成转速调节电路中的比例积分环节，比例值用电阻 R_f 整定，积分时间用电容 C_1 及 C_2 整定。输入 F_1 的转速给定电压来自图 9.4.3－9 转速给定电路的 B_5 输出

端、输入 B_8 端的主机实际转速来自图 9.4.3—4 转速测量电路。

运放 F_2 为反相器，运放 F_3 及三极管 T_1 组成末级功率放大及电压电流变换电路，电位器 W_1 可调整系统的总增益。

风浪开关 J 在正常海况下闭合，R_4 短路；在风浪海况下开关 J 断开，R_4 串入电路，反馈电阻增大，总增益增大，以适应在风浪情况下负荷的较大变化。

F_4 及 F_5 两运放组成转速调节电路中的油量限制环节。F_4 反相端输入的重启动油量限制和正常启动油量限制的电压值是由逻辑控制电路提供的。当有启动油量限制电压值输入后，经过反向器 F_4 输出相应的负电压，该负电压与 F_3 的输出电压（正电压）相加后输入运放 F_5 的反相端，当比例积分调节环节使 F_3 输出的正电压高于 F_4 输出的油量限制负电压时，F_5 输出负电平作用到 F_3 的同相输入端，使 F_3 的输出减小，直至与 F_4 输出的油量限制电压绝对值相等。

转速调节电路中的运放 F_1 在转速给定和实际转速产生偏差后，按比例积分调节规律输出相应的电压，经过 W_1 的系统增益调整，并受到 F_4 及 F_5 组成的最大输出限制，通过 F_2、F_3 及 T_1 向电气转换器输出一定的电流（0～10mA），由电气转换器转变为一定的气压（0.02～0.1MPa），推动长行程执行机构改变燃油进油量，使主机的实际转速与给定转速相等，完成转速调节。

1.4 维护保养

遥控装置的维护工作主要是经常性的检查，以避免故障的出现，建议每隔一个月、六个月和一年作如下规定内容的检查。

1.4.1 每月检查一次的内容：

1)用试灯按钮检查所有的报警灯，及时更换灯泡（或发光二极管）；

2)检查各组电源的电压及应急电瓶电压；

3)泄放空气瓶及空气过滤器积水，并检查工作空气压力；

4)检查主机上所有的限位开关、温度开关、压力开关及测速脉冲探头安装是否牢固，动作是否正常；

5)检查遥控操纵器、副车钟、应急车钟是否正常；

6)用模拟试验面板详细试验各种功能。

1.4.2 每六个月检查一次的内容

1)仔细检查中间接线箱及各连接电缆；

2)旋紧所有电线的中间接线柱；

3)旋紧保险丝；

4)插紧所有印刷板插座；

5)检查主机旁的所有限位开关的工作位置是否处在最佳状态；

6)检查驾驶室操纵台内的限位开关、电位器、发光二极管及手柄传动机构等的工作是否正常；

7)检查和旋紧所有机械安装部件的螺栓

8)检查全部电一气转换阀件工作是否正常；

9)旋紧所有气路管接头，勿使泄漏，必要时，更换空气过滤器的材料；

10)检查所有压力开关、温度继电器及飞车保护的设定值。

1.4.3 每一年检查一次的内容

除进行每六个月一次的同样检查内容外，需作以下工作：

1)拆检气动执行器，更换气缸密封件，添加润滑剂。

2)检查和校准电—气转换器。

3)拆检电控气阀、手自动转换气阀及其他控制阀件，用矿物油清洗，涂润滑油。

2 AUTOCHIEF—III 型主机遥控系统

2.1 概　　述

AUTOCHIEF－III(以下简称 AC－III)电子遥控装置是挪威 NORCONTROL 公司生产的主机电子遥控装置。它可以与 SULZER 和 B&W 柴油机配套使用。AC－III 主机遥控系统由三部分组成：AC－III 电子遥控装置；与 SULZER 或 B&W 型柴油机相配的接口——气动控制装置；柴油机(SULZER 或 B&W 型)。

AC——III 主机遥控系统属于电/气结合类型的遥控系统，其基本结构如图 9.4.3—12 所示。

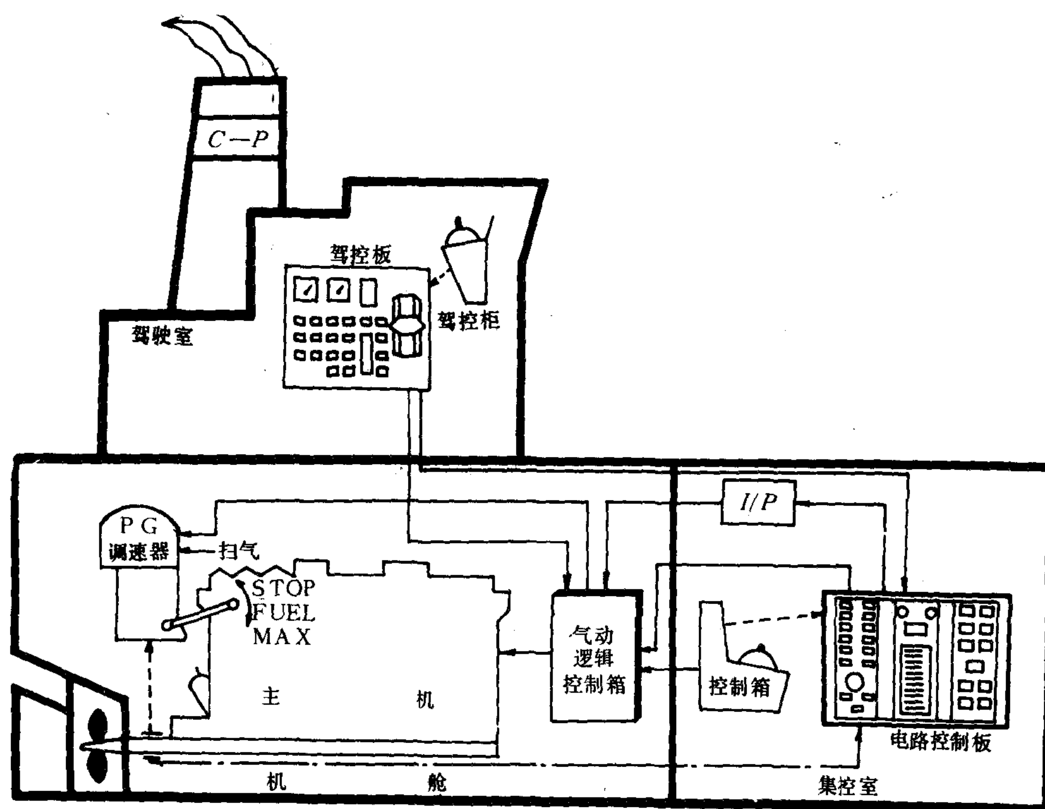


图 9.4.3—12　AC—III 主机遥控系统总体框图

图中表明 AC—III 主机遥控系统有驾驶室、集控室和机旁三种操纵方式。

为了及时了解驾驶室遥控主机的工况和建立驾驶室与集控室之间的通讯联系，分别在驾驶室和集控室设置了控制面板。

2.1.1　驾驶室控制面板

驾驶室控制面板如图 9.4.3—13 所示。

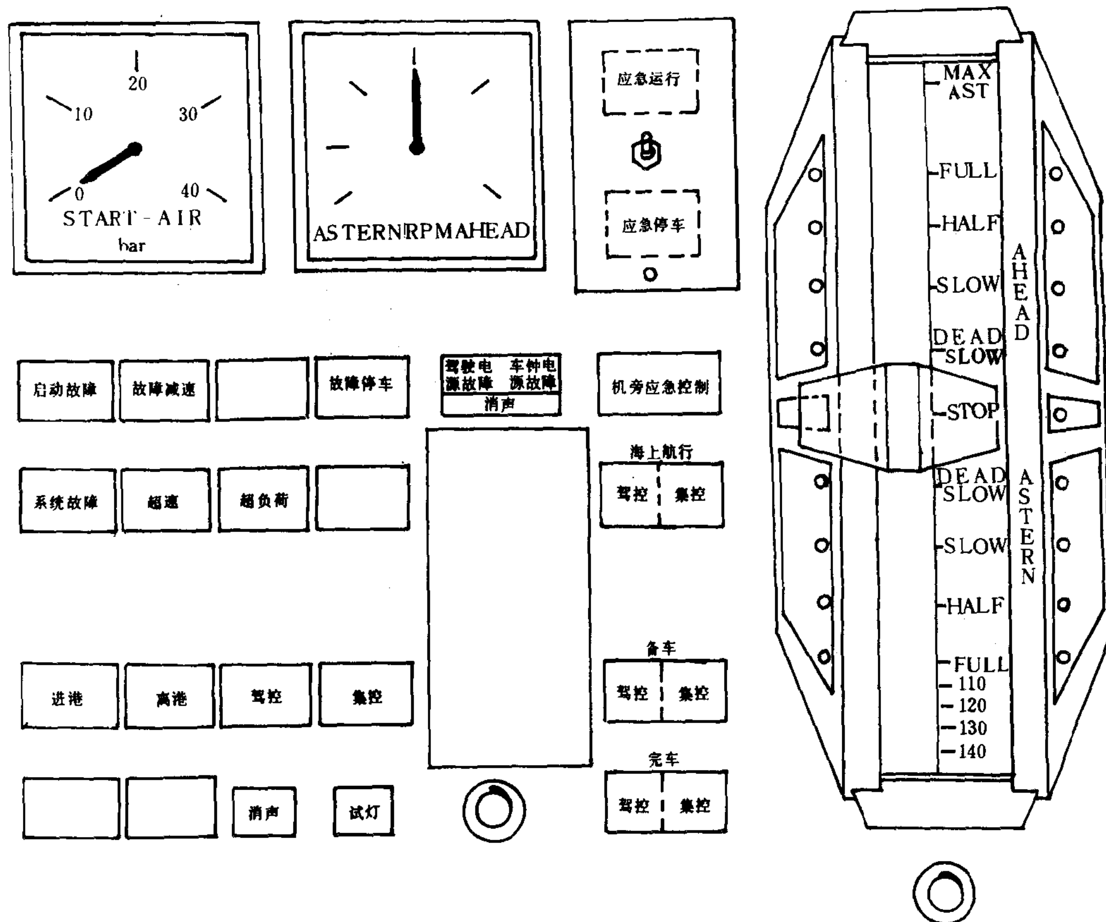


图 9.4.3—13 驾驶室控制面板

它由下列项目组成：

组装式的操纵手柄和车钟；

启动空气压力表；

主机转速表；

带有指示灯的应急运行和应急停车开关，这个开关装在红色防护罩的下面，以避免误操作；

有启动失败、故障减速、故障停车、系统故障、主机超速和主机过载报警指示灯；

有驾驶室控制电源失电和车钟电源失电并带有复位开关的报警指示灯；

用于离港和进港操纵的两只带灯按钮；

用于驾控和集控方式的两只带灯按钮；

用于蜂鸣器消声复位的带灯按钮；

用于试灯的带灯按钮；

主机应急控制指示灯（当执行机旁操纵时使用）；

三对带灯按钮，即驾驶/轮机海上航行、驾驶/轮机备车和驾驶/轮机完车，它们起到副车钟的作用；

除报警灯以外的控制方式指示灯减光电位计旋钮；

车钟系统指示灯减光电位计旋钮。

2.1.2 集控室控制面板

集控室控制面板装在标准的印刷电路板框架上，如图 9.4.3—14 所示。

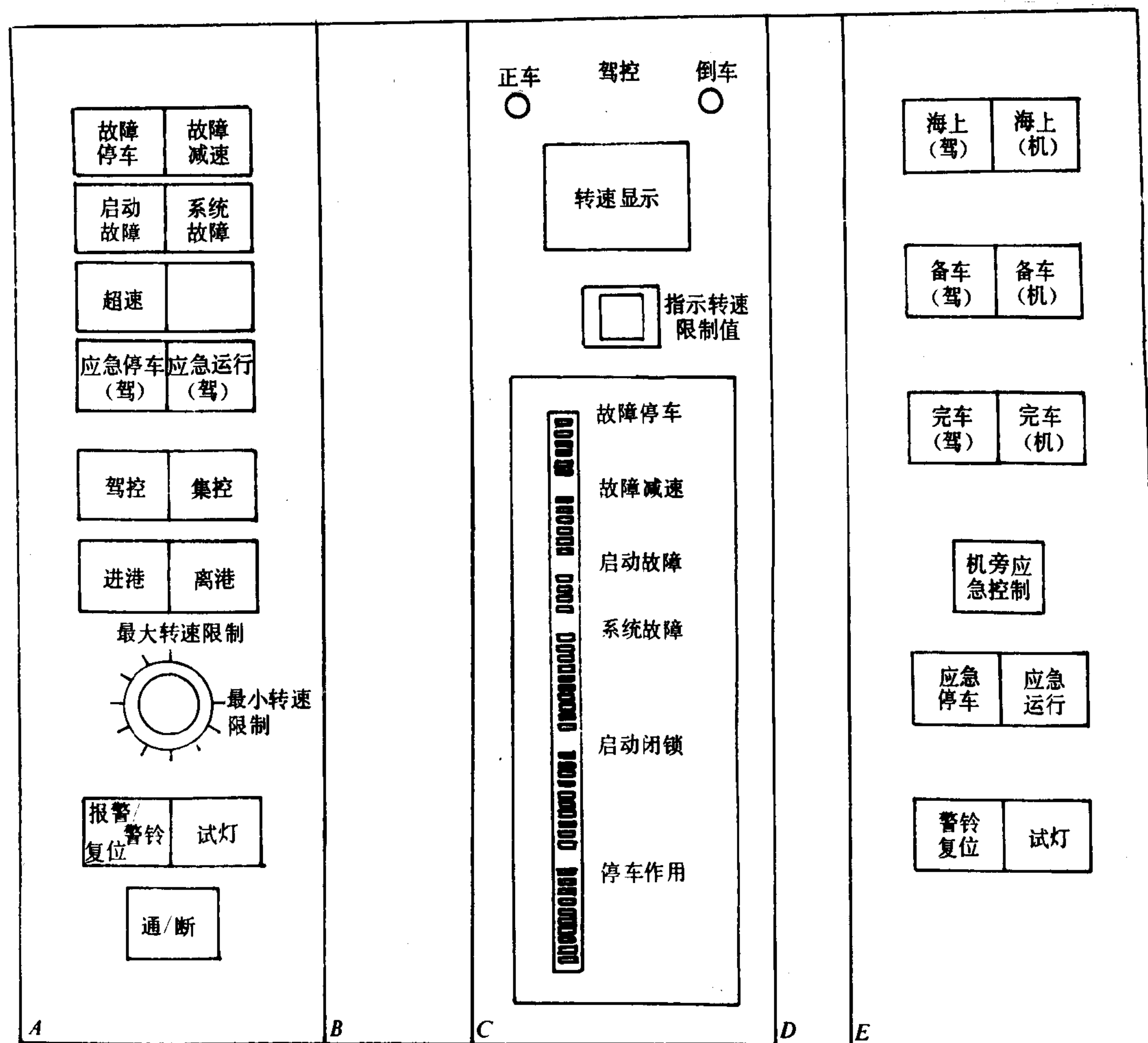


图 9.4.3—14 集控室控制面板

此框架包含有 A—B—C—D—E5 个模块，其中 D 为功能扩展模块，E 为驾/机通信的副车钟功能和应急操纵指示模块。

1)模块 A

它由两部分组成：

(1)显示灯的前面板装有：故障停车、故障减速、启动失败、系统故障和主机超速的带复位开关的报警指示灯；应急停车和应急运行指示灯，它们由驾驶室应急开关控制；指示驾控/集控方式的带灯按钮；进港/离港的指示灯；报警/车钟铃消声复位的带灯按钮；试灯按钮；控制电源通/断的按钮。

（2）电子线路的插板

该插板装在前面板反面的印刷电路板框架上，它主要包括具有逻辑功能的指示灯驱动器和启动控制逻辑电路等。

2）模块 B

模块 B 也由前面板和电子线路插板构成，但前面板未装任何东西，而电子线路插板上装配了驾控时，转速给定的一系列控制电路。

3）模块 C

它由两部分组成：

（1）各种指示灯和数字显示器的前面板装有：显示驾控时发来命令的实际转速；按一下“指示转速设定限制”按钮，显示器便显示由模块 A 上电位器所设定的限制值；操作模块 C 插板上的模拟试验多位开关，显示器上便显示出 AC－III 电子遥控装置内部信号的读数；有 6 个可能输入的“故障停车”(SHUT DOWN)发光二极管显示信号灯；有 4 个可能输入的“启动失败”(START FAILURE)发光二极管显示信号灯；有 6 个可能输入的“故障减速”(SLOW DOWN)发光二极管显示信号灯；有 10 个可能输入的“系统故障”(SYSTEM FAILURE)发光二极管显示信号灯；按柴油机的需要，最多可指示 10 个不同“启动闭锁”(START BLOCKED)的内部信号；按柴油机的需要，最多可指示 10 个不同“停车作用”(STOP ACTIVATED)的内部信号。

（2）电子线路插板

该板位于前面板的反面，它有如下电路：试验功能电路；报警功能电路；内部系统指示电路。

4）模块 E

它由指示灯前面板和反面插板构成，装有：驾/机海上航行指示灯；驾/机备车指示灯；驾/机完车指示灯。这些指示灯起到副车钟的作用。用于机旁操纵时，柴油机应急控制指示灯；应急操纵和应急运行指示灯；用于操纵方式的警铃复位带灯按钮；用于指示灯试验的带灯试灯按钮。

反面插板上装有操纵方式继电器和二极管网络等元器件。

2.1.3 车钟

为了适应机旁、集控和驾控三种操纵方式，AC－III 主机遥控系统安排了三套车钟装置。

驾驶室车钟和 AC－III 操纵手柄组装在一起；驾控时，操纵手柄既作传递遥控指令使用，直接操纵主机工作，又作车钟手柄发令用。

集控室车钟和 SULZER 公司提供的气动操纵装置组装在一起；集控时，只要把车钟手柄从“驾控”(BRIDGE CONTROL)位置移开，就把驾控方式切换到集控方式。集控操纵方式是由轮机员来操作的，此时，驾驶室的操纵手柄仅作车钟传递车令之用，再不能直接操纵主机了。

机旁车钟和 OSC－1(OVERSPEED AND SHUT－DOWN CONTROL)系统的机旁控制部分组装在一起，机旁操纵时，只要轮机员把调油手柄离开驾控位置，就方便地把集控切换到机旁操纵。

车钟有完整独立的电源系统，一旦车钟失电，失电报警信号被送至报警中心，在驾控面板上装有车钟失电报警指示灯。

此外，还装设有副车钟，用以传递驾－机之间备车、完车和海上航行等命令。它是通过警铃和驾控/集控面板上的备车、完车、海上航行指示灯来实现的，它们并不直接影响主机工作状

态。

为了及时记下车钟命令，在驾驶室和集控室都装设了车钟自动记录仪。

2.1.4 主要功能

从驾驶室扳动操纵手柄可直接控制主机换向、启动和变速；

调速分有级和无级两种；

启动分正常启动和重启动，为了节省启动空气。提高主机操纵性，在正常启动这一级中加入一个时间启动功能；

三次重复启动功能；

遇有启动故障或系统故障时，模块C前面板上将有故障原因指示；

故障停车和故障减速功能；

应急停车和应急运行功能；

最低转速限制、临界转速限制、加速度限制和手动转速限制等功能；

完善的转速检测系统；

进港和离港程序（可调范围为15～120min）；

试验和模拟功能。

2.2 气动控制装置

气动控制装置的结构主要由气源、换向、启动系统、转速给定和安全保护装置组成。

2.2.1 气源

气源主要由空气瓶、工作方式切换阀（回位四通阀）、过滤器、减压阀和双向止回阀等组成（可参考图9.4.3—27a））。两只空气瓶本身是供启动主机使用的压缩空气（30bar≈3×10^6P_a）。这样高的气压必须经过过滤、减压到（7×10^5Pa）（7bar），方能作为气动控制装置元件的控制空气使用。

2.2.2 换向

其原理可参考图9.4.3—27a）下面分两种情况来讨论其工作原理：

1）机旁手动换向

轮机员在机旁进行操纵。当轮机员接到正车命令时，首先拉换向手柄到正车位置（在这个动作的同时，也向驾驶室发去了车钟回令信号），使换向阀4.02的输出口建立起油压。此油压分两路送出，一路送到正车连锁阀27B，控制其投入工作；另一路通过M端口进入换向伺服器，（4.01）伺服器内部的转板受压力油作用迫使凸轮轴转动一个“差动角”（注意：运转方向连锁阀（5.01）并未动作），因而从此实现了换向功能。当换向结束时，换向伺服器（4.01）的K输出口油压也建立起来了。

2）集控室遥控换向

轮机员把集控台上的操纵手柄推到正车位置，使正车阀（1D）投入工作，控制空气经阀（1D）上位和阀（29B）左位进入三位气缸的左端，推活塞向右移动，带动换向阀（4.02）逆向旋转一个角度，这以后的动作同机旁手动换向相同。

此时，阀（27B）受控，气压信号通过双向止回阀（9A）传送到延迟阀（30B）等待启动时刻的来到。

2.2.3 启动系统（可参考图9.4.3—27b））

1）机旁启动

假定盘车机已脱开，则由空气瓶来的(3×10^6Pa)(30bar)压缩空气经阀(2.09)左位气路通向阀(8.18)等待，此时主启动阀的手轮应放置在打开(OPEN)位置。当轮机员撤下启动手柄(2.18)时，阀(8.18)右位气路被接通，早已等待在那里的(3×10^6P_a)(30bar)启动空气经阀(8.18)送入主启动阀和启动空气分配器。从此，执行主机启动程序。

2)集控室启动

撤下集控台上的启动阀(2A)，控制空气经阀(2A)的上位通向阀(29D)的左位→启动连锁阀(27C)的左位→延迟阀(30B)的左位，然后送到阀(8.18)的气控端，使阀(8.18)切换到右位。此后的动作过程同机旁启动。

2.2.4 转速给定

转速给定系统的原理可参考图 9.4.3－27b)供油调速栏目内，其中有 2 个重要环节，即：

1)自动避开临界转速装置

它由减压阀、差动阀等组成。

设 P_I 和 P_o 分别为自动避开临界转速装置的输入、输出气压信号；P_b 和 P_a 分别为临界转速区上、下限值，对减压阀来说，就是其设定压力值(可以调整)，显然 $P_b>P_a$。

若 $P_I<P_a$，差动阀(22A)工作在上位，于是 $P_O=P_I$；若 $P_a<P_I<P_b$，差动阀工作在上位，由于此时减压阀(17A)起稳压作用，输出 P_a 值保持不变，可以 $P_o=P_a$；若 $P_I>P_b$，差动阀工作在下位，因而 $P_o=P_I$。

2)停油控制装置

它由停油伺服器、喷油泵和 R、P、Q 阀件组成的起动燃油限制器等构成。，

通常使喷油泵停止供油，有两种方法；

(1)控制喷油泵的进油阀；

(2)控制喷油泵的回油阀。

若把喷油控制气缸(5.26)活塞的上部控制空气泄放掉，则进油阀关闭，迫使喷油泵停止供油；或者把停油伺服气缸(5.06)的活塞(X)推向最右端，通过杆系作用使喷油泵的回油阀全部打开，也能使喷油泵停止供油。这两种方法，在本系统中都有使用。

若目前要求开正车，车钟手柄由 STOP 位置推到正车某个位置，换向机构推动凸轮轴转动一个“差动角”。当换向动作完成时，气压信号经速放阀(S)进入停油伺服器气缸，克服弹簧张力推动活塞(X)左移，使断油拉杆放松，并停止在某个平衡位置上，因而喷油泵具备了喷油条件。活塞(X)的移动速度受单向节流阀(R)的控制。换向动作结束后，启动气压信号传送到阀(Q)的输入端，阀(Q)是一只差动两位三通阀。由于启动时的启动油量设定气压比较低，所以阀(Q)工作于下位。从此阀(P)工作状态被切换到右位，使活塞(Y)上受到压力，破坏了断油拉杆原来的平衡状态。换言之，断油拉杆稍向右端移动了一小段距离，把启动油门开度限制在2.3～3格内。

若在启动燃油量的基础上进一步加大燃油量，则阀(Q)切换到上位工作，作用在活塞(Y)上的气压信号通过阀(R)泄放大气，断油拉杆向左移动，允许任意调节供油量。

当车钟手柄拉到 STOP 位置的同时，换向手柄也随着回到 STOP 位置，于是换向阀(4.02)输出油压降为零，迫使速放阀(S)输入压力为零，此后停油伺服器气缸中的气压信号通过速放阀(S)泄放到大气，遂使活(X)移向最右端，通过断油拉杆及传动杆系统把回油阀门全部打开，立即停止喷油。

在未操作调油手柄以前，主动处于启动过程。如前所述，启动时阀(30B)工作于左位，有气

压信号输出，然后通过减压阀(14B)、双向止回阀(9C)和(9D)送入 PG 调速器的增压空气输入管路端口，用以提高启动时的低扫气力(即提供启动时合适的供油量)，这有利于启动成功。

启动成功后，轮机员操纵调油手柄，使调压阀(16B)输出气压信号有所提高，然后通过阀(23C)、自动避开临界转速装置和双向止回阀(L)，把(16B)的输出气压信号送至 PG 调速器的输入口(60)，使油门逐渐增大，主机转速随之升高。

随着启动过程的结束，PG 调速器的增压空气输入口(58)的气压信号，应由双向止回阀(9D)的输入口(3)的实际扫气压力信号所取代。因为扫气压力将随主机的运转逐渐建立起来。

2.2.5 安全保护装置

1)驾驶室应急停车(EM. STOP)操纵和应急运行(EM. RUN)操纵。

(1)揿下"应急停车"按钮(实际上是一只钮子开关)，"EM. STOP"复合式电磁阀(25A)得电，切换到阀的右位工作，导致如下阀件工作状态发生切换。

双向止回阀(9E)有气压信号输出；二位三通阀(24A)被切换到上位工作，其输出口气压信号被泄放到大气，双向止回阀(M)输出气压信号随之消失；速放阀(S)输出气压信号迅速排放大气。

此后，停油伺服器的复位弹簧推动活塞(X)向右端移动，并带动断油拉杆也向右端迅速移动，通过传动杆系把喷油泵的回油阀门全部打开，立即停止喷油，迫使主机停止运转。

(2)揿下"应急运行"按钮(实际上也是一只纽子开关)"EM. RUN"复合式电磁阀(25B)得电，切换到右位工作，使如下阀件工作状态发生切换：

双向止回阀(9F)有气压信号输出；减压阀(14A)有气压信号输出；双向止回阀(9C)有和减压阀(14A)输出相等的气压信号输出；双向止回阀(9D)也有和减压阀(14A)输出相等的气压信号输出。

其最终的输出气压信号送至 PG 调速器增压空气输入口(58)。

2)集控室"应急停车"(EM. STOP)操纵和应急运行(EM. RUN)操纵

(1)揿下"应急停车(EM. STOP)按钮时，阀(2B)上位工作，使双向止回阀(9E)有气压信号输出，引起阀(24A)上位工作；通过双向止回阀和速放阀，导致停油伺服器活塞(X)向右移动，引起喷油泵停止喷油。在揿下"EM. STOP"按钮的同时，还通过气动压力开关(144HA)把电信号传递到"OSC"单元；"OSC"单元接收到电信号后，使相应继电器得电并自保，其输出触头闭合，致使电磁阀(5.23)通电并切换到左位工作，把喷油控制气缸(5.26)活塞上部控制气压信号泄放掉，达到进一步使喷油泵停止供油，主机转速逐渐降低到零。

(2)按下"应急运行"(EM. RUN)按钮时，阀(2C)上位工作，双向止回阀有气压信号输出到减压阀(14A)输入口，以后的情况和驾驶室"应急运行"操纵时相同。但是在揿下"EM. RUN"按钮的同时，还通过气动压力开关(144HB)向"OSC"单元送去电信号，使相应继电器接通；其输出触点，还点亮了"EM. RUN"指示灯。

3)滑油压力过低保护

当滑油压力低于压力开关(51C)整定值时，由于压力不足，使开关复位，且送出电信号到"OSC"单元，"OSC"单元输出相关信号到电磁阀(5.23)，使其切换到右位工作，导致停止供油，迫使主机停车。

万一"OSC"单元工作失灵，滑油压力过低信号传送到阀(8.08)，使其切换到左位工作，同样能把喷油控制气缸(5.26)活塞上部控制气压泄放掉，促使主机停车。

4)活塞冷却水压力过低保护

当活塞冷却水压力低于压力开关(51D)整定值时，由于压力不足使开关复位，且送出电信号到"OSC"单元，"OSC"单元输出相关信号到电磁阀(5.23)，使其工作于右位，并导致停止供油，促使主机停车。

5)缸套冷却水压力过低保护

与活塞冷却水压力过低保护相同，无需赘述。

6)超速保护

当转速超过整定转速值时，测速发电机输出较大电压，使"OSC"单元的相关继电器动作；"OSC"单元输出的电信号，又使阀(5.23)工作于右位，和前述保护一样，最后迫使主机停车。

7)应急气源

应急气源气路位于图 9.4.3—27c)右下端所示。若控制空气气源发生故障而停止供气，则阀(H)被切换到右位工作。由启动空气送来的(3×10^6P_a)(30bar)压缩空气，经单向止回阀(D)、滤器(E)和减压阀(F)，输出(7×10^5Pa)(7bar)压缩空气，到达阀(H)输入口(4)。由于阀(H)工作于右位，因此其输出口(2)，气分两路：一路到双向止回阀，使停油伺服器维持在主机运行位置；另一路通过减压阀(K)把气压信号送到双向止回阀(L)，通过(L)再接到 PG 调速器输入口(60)，使主机维持在一定转速下运行。

有了应急气源设施，就不会因控制空气气源发生故障而造成主机停车事故。

2.3 启动控制电路

2.3.1 结构框图

启动控制电路结构框图如图 9.4.3—15 所示，若干个启动输入信号通过启动判别单元进行与非逻辑运算，把输出信号送到三处：

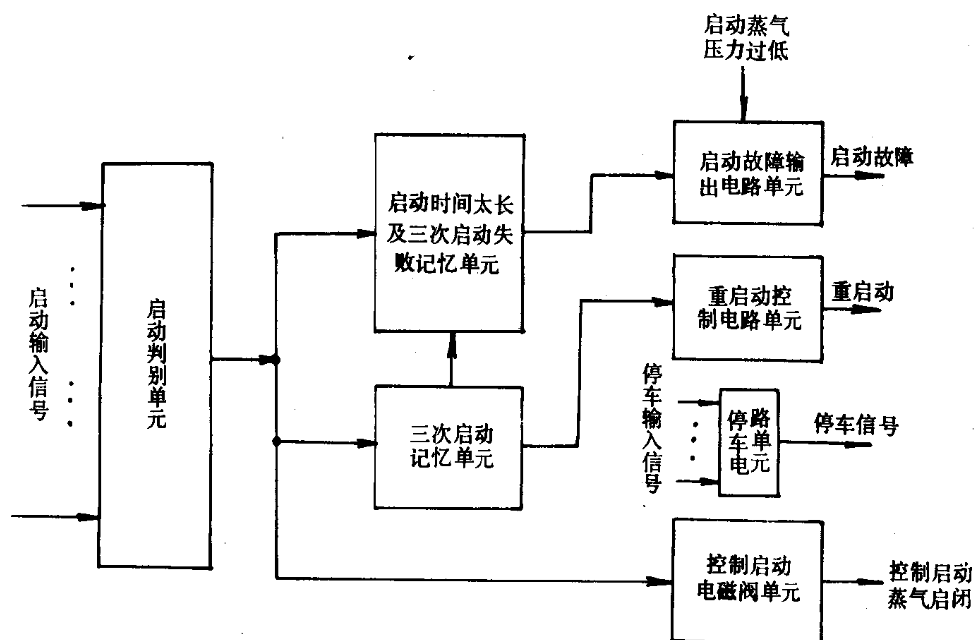


图 9.4.3—15 结构框图

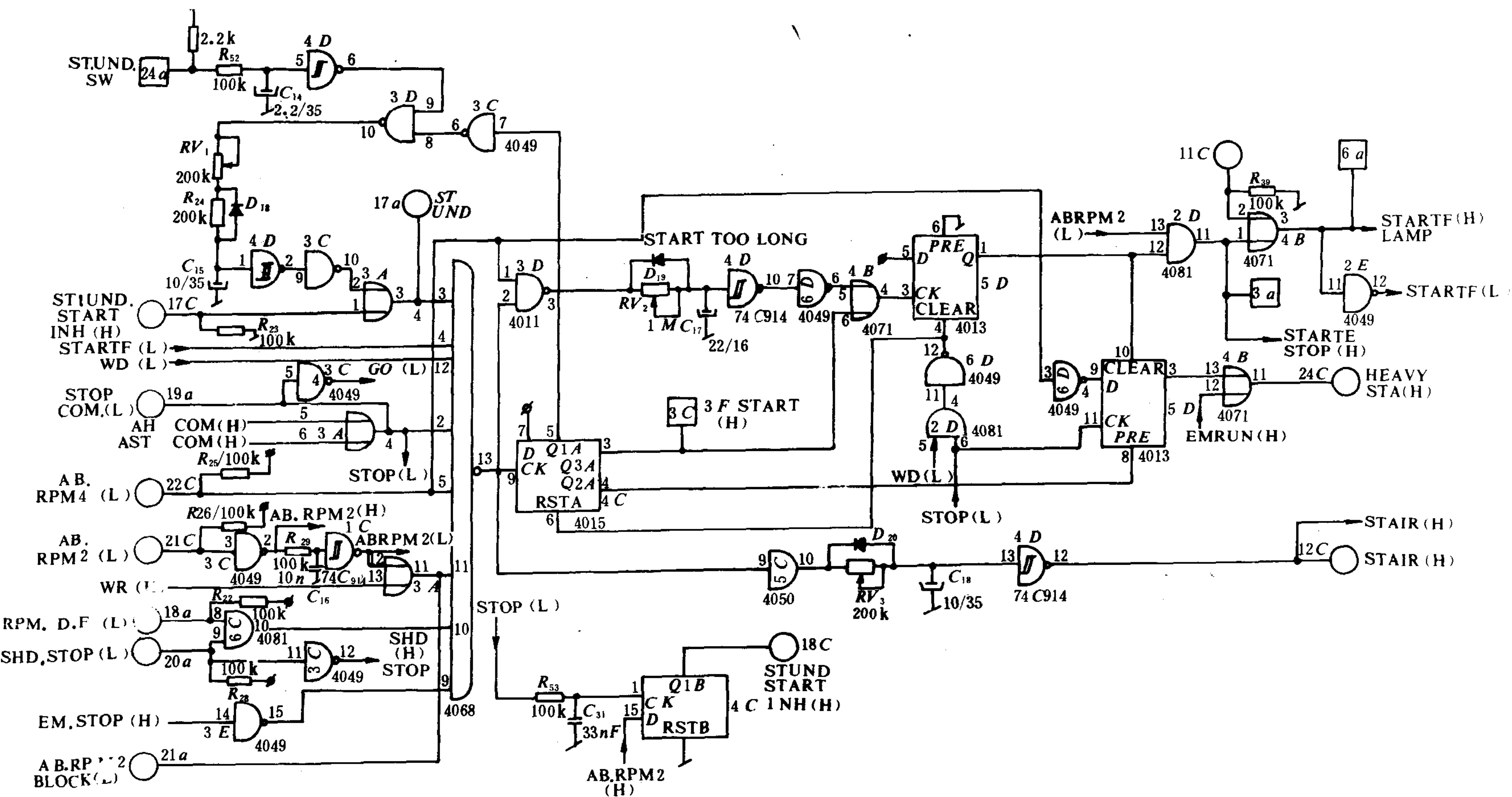
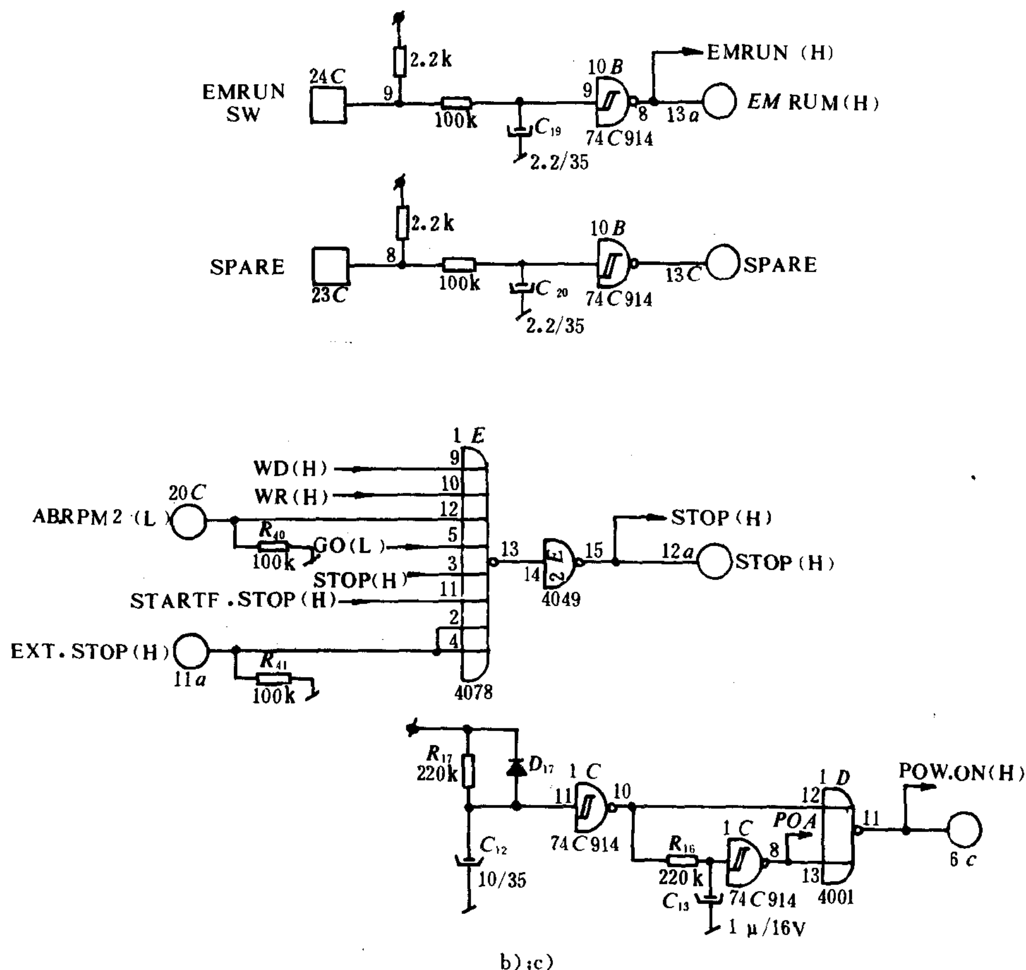

ST.UND. SW
START TOO LONG
ST.UND. START INH (H)
STARTF (L)
WD (L)
STOP COM.(L)
AH AST
COM(H)
COM(H)
GO (L)
STOP(L)
AB. RPM4 (L)
AB. RPM2 (L)
AB. RPM2(H)
ABRPM2(L)
WR
RPM. D.F (L)
SHD.STOP (L)
SHD (H) STOP
EM.STOP (H)
ST UND
3 F START (H)
ABRPM2 (L)
STARTF(H) LAMP
STARTF(L)
STARTE STOP (H)
HEAVY STA(H)
EMRUN(H)
WD(L)
STOP(L)
STOP (L)
STAIR(H)
STAIR (H)
STUND START 1NH(H)
AB.RPM2 (H)

图 9.4.3—16a)



b);c)

图 9.4.3—16 启动控制电路

1)控制启动电磁阀单元输入端,若启动条件具备,则启动电磁阀线圈通电工作,使启动阀受控动作,从此 3MPa 空气进入主机气缸,主机逐渐转动起来。

2)三次启动记忆单元输入端,该单元是一个移位寄存器,每启动一次移入一位“1”信号。

3)启动时间太长及三次启动失败记忆单元输入端,此外该单元还有一个三次启动失败输入端,如若启动过程中发生这两者之一或兼而有之,则该单元均有启动失败信号输出。

此外,启动控制电路还有三个输出信号,即:启动故障信号、重启动信号、控制启动空气启闭信号。

2.3.2 启动判别单元电路

启动判别单元电路如图 9.4.3—16 右端所示。电路的中心部分为 8 输入端的 CD4068 与非门集成块,其它部分都是些常见的与、或、非门及施密特触发器等集成电路。

1)输入信号(图 9.4.3—16a)

(1)ST. UND. SW. (START UNDERTAKE SWITCH):启动空气压力不太低的压力开

关信号。压力开关安装在机舱启动系统的空气分配器旁。只要启动空气压力不太低，压力开关总是能动作的，当然动作压力是可以通过压力开关的调整弹簧整定的。压力开关的动作规律是：主机启动时，开关触头闭合，一端接到地，另一端接到 24a；主机启动成功运行时，开关触头断开。

(2)Q_1A：移位寄存器 4C 最低位输出信号；用它来控制时间启动功能。

(3)ST. UND. START INH. (H)：用作取消时间启动的控制信号。

(4)STARTF(L)：启动故障控制信号；若因某种原因发生启动故障时，用该信号来封锁启动主机。

(5)WD(L)：转向判别信号；正确转向时，WD(L)＝“1”，表示换向已完成，即主机车令和凸轮轴位置相符。

(6)AH. COM(H)：正车车令信号；开正车时，AH. COM(H)＝“1”；停车或开倒车时，AH. COM(H)＝“0”。

(7)AST. COM(H)：倒车车令信号；开倒车时，AST. COM(H)＝“1”；停车或开正车时，AST. COM(H)＝“0”。

(8)AB. RPM4(L)：超过 RPM4(L)转速信号；超过 RPM4(L)时，AB. RPM4(L)＝“0”，反之为“1”。

RPM4 定义：把主机转速＝45～75r/min 时定义为 RPM4 转速，若主机转速高于它，不允许即刻反转。

(9)AB. RPM2(L)：超过 RPM2(L)转速信号；超过 RPM2(L)时，AB. RPM2(L)＝“0”，反之为“1”。

RPM2 定义：把主机转速等于点火转速时定义为 RPM2 转速。

(10)WR(H)：转向判别信号；错误转向时，WR(H)＝“1”；应急运行时，用此信号来控制启动空气提前进入主机气缸，达到制动主机目的。

(11)RPM. D. F. (L)：转速检测器故障信号；若 RPM. D. F(L)＝“0”，表示转速检测器有故障，则禁止启动主机。

(12)SHD. STOP(L)：故障停车信号；SHD. STOP(L)＝“0”时，表示发生危及主机安全的故障，必须禁止启动主机。

(13)EM. STOP(H)：应急停车信号；EM. STOP(H)＝“1”时，表示执行应急停车指令，要求停止启动主机。

2)启动判别单元线路工作原理

(1)起时间启动作用的电路分析

起时间启动作用的电路如图 9. 4. 3—16a)左上端所示。

驾驶室操纵手柄在停车位置时：

驾驶室操纵手柄在停车位置时，意味着主机处于停车状态。因此 ST. UND. SW. 压力开关处于断开位置，R52C14 起消除压力开关抖动作用，此时施密特触发器 4D－6 输出端子为“0”信号。由于驾驶室操纵手柄在 STOP 位置，因此 Q_{1A}为“0”信号，经反相后 3C－6 端子为“1”信号。这两个逻辑电信号送到与非门 3D 的 9 和 8 输入端，其输出端子 3D－10 等于“1”信号，经 RV_1、R_{24}、C_{15}充电，当达到施密特触发器翻转电平时，使 4D－2 端输出“0”信号，然后再经反相后 3C－10 输出“1”信号，把它通过或门 3A 送到与门 CD4068 的输入端子 3。

驾驶室操纵手柄离开停车位置时：

假如使操纵手柄移至正车车令位置，此时 ST. UND. 压力开关闭合，端子 24a 被接地，形成 $R_{52}C_{14}$放电回路，致使施密特触发器翻转，且输出端 4D－6 转变为"1"信号。而与门输出端 3D－10 输出为"0"信号，使 RV_1、D_{18}、C_{15}形成放电回路，约等待 2S 左右，施密特触发器翻转，且输出端 4D－2 转变为"1"信号，此信号通过反相器 3C 和或门 3A 送到与门 CD4068 输入端子 3 已变为"0"信号。

(2)8 输入与非门 CD4068 工作状态的分析

与非门 CD4068 集成电路有 8 个输入端和一个输出端，当 8 个输入端都为高电平"1"信号时，输出低电平"0"信号。当 8 个输入端中的任何一个为低电平"0"信号时，输出高电平"1"信号，我们把前者定义为具备启动条件，将输出"0"信号送到控制启动电磁阀电路，使启动电磁阀动作，从而控制启动空气进入主机气缸，遂使主机转动起来；把后者定义为不具备启动条件，输出"1"信号，通过控制启动电磁阀电路，切断启动空气，达到停止启动目的。

停车位置开正车时：

因为当前不存在应急停车指令，所以 EM. STOP(H)＝"0"，经反相器 3E，使 CD4068 输入端子 9 接收到"1"信号。

由于当前既无故障停车又无转速检测故障情况发生，因此 RPMD. F(L)＝"1"，SHD. STOP(L)＝"1"，通过与门 6C，使 CD4068 输入端子 10 接收到"1"信号。

末启动前，主机转速等于零，故 AB. RPM2(L)＝"1"，经过反相器 3C、施密特触发器 1C 和或门 3A，使 CD4068 输入端子 11 接收到"1"信号。

动车前，AB. RPM4(L)＝"1"，使 CD4068 输入端子 5 接收到"1"信号。

由于驾驶室操纵手柄已离开停车位置，并移向正车方向，因此 AH. COM(H)＝"1"，使 CD4068 输入端子 2 接收到"1"信号。

通常主机操纵系统总是设计成先换向后启动，所以 WD(L)＝"1"，使 CD4068 输入端子 12 接收到"1"信号。

若当前不存在启动故障，则 START(L)＝"1"，使 CD4068 输入端子 4 接收到"1"信号。

这以前我们介绍过时间启动概念，对起时间启动作用电路作过详细分析。当驾驶室操纵手柄在停车位置时，CD4068－3 接收到的信号为"1"信号。

上述 8 个"1"信号使 CD4068 输出"0"信号，这个"0"信号就是控制启动电磁阀动作的信号。当 3MPa 启动空气送到 ST. UND. SW 压力开关时，则立即动作闭合，然后通过起时间启动作用电路，约延迟 2s 左右，引起 CD4068－3 由"1"信号变"0"信号。CD4068－13 由"0"信号变"1"信号，该"1"信号迫使启动电磁阀释放，从而切断了启动空气。由这里可以看出，启动空气进入主机气缸的时间接近起时间启动作用电路的延迟时间 2s 左右(可通过 RV_1 调整之)。

若第一次启动失败，如因为点火失败，引起主机已升上去的转速又下跌到小于点火转速，这一下跌的 RPM2 信号又成为第二次启动原因。第二次启动时间大于第一次启动时间(2S)。这是因为使用时间启动的目的是为了节省启动空气，但是也带有启动不易成功的不利因素，所以一旦时间启动未成功时，有必要取消时间启动，使第二次启动转为正常启动时间必大于第一次启动时间。

从电路角度来看，所以能取消时间启动，是靠移位寄存器在点火失败信号的作用下 4C－Q1A 由"0"变"1"信号。并用 3D－10 由"0"变"1"信号，制止住起时间启动作用电路执行时间启动功能。

应急运行时：

由于主机本身存在惯性，当进行应急操纵时，把操纵手柄从正车拉到倒车位置，螺旋桨并末马上倒转，仍以惯性造成的正转推动船舶继续前进。为了尽快使船舶后退，主机遥控设计有强迫制动的措施，也就是说，在主机转向不相符（WR(H)＝“1”），使CD4068－11接收到“1”信号；由于转速下降到小于RPM4时，CD4068－5接收到“1”信号。综上所述，使CD4068－13由“1”变“0”，用此信号来控制启动空气提前进入气缸起强迫制动作用，待主机转速跌到零时，主机由制动过程转为倒车启动过程。

转速检测器故障时：

若转速检测器发生故障，则启动过程应立即中止。这是因为主机遥控系统所以能正确可靠地操纵主机，在很大程度上取决于转速检测器测得的转速是否正确地反映实际转速。所以一旦转速检测器有故障必须立刻停止，启动主机，否则启动程序会遭到严重破坏。

实现方法很简单，只要在与门6C－8端子上接收到RPM D. F(L)＝“0”信号就能中止启动过程。

主机故障停车时：

主机故障停车，通常指主机在运行中发生危及主机安全的事故(如主机滑油过低)。这时启动控制电路将自动中止启动主机，待轮机员查明原因，并排除故障后，才允许按复位开关，解除故障停车连锁，进行重新启动。

实现方法和转速检测器故障时相似，只要在与门6C－9端加入SHD. STOP(L)＝“0”信号，即可制止启动主机。

3)控制启动电磁阀单元电路

本电路如图9.4.3－16a)的中部所示，它由缓冲器5C、延时电路$D_{20}RV_3C_{18}$和施密特触发器4D组成。这三个部分的电路分别起缓冲隔离、延时补偿和整形作用。输入信号来自启动判别单元电路，输出信号STAIR(H)接到启动电磁阀驱动器输入端。

4)三次启动记忆单元电路

它由移位寄存器CD4015构成，CD4015分为A和B两组移位寄存器。这里使用的是A组，它最多可移入四位二进制代码，但它只使用了四位的前三位，即Q_{1A}、Q_{2A}和Q_{3A}。操纵位置在停车位置时，移位寄存器被清零，即Q_{1A}、Q_{2A}、Q_{3A}和Q_{4A}均为“0”状态。

首次正车启动，当达到时间启动整定值时，4C－9时钟端将获得正跳变，使Q_{1A}由“0”变“1”信号，这表示把第一次启动状态记忆下来；若首次启动失败，也就是说，由于某种原因(如点火失败)使已经超过了RPM2的转速又跌落下来，引起第二次启动过程，当主机转速又一次达到RPM2转速时，4C－9也又一次获得正跳变，使Q2A由“0”变“1”信号，但Q1A并未变化，仍为“1”信号；若第二次启动仍遭失败，则启动控制电路将执行第三次启动偿试，同理电路亦会自动地把第三次启动次数记入Q3A，且等于“1”。

5)重启动控制单元电路

它由D触发器5D、非门6D和或门4B组成。

(1)第一次启动和第二次启动

当操纵手柄离开停车位置开正车时，由于非门6D－4＝“0”，因此，在手柄向正车位置移动的一瞬间，D触发器5D－11时钟输入端获得由“0”变“1”的正跳跃，使5D－13＝“0”；又因为目前未曾发生应急操纵，所以或门4B－11端子输出“0”信号，这表示上述启动过程为非重启动档。

若第一次启动未获成功要进行第二次启动，由于5D－11端子未发生任何跳变，而5D－8

和 5D－10 端子均为“0”信号，因此 5D－13 端子仍为“0”信号，同理 4B－11 也不会变化，仍等于“0”信号。

总之，第一次启动和第二次启动均属非重启动档。

(2)第三次启动

当进行第三次启动时，由于在此以前移位寄存器 4C—4 端子已输出“1”信号，这个“1”信号又被送到 D 触发器 5D－8 置位输入端，因而 5D－13 输出“1”信号，通过或门 4B 使 4B－11 端子输出“1”信号，这表示第三次启动要执行重启动档。

(3)应急运行

若有应急运行发生，即 EM. RUN(H)＝“1”，则 4B－11 端子输出为“1”信号，;这说明应急运行也属重启动档。

(4)操纵手柄从正车全速迅速拉到倒车位置

操纵手柄从正车拉到倒车位置，途中必须经过 STOP 位置，这一动作对 D 触发器时钟端子 5D－11 有何影响呢？手柄正车全速位置时 5D－11＝“1”，手柄经过 STOP 位置时，5D－11 端子出现由“1”变“0”的负跳变，但手柄经过 STOP 位置又拉向倒车某位置，于是 5D－11 端子又发生了从“0”变“1”的正跳跃。

由于操纵手柄从正车全速位置拉到倒车位置，所需时间极为短暂，而正在运行中的主机存在惯性，主机转速只能慢慢降低，于是非门 6D－4 端 子仍为“1”信号。故在执行从正车全速拉到倒车位置命令时，在 D 触发器 5D－11 时钟端发生了从“0”变“1”的上跳沿作用下，使 5D－13 端子输出“1”信号。

它说明，在执行从正车全速迅速拉到倒车位置命令时是使用重启动的第三个条件。

6)启动时间过长及三次启动失败记忆单元电路

它由 D 触发器及延迟电路及与非门等组成。操纵手柄在停车位置时，D 触发器 5D－4 复位端子接收到“1”电平信号，于是 5D－1 端输出“0”信号。

(1)启动时间未超过整定时间

当操纵手柄离开停车位置移向正车位置时，经换向完成后，把 3MPa 启动空气压入气缸，使静止的主机开始转动，直到主机转速达到点火转速。我们把主机从停止状态，经启动阶段，达到点火转速所需时间定义为启动时间。通常正常情况下，主机的启动时间约 3S 左右。若启动时间远远超过 3S，则认为主机启动系统存有故障，因而启动时间过长是衡量启动故障的有用指标之一。通常启动过长时间被整定在 6～20S 之间，若启动时间未超过整定时间，则与门 2D－11 端子输出“0”信号。

(2)启动时间超过整定时间

若启动时间超过整定时间，则引起施密特触发器 4D－10 输出端子由“1”变“0”信号，使与门 2D－11 端子输出“1”信号。

7)启动故障输出单元电路

该电路比较简单，如图 9.4.3－16a)右上角所示，它由或门 4B 和非门 2E 构成。

输入信号有：启动空气压力过低“1”信号；启动时间“1”信号；三次启动失败“1”信号。

输出信号有：启动故障“1”信号；启动故障“0”信号。根据实际需要选用这两个输出信号中的一个。

由图可知，只要发生三个启动故障的任何一个，均可输出启动故障信号。

8)停车单元电路

停车单元电路更为简单，如图 9.4.3－17(3)所示。它由 7 个输入信号的或非门 1E 及非门 2E 组成。

输入信号有：判别转向(若车令和凸轮轴位置相符，则表示当前主机转向正确)信号 WD(H)；判别转向(若车令和螺旋桨旋转方向相符，则表示当前主机转向正确)信号 WR(H)；操纵手柄置于停车位置信号 GO(L)；主机故障停车信号 SHD. STOP(H)；启动故障停车信号 STARTF. STOP(H)；超过启动转速信号 AB. RPM2(L)；外加停车信号 EXT. STOP(H)。

以上 7 个输入信号之中，只要出现一个"1"信号，即输出 STOP(H)停车信号，这个 STOP(H)"1"信号送给停车电磁阀，使其励磁线圈接通工作，通过正、倒车电磁阀，控制高压油泵停止供油。

2.4 转速测量电路

在主机遥控系统中转速测量电路是一个十分重要的控制环节。因为主机遥控系统工作过程中有许多控制转折点都是靠当前主机转速信息来决定的。

转速测量电路由两部分组成，即转速检测器和转速信号转换器。

2.4.1 转速检测器

转速检测器的结构如图 9.4.3.17 所示。齿轮安装在主机大轴上，并带动它旋转。转速检测器基于电磁作用原理，当齿轮旋转时，由于电磁作用，使线圈两端感应出一串脉冲信号。齿轮旋转越快，感应出的脉冲数目亦越多，它们之间呈线性关系，当然输出的一串脉冲信号还不能直接拿来度量转速大小，通常需要经过转速信号转换器，把脉冲量转速信号转换为用模拟量表示的转速参量。

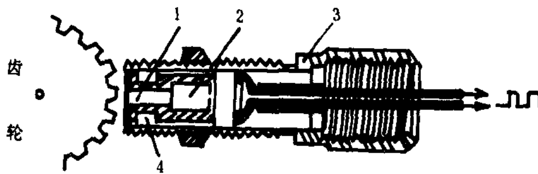


图 9.4.3－17 转速检测器

1—极片；2—永久磁铁；3—罩壳；4—线圈

2.4.2 转速信号转换器

转速信号转换器电路的结构如图 9.4.3－18 所示。图中电子元件频率/电压转换器集成块(LM2907)的作用，就是把不同频率的脉冲转换成电压信号，输入/输出呈线性关系。直线斜率由 LM2907 外接电阻、电容决定。

为了鉴别主机的正反转，本电路使用了两个转速检测器输入端子，即 PULSE A 和 PULSE B，要求这两个检测器安装位置上相差半个齿距；输出端子也安排了两个，即 PULSE I(转速信号)和 PULSE I′(转向信号)。

必须指出的是：输入端 DC. RPM18c 和 DC. DIRECTION22c 是选用测速电机做转速检测器时使用的输入端子，这是 NORCONTROL 公司为了方便用户的选用而设计的第二套测速输入端子。

1)转速信号转换原理

由于两个检测器安装位置上相差半个齿距，因而 PULSEA 和 PULSE B 相位上也就相差 90°。

(1)PULSEA 脉冲串经 RCπ 型滤波器和 10D 迟滞比较器整形为标准脉冲串，送至 LM2907 输入端子 1，通过它转换为模拟电压信号，由端子 5 和 10 输出。

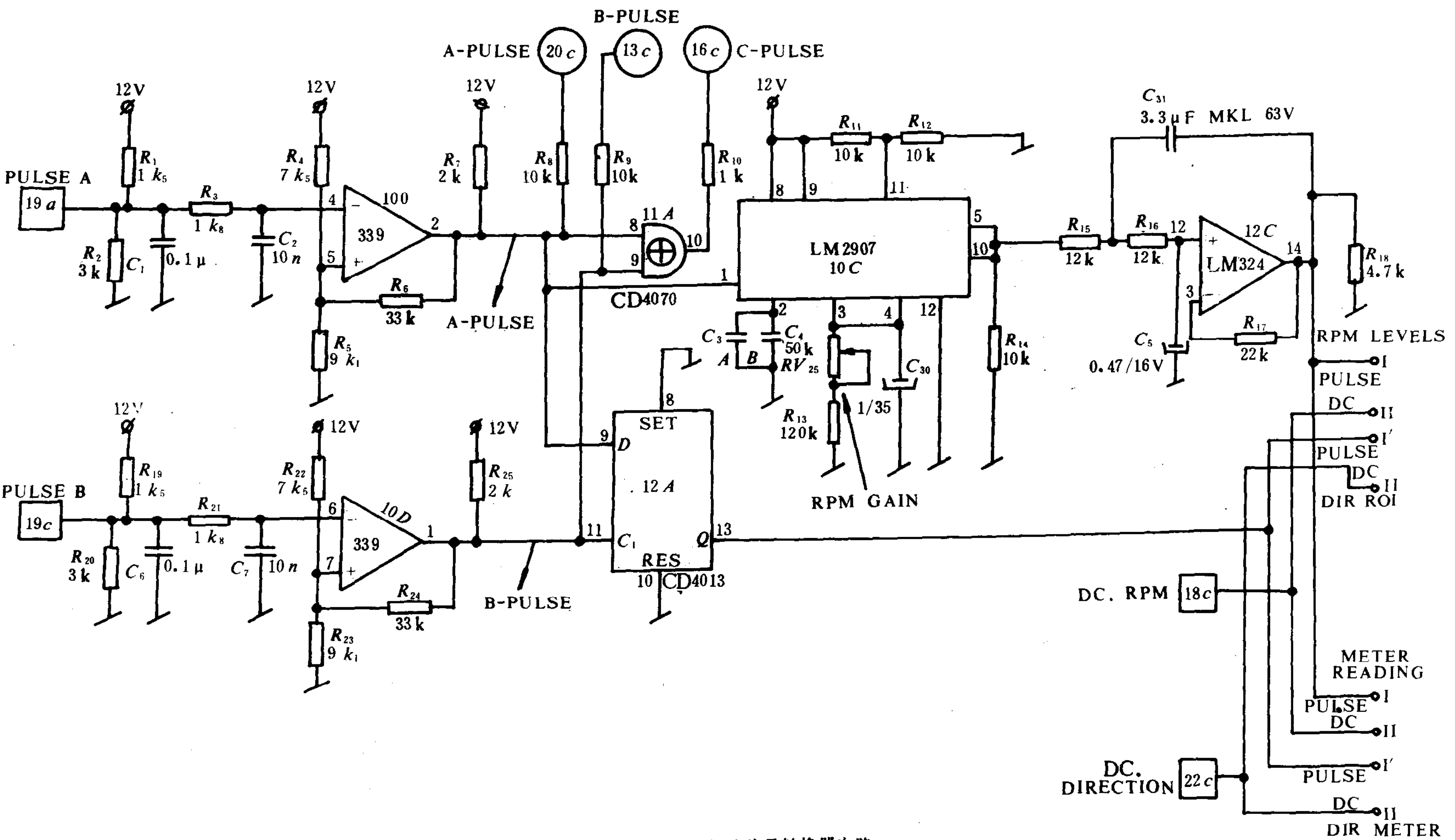


图 9.4.3—18 转速信号转换器电路

(2)为了使 LM2907 输出的电压信号更为平滑，其后又串入一个有源低通滤波器。有源滤波器电路的中心器件为运算放大器 12C(LM324)，从理论上来说这种有源滤波器电路，属于由压控电压源电路构成的二阶低通滤波器。因此从 12C—14 端子输出的 RULSE—I 信号是比较平滑的。

2.4.3 主机转向鉴别电路

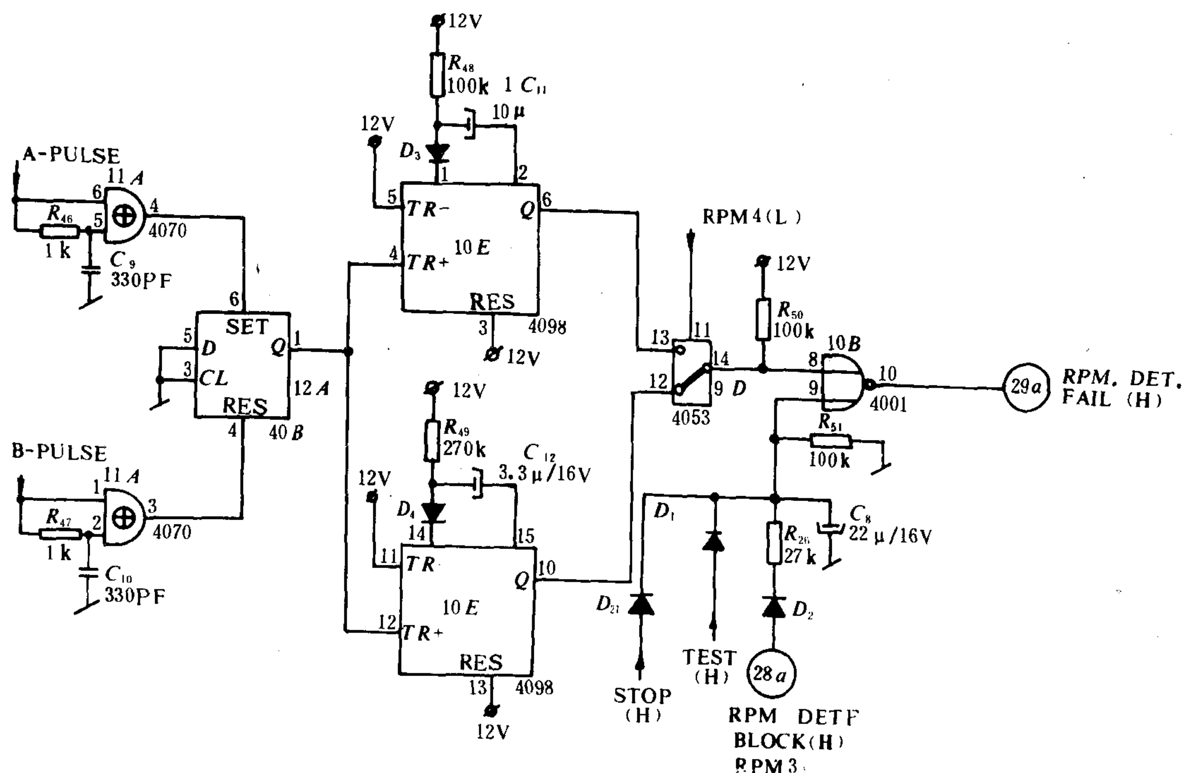


图 9.4.3-19 转速检测器故障电路

转向鉴别电路，由 RCπ 型滤波器、比较器 10D 和 D 触发器 12A 组成。

输入信号为相位上滞后于 PULSE A 的 PULSE B 脉冲串，经 π 型滤波器和比较器整形后，送到 D 触发器 12A—11 输入端子。D 触发器另一输入端子 12A—9 和 A—PULSE 相连，12A—13 输出端子的状态决定于主机的正、反转状态。

1)正转时

由于 A—PULSE 超前 B—PULSE90°，因此 D 触发器 12A—13 输出"1"电平信号。

2)反转时

由于 A—PULSE 落后 B—PULSE90°，因此 D 触发器 12A—13 输出"0"电平信号，正好和正转时相反。

2.5 转速检测器故障电路

转速检测器故障电路由 2 个异或门 11A(CD4070)、D 型触发器 12A(CD4013)、双单稳触发器(CD4098)、电子开关 9D(CD4053)及或非门 10B(CD4001)等电子元器件组成如图 9.4.3—19所示。

电路的输入信号有：A—PULSE 转速检测器 A 脉冲信号；B—PULSE，转速检测器 B 脉冲信号；STOP(H)，停车控制信号，停车时禁止检查检测器故障；TEST(H)，模拟试验控制信

号，做模拟试验操作时，必须禁止检查检测器故障；RPMDET. F. BLOCK(H)RPM3，小于RPM3禁止检查检测器故障控制信号；AB. RPM4(L)，大于RPM4控制信号。

电路的输出信号有：RPM. DET. FAIL(H)，当它等于"1"信号时，表示检测器存在故障；当它等于"0"信号时表示检测器工作正常。

下面分四点来讨论转速检测器故障电路工作原理：

1)RPM3<n<RPM4　　(n＝主机实际转速)

A－PULSE 脉冲信号，经 $R_{46}C_9$ 积分延迟，从异或门 11A－4 端子输出波形如图 9.4.3－20 所示，图中表明 A—PULSE 脉冲信号经异或门电路变换成两倍于 A－PULSE 频率的脉冲信号。

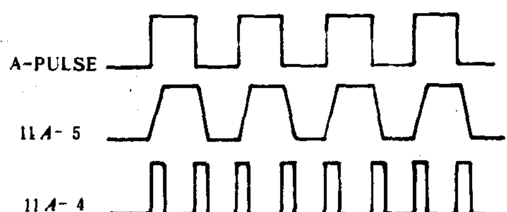


图 9.4.3－20　异或门 11A－4 端输出波形

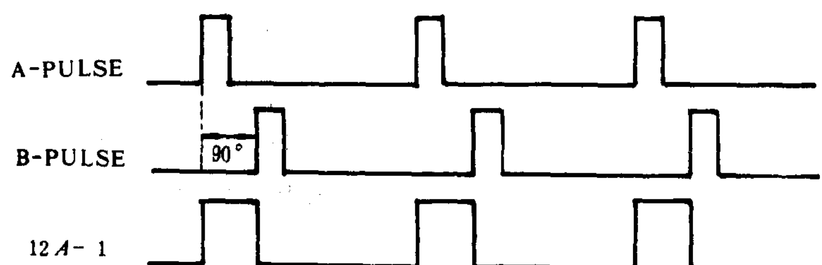


图 9.4.3－21　D 型触发器 12A－1 输出波形

同理，相位上落后于 A－PULSE 的 B－PULSE 脉冲信号，反映到异或门 11A－3 端子的输出波形基本上和 11A－4 端子相同，仅在相位上落后它 90°。

异或门输出端子 11A－4 和 11A－3 分别接到 D 型触发器输入端 12A－6 和 12A－4，由于 D 型触发器(CD4013)的 D 和 CL 端子均接地，于是可得其 12A－1 输出端子波形如图 9.4.3－21 所示。

波形告诉我们，它既含有 A－PULSE 信号又包含有 B－PULSE 信号两种成份。

由于转速 n<RPM4，因而电子开关端子 9D－13、14 接点相通，此时双单稳触发器端子 10E－6 和电子开关端子 9D－13 相连，这说明转速检测器电路的上部单稳触发器投入工作。

它工作于再触发状态，输入端子 4(TR＋)接受 D 型触发器输出端子 12A－1 发来的一串正脉冲信号，假定检测器工作正常，则 10E－6 端子始终输出"1"信号，经或非门 10B 逻辑运算后得 10B－10 端子输出"0"电平信号，表示检测器工作正常。

假定检测器工作异常，反映到12A－1端子脉冲串信号杂乱（严重的无脉冲信号，或可能发生缺少若干个脉冲信号），，则10E－6端子有可能出现1次或多次“0”信号。或非门10B有两个输入端子8和9，端子9受STOP(H)、TEST(H)和RPM DET.F.BLOCK(H)控制，我们暂且假定它们都为“0”电平信号，这样使或非门10B逻辑运算得由“0”变“1”电平信号输出。我们把RPM DET.FAIL(H)＝“1”称为检测器发生故障信号。

2)n＞RPM4

n＞RPM4表示电子开关状态发生切换，即9D－12、14接点相通，此时检测器电路下部单稳触发器10E投入工作，以后的工作过程和上述相同，这里无须赘述。

3)检测器电路使用两个单稳触发器的原因

由图9.4.3－18看到，这两个单稳触发器外接元件略有不同。我们知道单稳触发器输出脉冲宽度$T_X=\frac{1}{2}R_XC_X$，因此上部单稳触发器T_X大于下部单稳触发器T_X。这样安排可使上部单稳触发器大T_X要和小于RPM4转速匹配；而下部单稳触发器小T_X要和大于RPM4转速相匹配。

4)STOP(H)、TEST(H)和RPM DET.F.BLOCK(H)三控制信号作用

(1)STOP(H)

当操纵手柄处于STOP位置时，说明主机停转，这根本谈不上检查检测器故障，所以必须使用STOP(H)＝“1”信号来实现禁止检查检测器。

(2)TEST(H)

在作模拟试验操作时，通常都是在停车情况下进行的。所以此时再来检查检测器故障也就无意义了。

(3)RPM DET.F.BLOCK(H)

这是第三个禁止检查检测器故障控制信号，这个控制信号的物理意义是说：当转速小于RPM3时，检测器故障不于检查。

2.6 转速控制电路

AC－III主机遥控系统的转速控制电路部分，主要用来完成按车令发送预先安排好的转速给定值变化规律的功能。调速功能是由PG调速器来完成的，也就是说，PG调速器的给定值变化规律是由转速控制电路部分提供的。

2.6.1 结构框图

转速控制电路结构框图，如图9.4.3－22所示，它由如下几个部分组成：

驾驶室操纵手柄发令装置；临界转速限制电路(CRITICAL RPM LIM.)；故障减速限制电路(MANUAL RPM LIM.)；手动转速限制电路(STOPLIM)；应急停车限制电路(EMERG.STOP)；热负荷限制电路(THERMAL LIM)，包括出港限制电路(L.PORT LIM.)和进港限制电路(E.PORT LIM.)；最低转速运行限制电路(MINIMUM RUN)；倒车最大转速限制电路(MAX.AST.LIM.)；加速度限制电路(ACCELERATION LIM.)；转速限制器(RPM LIMITERS)；正常启动(包括时间启动)油门限制电路(N/T START FUEL LIM.)重启动油门限制电路(HEAVY START FUEL LIM.)；E/I转换电路；转速给定装置；PG调速器；转速检测器A和B；转速信号转换器电路；RPM指示表头。

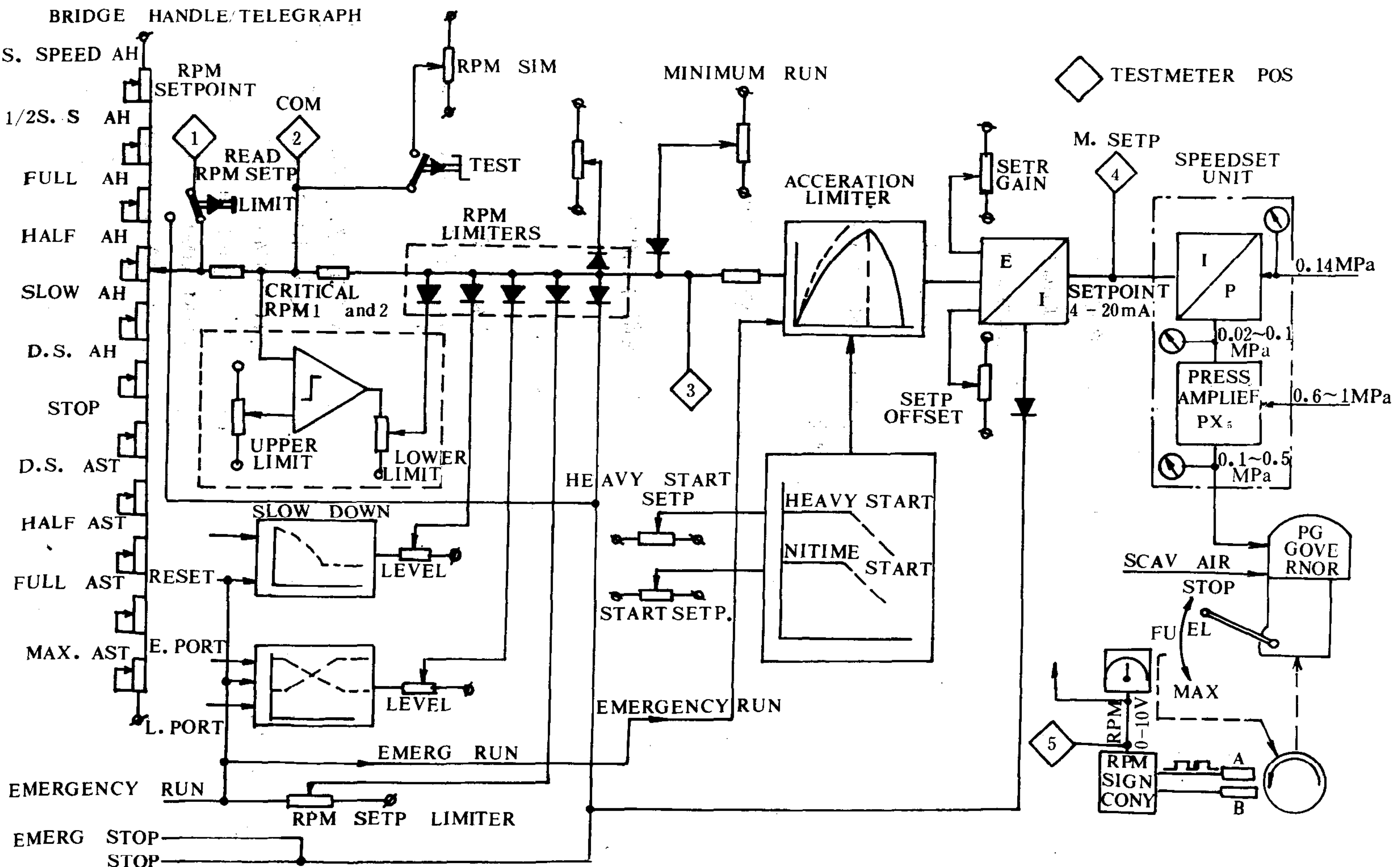


图 9.4.3—22 转速控制电路结构框图

2.6.2 驾驶室操纵手柄发令装置

AUTOCHIEF－III 主机遥控系统，转速由驾驶室面板上的操纵手柄加以控制。手柄在两个方向从微速至满速的各档控制。若将手柄反时针转 90°，便能实现无级变速控制，能从最低转速至海上满速连续控制。通常适用于海上航速环境，港内航行一般不使用无级变速控制。发令装置的输出电压控制在 2～7V 范围内。

2.6.3 从发令装置到 PG 调速器给定值输入工作过程

当操纵手柄由停车位置推向正车港内满车位置时，PG 调速器的输入给定值并不能马上达到满速给定值，需要经过预先安排好的转速给定值规律性变化过程，方能达到满速给定值。这个过程首先是启动阶段的给定值变化过程，正常启动油门限制电路送出启动供油量，给定值变化规律如图 9.4.3—23 中的线段 1 所示；其次是启动阶段结束后进入加速阶段，这一阶段由加速度限制电路起作用，给定值按图 9.4.3—23 中的线段 2 变化规律进行。

当离港进入大海航行时，驾驶员应按离港程序操纵主机，只要撤下离港按钮开关，再将手柄反时针转 90°，然后推手柄到海上航行转速（137r/min）位置。但转速给定值并没有立即上升到 137r/min 需经过热负荷限制器，等待约 40min 后才能达到 137r/min 的给定值，其变化规律如图 9.4.3—23 中线段 3 所示，它是一个慢加速过程。

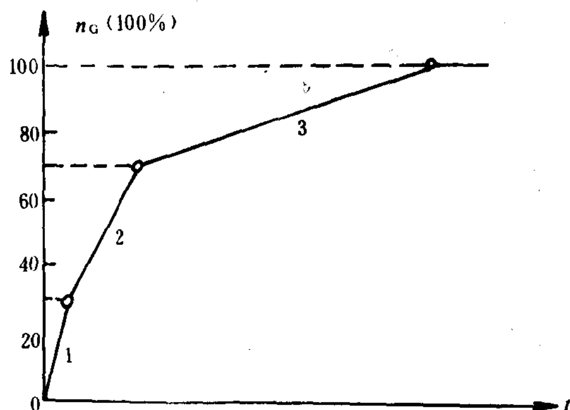


图 9.4.3—23 给定值变化过程曲线

由于 PG 调速器的给定值输入是气压信号，因此转速控制电路输出 4～ 20mA 的电流信号，必须通过电流/气压变换器和升压器转变成 0.1～0.5MPa 的压力信号，再送入 PG 调速器给定值输入端。

3 SBC－7 型主机遥控系统

SULZER Bridge Control System 即 SBC－7 型主机遥控装置是 SULZER 公司专为 RND、RND－M 和 RL 型低速柴油主机配套设计的遥控设备，它可以在机旁进行手动操作，在集控室实现远距离操纵、在驾驶室进行自动遥控操作。SBC－7 是以电子技术和气动技术为手段进行设计的。在驾驶室操纵台上设有包括遥控车钟、微调给定、自动负荷程序控制以及信号联系和故障显示在内的通用设备。在操纵台内还设有驾驶室下达遥控指令所必须的遥控单元（EU）和电/气信息转换单元（EPC）等设备。在集控室则主要依靠气动技术，它以标准设计的小型气动阀件对指令信息进行逻辑判断和处理，使在集控室也可以对主机实现远距离操纵。

从总体功能来看，SBC－7 型主机遥控装置是三个密切相关的系统组成的，即车钟系统、遥控系统以及应急安保系统。各系统都是由独立的电源和应急电源进行供电的。

SBC－7 型主机遥控装置的全部设备分别安装在驾驶室、舷侧、集控室以及机侧，其布局情况见图 9.4.3－24 所示。

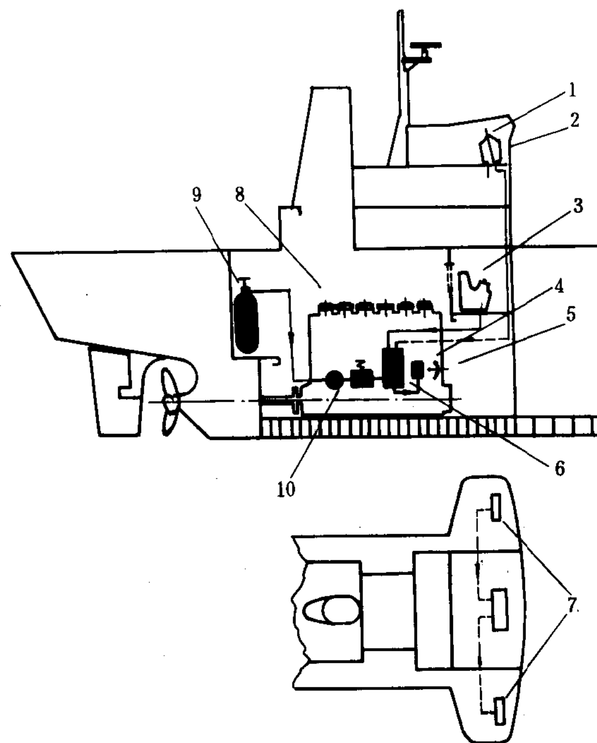


图 9.4.3－24 遥控系统分布图

1—驾驶室操纵台；2—电子遥控部分；3—集控室操纵台；4—PG－A 型调速器；5—机侧操纵设备；6—气动逻辑控制箱；7—舷侧操纵设备；8—柴油主机；9—3MPa 压缩空气储气瓶；10—700kPa 气源部分。

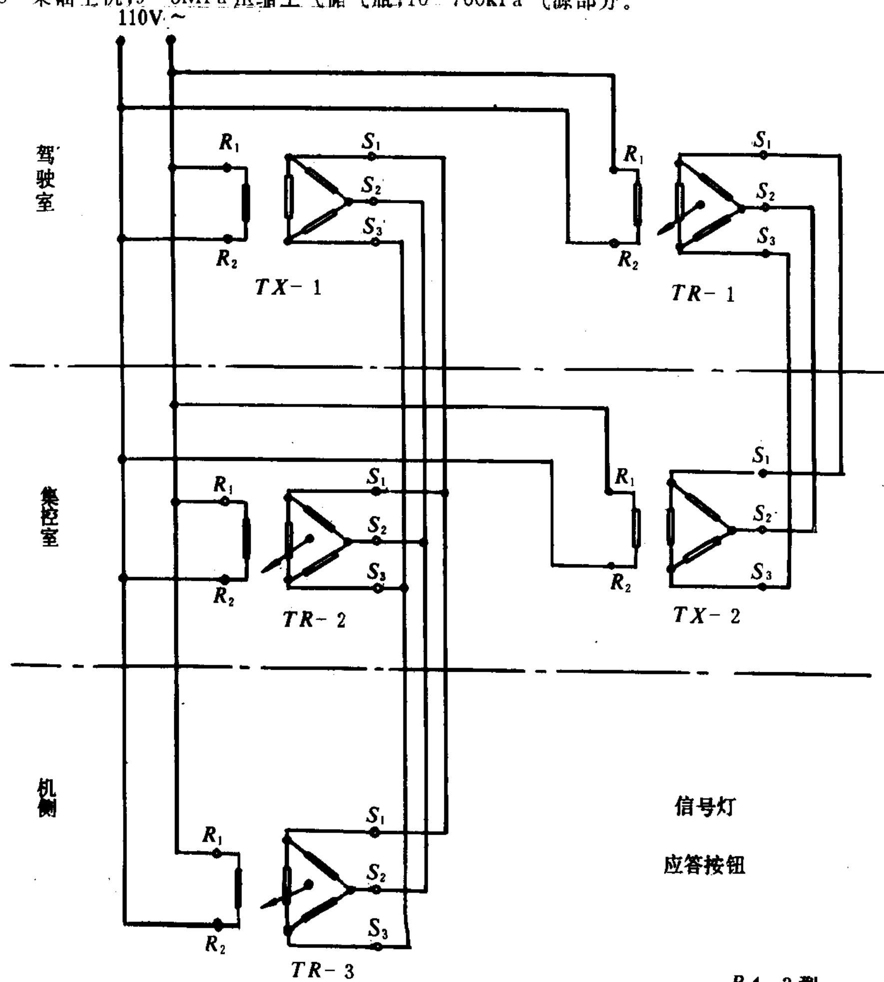


图 9.4.3－25 车钟系统工作原理图

3.1 车钟系统

SBC－7 型主机遥控系统是以自整角机来实现驾驶室同集控室和机侧之间车钟信息联系的，图 9.4.3－25 给出了 BA－2 型车钟系统的工作原理图。图中 TX 为发送信息部分，TR 为信息接收部分。其中驾驶室同集控室之间是通过两组自整角机，即 TX－1、TR－2 以及 TX－2、TR－1 来进行车钟信息联系的。驾驶室同机侧之间只是一组自整角机，即通过 TX－1、TR－3 来实现车钟信息联系。可以看到：TR－2 和 TR－3 这两处的车钟接收部分是并联连接的，这对发送车钟指令是很有利的。

3.2 遥控系统

SBC－7 型主机遥控系统的组成情况可以用图 9.4.3－26 所示的结构组成框图来描述，这是一个同 SULZER－RL 型低速柴油主机配套使用的电子－气动式遥控系统的实例。

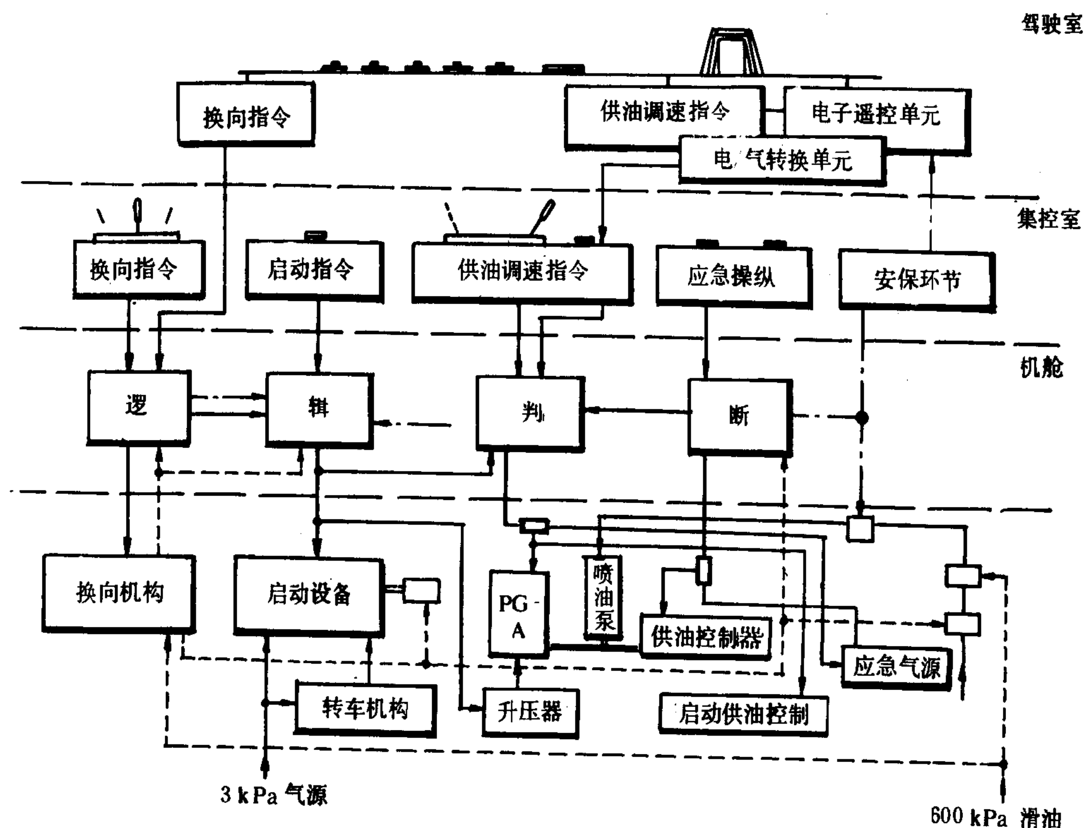


图 9.4.3－26

图 9.4.3－27 是该遥控系统的总图（见插页）。

3.2.1 集控室远距离操纵

图 9.4.3－27、28 指出：不论是换向、启动、供油调速控制以及断油停车，都是由气动控制来完成的。

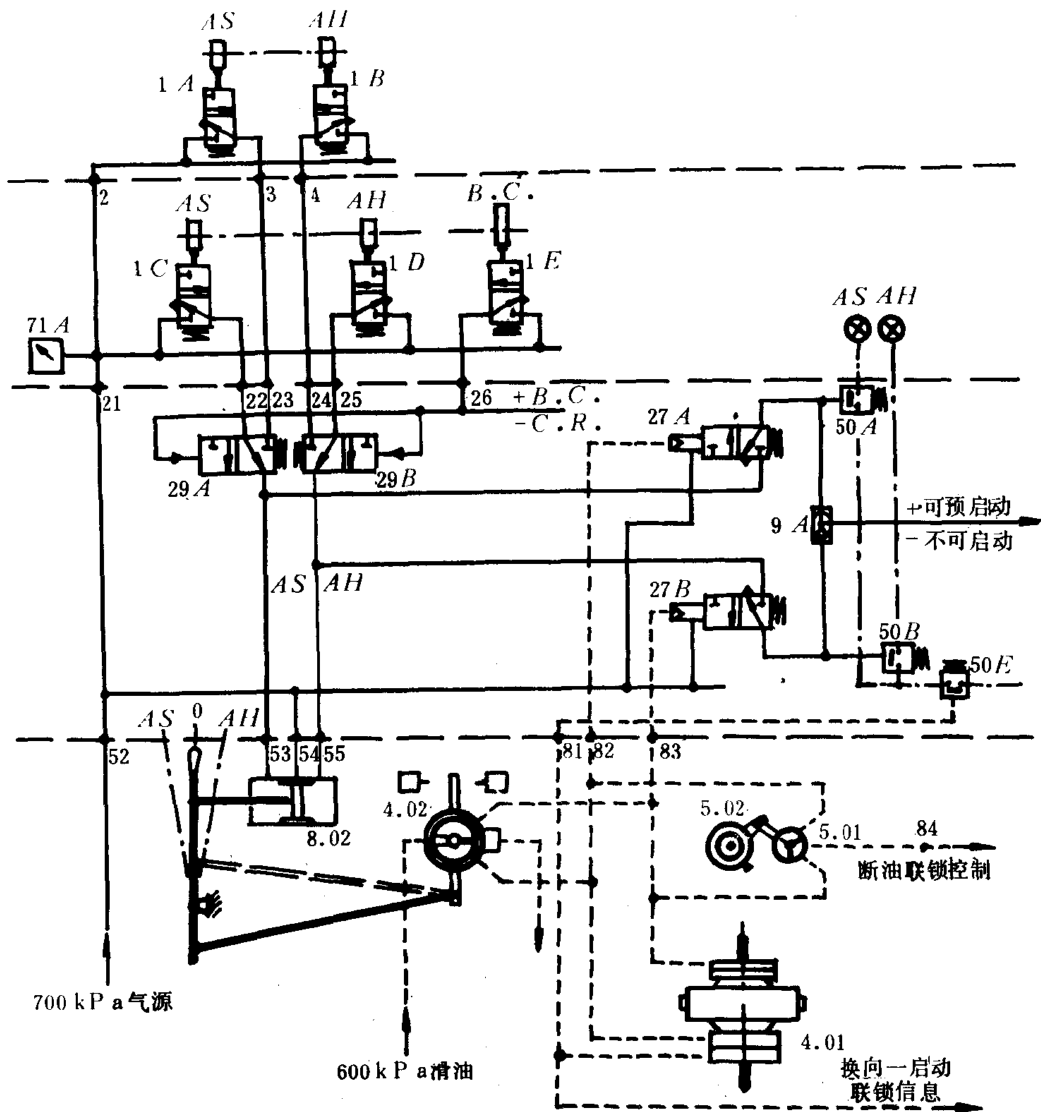


图 9.4.3－28 集中控制室遥控

在集控室：回令车钟就是下达转向(换向)指令的发送环节，这个转向(换向)指令将通过指令阀 1C 或 1D 以及气动逻辑部分给主机换向机构发送换向操纵指令，使主机操纵系统符合转向要求。如果主机运行方向同转向指令要求不一致或是主机正在进行换向，那么主机必须处于断油和不允许启动的连锁状态。

启动指令是在判断换向已经完成以后通过启动操作按钮给出的。该指令在经过气动逻辑部分包括多次启动控制在内的控制以后，才下达执行压缩空气启动指令的。它一方面通过主机的启动设备使主机立即进入压缩空气启动。此外，它还使同 PG－A 型调速器配套使用的升压器处于工作状态，同时还要通过供油调速系统给定启动供油控制。

只要用压缩空气启动主机并达到启动转速时，就可以操作调速手柄发送供油调速指令气压信号。该指令气压信号经过气动逻辑部分，包括临界转速自动避开环节在内的控制以后才送

到 PG—A 型调速器。

如果轮机值班人员给出紧急停车或应急操纵指令时，能立即实现断油停车或使主机进入应急启动状态。

如果出现主轴承滑油压力过低、遥控压缩空气失压、主机超速等故障时，安全保护系统将通过对燃油喷油泵的控制而使它进入断油工作状态，对主机实现安全保护。

3.2.2 驾驶室自动遥控

在进行驾驶室自动遥控的时候，必须满足遥控系统对电源及气源的要求。

图 9.4.3—26、27 指出：在进行驾驶室自动遥控时，通过操作调速车钟手柄可以给出所有关于主机换向、启动、供油调速、断油停车等指令。

对于 RL 型的 SULZER 低速柴油机来讲，其换向指令是由车钟调速手柄及控制凸轮、指令阀 1A 或 1B 向气动逻辑单元发送的，见图 9.4.3—28 所示。如果主机换向到位，则图中液压管路 82、81 或 83、81 就有要求换向和已经换好向的液压油信息，这时不仅双向止回阀 9A 会给出可预启动的气压信号，而且气动逻辑单元中的压力切换开关 50A、50E 或是 50B、50E 也将立即给出可预启动的指令电信号。

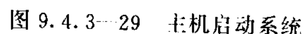


图 9.4.3—29 主机启动系统

主机的遥控启动尚有是否已经换向到位的连锁控制，如果换向已经到位，已具备可预启动的工作条件，只要启动电磁指令阀 26B 进入受控状态，则启动指令气压信号通过管路 56 使主

机立即开始压缩空气启动操作，见图 9.4.3—29 所示。在这个控制气路上，启动停止电磁执行阀 26A 是否受控是由主机是否已经达到启动转速来决定的，该阀受控以后，主机启动设备会因管路 56 失压而立即中止压缩空气启动。

此外，驾驶室自动遥控的启动控制同样会受到由 12A、58A、27D 气动元部件组成总启动时间控制环节的限制。只要阀 27D 控制端的压力达到它的切换值而进入受控状态，那么启动指令就会自动撤消，主机也就不能再预启动了。

供油调速的遥控指令可以分别通过气动和电子控制的信号变化协同地给出供油调速气压指令，这个指令被引导到主机的供油调速设备上去，见图 9.4.3—30 所示，

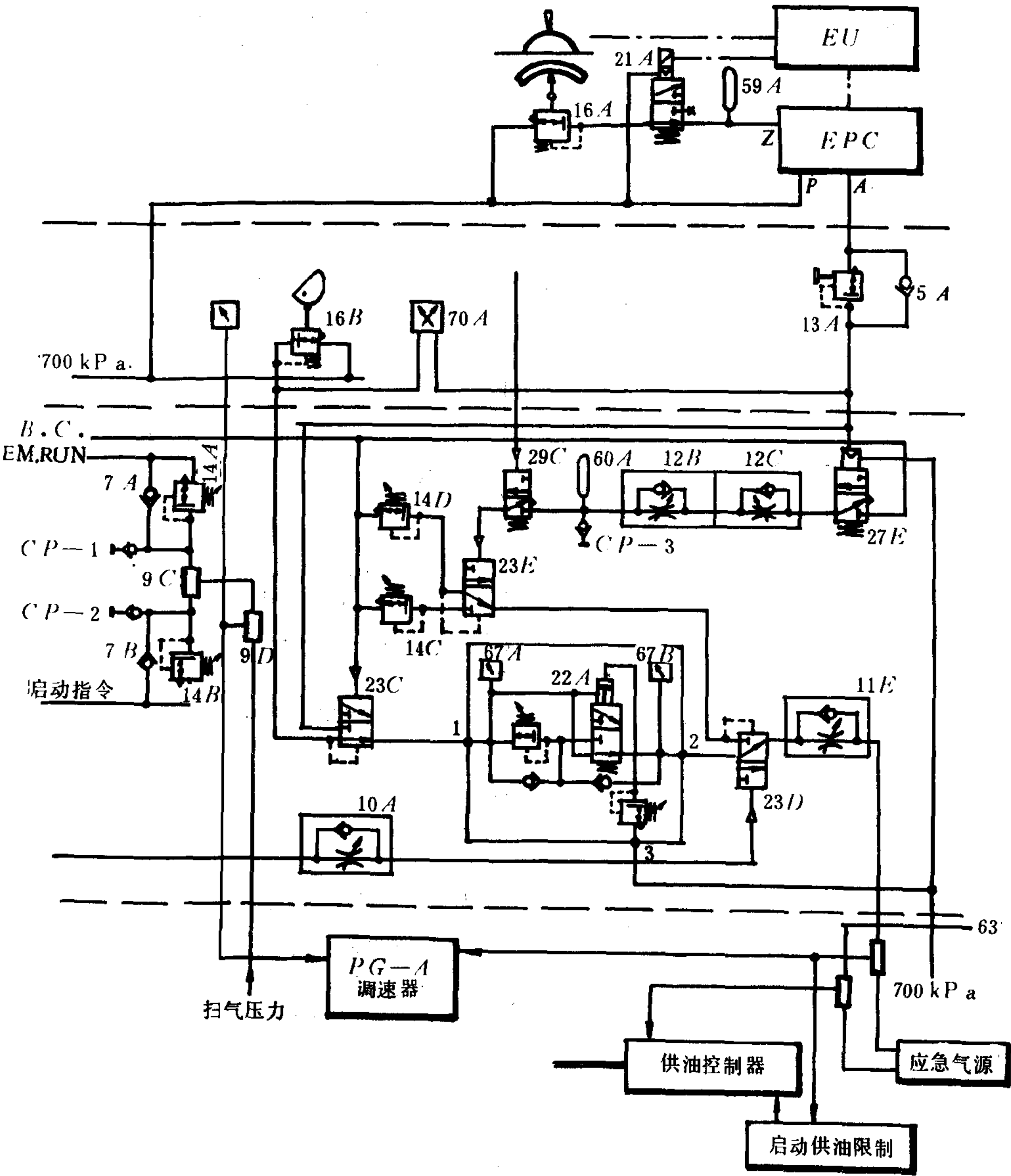


图 9.4.3—30　主机启动调速系统

在港内行驶时，遥控车钟可以通过控制凸轮、精密调压阀 16A 及 21A、59A、电/气转换单

元(EPC)给出相应于D·S./S·/H·/F·各档的供油调速指令气压信号，这个气压信号从接头A发送出去。车钟调速手柄还可以把各档相应的电信号加到电子遥控单元(EU)，如果需要还可以通过微调按钮要求电子遥控单元在各档转速之间给出连续的微调控制。在海上航行时，可以通过自动负荷程序控制按钮和电子遥控单元(EU)根据预选转速要求自动给出负荷程序控制，由电子遥控单元 (EU)给出的电信号经电/气转移单元(EPC)从接头A发送出相应的供油调速指令气压信号。

图9.4.3—30表明：该供油调速指令气压信号将通过气动控制系统和PG－A型调速器来给定主机的转速。

在这个气动控制系统中还设有以下各限制环节。

1)由阀14B、7B、9C、9D给出通常情况下的启动供油限制。

2)由阀14A、7A、9C、9D给出应急操纵时的燃油供油限制。

3)由阀14D给出通常情况下启动或换向后的供油调速指令，这时阀23D受控、23E是不受控的。

4)由阀14C给出应急操纵时正车换成倒车过程中的启动供油调速指令。这时阀23D和23E都处于受控状态。

5)经由阀9D还可以给出根据扫气压力高低来限制供油调速的上限。

6)由阀件17A、17B、22A等给出临界转速自动通开的限制。

7)由阀13A给出轮机长供油调速的上限限制。

3.2.3 电子遥控单元(EU)

电子遥控单元(EU)是驾驶室实现自动遥控的重要设备，它的主要功能有以下三项。

1)在压缩空气启动过程中可以根据主机转速是否达到启动转速而给出启动成功的指令，这时应立即切断启动压缩空气。

2)用来解决各种转速给定的指令发送任务，其具体的调速方式有以下三种。

(1)根据遥控车钟指令给出相应于D·S·/S·/H·/F·各档的电指令信号。

(2)在车钟处于D·S·/S·/H·/F·位置时，用“FS—UP”或“FS－DOWN”按钮，连续地发送加(减)车微调指令信号。每档都设有微调上(下)限极限值，如果达到这一极限值，微调指令即自行中止，相应的发光二极管也就熄灭了。

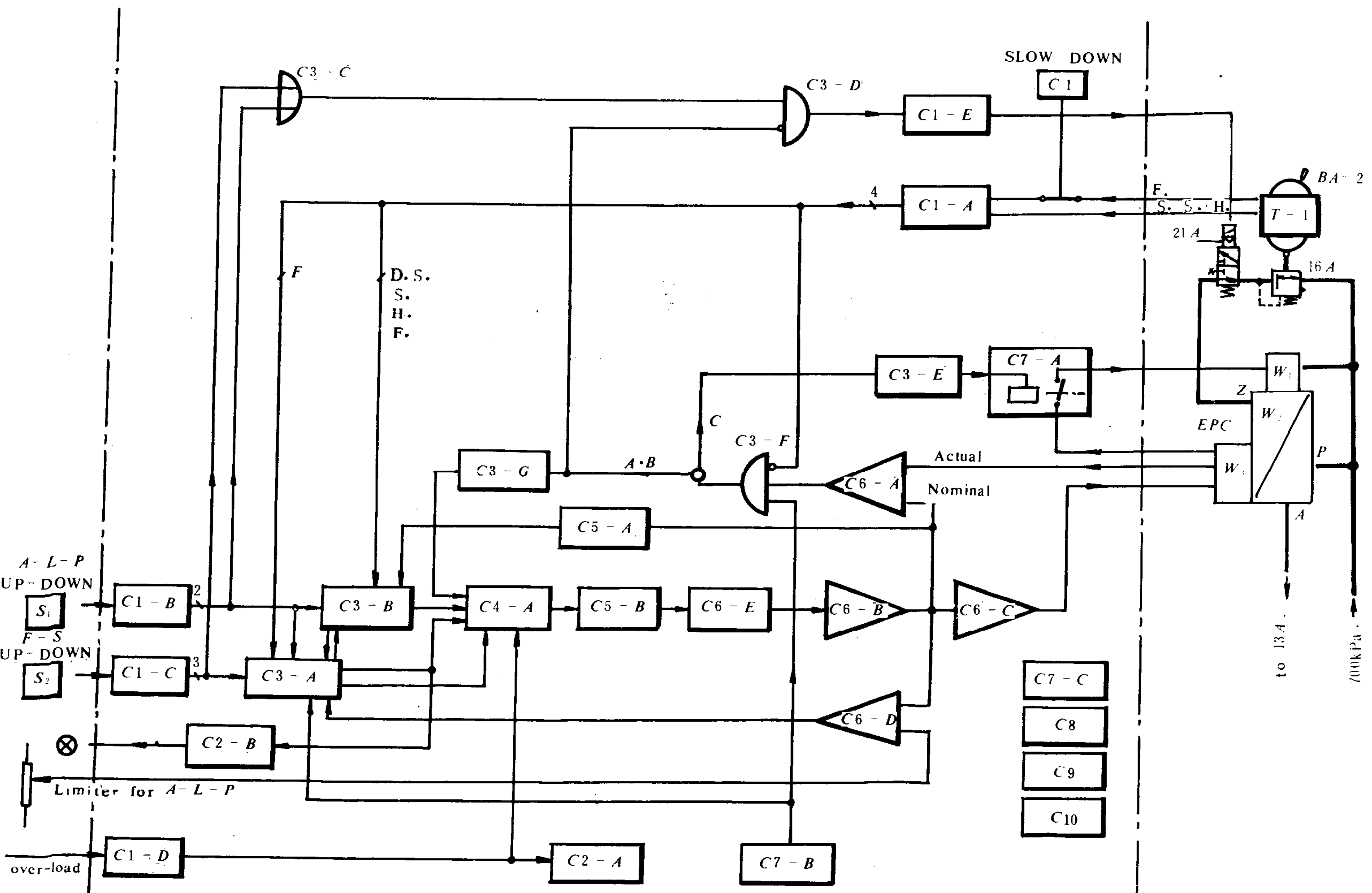
(3)当遥控车钟处于F·位置时，用“ALP－UP”或“ALP－DOWN”按钮以及转速预选器，间歇地发送自动负荷程序指令信号。在执行自动负荷程序控制过程中，会在相应的按钮部位给出闪光显示，直到转速达到预选要求时为止。此外在执行过程中还可以根据需要通过“ALP－OFF”按钮给出停止执行负荷程序的指令。

在发送转速给定的指令过程中，如果接到自动减速的故障信息时，主机遥控系统将自动切换成减速运行的工作状态。

3)在主机处于超负荷工作状态时，经延时确认以后遥控系统将给出主机超负荷的故障报警信号。

电子遥控单元(EU)的组成情况及其工作原理可参阅图9.4.3－31所示。该单元拥有C1～C10十块插件板，每块插件板的作用情况分别说明如下。

C1——是一个信号输入单元，凡是值班驾驶人员给出的各种调速指令以及主机超负荷信号，都首先要通过该输入单元中的继电器进行信号变换，以便为电子遥控系统提供必要的内部逻辑信号。



SLOW DOWN
C1
C3-C
C3-D
C1-E
C1-A
4
F.
S. S. H.
BA-2
T-1
21A
16A
F
D.S.
S.
H.
F.
C3-E
C7-A
W1
Z
W2
EPC
C
C3-F
A·B
C3-G
Actual
Nominal
C6-A
W3
P
A
C5-A
A-L-P
UP-DOWN
S1
C1-B
2
C3-B
C4-A
C5-B
C6-E
C6-B
C6-C
to 13A
700kPa
F-S
UP-DOWN
S2
C1-C
3
C3-A
C7-C
C8
C9
C10
C6-D
C2-B
Limiter for A-L-P
over-load
C1-D
C2-A
C7-B

图 9.4.3—31

C2——设有两个功能电路，一个是自动负荷程序加(减)车指示灯的显示电路(C2－B)，该指示灯的辉度是可调的。另一个就是主机超负荷延时报警控制电路(2C－A)。

C3——是电子遥控单元中对各种重要信息进行逻辑处理的重要环节，在众多信息中对于车钟指令(C3－F、G)、微调操作(C3－B)以及自动负荷程序控制(C3－A)这三项处理是具有重要意义的。此外与其密切相关的还有通过(C3－C、D)电路来确定电磁阀(21A)阀位切换的控制信息，使遥控指令得以协调地进行调速。

C4——针对微调调速和自动负荷程序控制分别给出加(减)车相应的计时脉冲基准信息。

C5——有两个功能电路，一个用来接受加(减)车计时脉冲触发信息，以使具有二进制编码的可逆计数器进行计数。另一个是微调上(下)极限值的控制判定电路，为了便于进行调试工作，它还附设上(下)极限值是否已经达到的灯光显示环节，上(下)极限值达到了，相应的发光二极管就会自行熄灭。

C6——该插件板负有重要的信息处理任务，在该插件板上设有以下四个不同功能的工作电路。

①(C6—E、B)是用来实现数/模变换的单元电路，它是这个插件板的基本组成部分。

经过数/模变换后的指令信息将直接被引向C5插件。该给定指令的加大(减小)变化将有助于判定微调调速是否已经达到其上(下)极限值了。

②(C6－A)是一个比较电路，它把实际供油调速指令同数/模变换得出的给定指令进行比较，其输出信号可以分成三组，即需要进行加车、减车以及已经处于稳定工况。

③(C6－D)也是一个比较电路。它把预选转速极限同数/模变换得出的给定指令进行比较，判断自动负荷程序控制是否已经达到预选的要求。

④(C6－C)是一个对给定值指令信息进行放大变换的电路。它的输出为(0～20)mA的直流电流，这个信息被引向电/气转换单元。

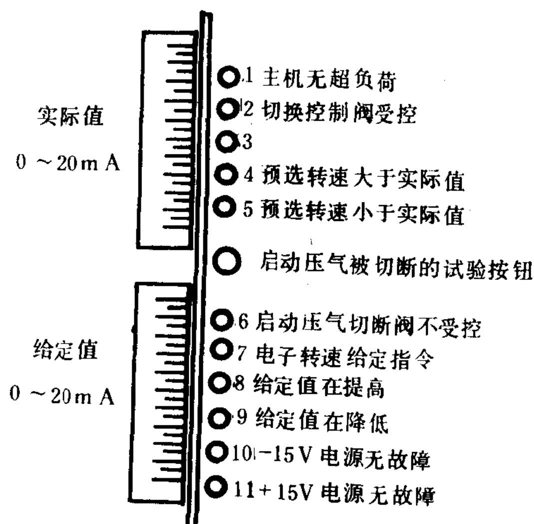


图 9.4.3 32

C7——除了安排起始同步脉冲信号发生电路和控制电磁阀的电路以外，还安排了26V～/－15V₌(稳压)和24V～/24V₌的电源线路。

C8——主要为电子遥控系统提供24V－/15V₌的稳压电源。

C9——该插件板主要设置了用于判断主机是否已经达到启动转速的一个临视电路，主机转速检测设备提供的脉冲电压信号被送到该监视电路。一旦启动成功，该监视电路就立即通过执行继电器给出有关“切断启动压缩空气”的指令信号，使主机顺利地从压缩空气启动转换成供油调速状态。

此外该插件板上还附设了经全波整流和稳压处理的24V直流电源。

C10——是一块专为临测用的显示插件板，SBC－7型主机遥控系统有关电子遥控单元

(EU)的一些重要参数都被汇集到这里，通过相应发光二极管及电流表给出有关的信息显示。该插件板反映有关信息参数的显示情况见图 9.4.3—32 所示。

这块插件板的重要意义不仅体现在监视方面，而且对于调试工作和故障查找工作也都是很有帮助的。

3.2.4 电/气转换单元(EPC)

图 9.4.3—33 示出 SBC—7 型主机遥控系统中驾驶室自动遥控电/气转换的结构组成及工作原理框图。它的作用就是配合车钟给定的遥控指令、微调以及自动负荷程序控制这三者给定 0～20mA 的电信号转换成 0～500KPa(0～5)bar 气压指令信号。这个转换单元是由电磁执行阀、气控调压阀件、反馈环节以及判定和给出加(减)车指令信息的判定线路等组合而成的。其各种典型工况的变换情况可归纳如下。

1)在港内航行时，值班驾驶人员可以通过驾驶室遥控车钟分别在 D·S·/S·/H·/F·各档给出主机转速的调速指令。这时电磁阀 21A 是不受控的。车钟调速手柄通过控制凸轮、精密调压阀 16A、电磁阀 21A、0.5l 气容 59A 把相应指令气压加到电/气转换单元的接头 Z。如图所示：这个指令气压信号将分别被引导到 1:1 气控调压阀和气压/线位移变换器(P/L)，其中：1:1 气控调压阀的输出信号通过接头 A 引导到供油调速气动控制系统，给定主机的转速控制。由气压/线位移变换器(P/L)所给出对应的位移量就加在差动变压的滑动铁芯上。差动变压器实质上是一个位移/电压转换环节，它要求 G1 发生提供 1kHz 电源。位移/电压转换环节所给出的电压再要经过电压/电流环节变换成反映实际输出量(0～20)mA 的直流电流。这个实际电流信号不仅要加到判定线路，而且还被输送到电子遥控单元(EU)中去，成为一个重要的反馈信号。

与此同时，驾驶室遥控车钟给出的操纵指令也要加到电子遥控单元(EU)，如前所述：(EU)是以(0～20)mA 的相应电流作为给定值加到电/气转换与单元中去的。

在以上情况下，判定线路将同时接受反映给定值和实际值之间互为相等的电流信息，因而它所控制的三个电磁执行阀都不会有额外的受控动作。

2)在港内行驶状态，如果要求在某一档(例如在 Half)作向上或向下转速微调调速时，值班驾驶人员可以通过操纵台上的微调操作按钮下达指令。这时电子遥控单元(EU)和电/气转换单元(EPC)协同工作，它就可以给出以下三种可能出现的调速工况。

(1)若按下“FS—UP”调速按钮，则电/气转换单元的输出接头 A 处的输出气压指令会逐渐连续地升高。如果按下“FS—DOWN”调速按钮，则 A 处的输出气压指令将逐渐连续地降下。

(2)如果在微调过程中不再要求微调操作，这时可以把相应的微调按钮释放，那么接头 A 处的输出气压指令将保持当时不再变化的气压指令值。

(3)如果始终按着微调按钮，那么 A 处输出气压指令的压强在达到 Half 档的上(下)极限值时，它将自动停止主机转速的微调操作。

从作用原理来看，只要按下微动调速按钮，例如“FS—UP”，则图 9.4.3—33 中的电磁阀 21A 立即受控，切断精密调压阀 16A 同电/气转换单元之间的气路联系，以使(EPC)转换单元可以正常地发挥作用。微调操纵之得以进行是因为加在判定线路上的给定值电流信息要大于实际值，而且该给定值还会因“FS—UP”按钮被按着而由 EU 单元不断给出增值，所以判定线路上的差动放大器就会判定给出加车指令。这个指令通过触发器和功率放大器对电磁执行阀起加车控制作用。根据加在差动放大器上给定和实际这两个信息电流差值的大小不同，加车调

速可以通过电磁执行阀I(慢加车)或是通过电磁执行阀I、III(快加车)进行调速。为了使电/气转换过程变得十分适时和平稳,电磁执行阀在受控过程中还要受到频率为1Hz脉冲电源的控。这时与接头Z相关管路上气压信号的压强会因充气过程而得到提高。这个压强变化一方面会通过1:1气控调压阀和接头A使输出气压指令的压强也随之提高,使主机转速有相应变化。另一方面还要通过反馈环节,即通过压力/线位移变换器(P/L)、差压变压器(L/U)、电压/电流变换环节(U/I)使加在差动放大器上的实际值电流信息追随给定值的变化而相应得到加大,微调工作逐得以顺利进行。

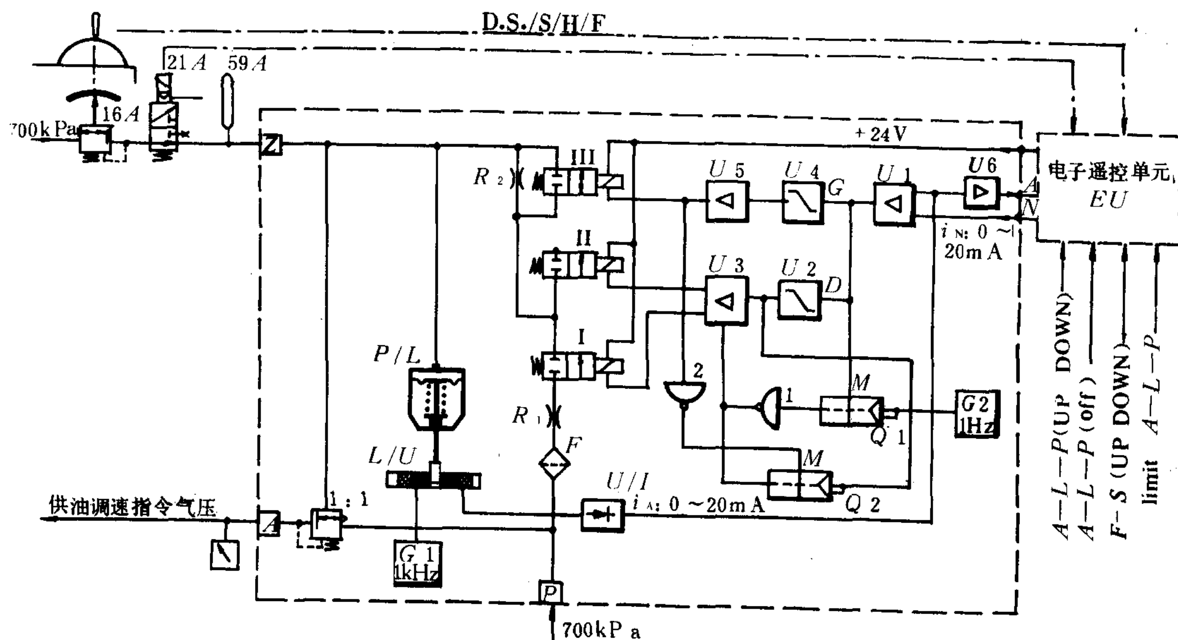


图 9.4.3—33

如果释放"FS-UP"按钮,这就意味着电子遥控单元输送来的给定值电流信息应立即停止变化。这时只要判定线路接受的给定值电流信息和实际值之间出现互为相等的情况,则转速微调工作也就停顿下来。

若调速的是"FS-DOWN"按钮,则电磁执行阀II会因给定值电流信息小于实际值,差动放大器的输出极性发生改变而进入受控状态,这时与接头区相关管路上的气压信号压强就要降下来。这一压强变化不仅会改变供油调速指令输出气压信号压强,同时还要通过信息的反馈作用使实际值电流信息也随之降下来。同样只要加在判定线路上的给定值电流信息同实际值互为相等,那么转速微调工作也就宣告结束。

尽管微调调速按钮总是按着,但是由于电子遥控单元(EU)输出的给定值已经因微调上(下)极限值到位而不会再有变化,因而电/气转换单元(EPC)的输出气压指令也就不会再有什么变化。

3)如果遥控车钟已经处于FULL位置,这时可以起用驾驶室操纵台上有关自动负荷控制程序的操纵设备,这包括:

ALP-UP——加车负荷程序控制;

ALP-DOWN——减车负荷程序控制;

ALP－OFF——撤消自动负荷程序控制；

Rre－Sele ctor——转速预选器。

值班驾驶人员可以通过转速预选器和加、减车负荷程序控制按钮下达调速指令。这时图9.4.3－33中的电磁阀27A进入受控状态，为自动程序控制时的电/气转换创造工作条件。如果需要执行加车负荷程序控制，那么电子遥控单元(EU)就会使给定值电流信息以间歇递增的方式逐一加大，例如设定供油调速指令以10KPa/3min(0.1bar/3min)的方式递增，这个给定值的信息增量变化就加到电/气转换单元的判定线路上。它使判定线路因原先的平衡关系被破坏而就差动放大器有加车指令输出。这个输出信息同样不仅会使输出指令气压信号得到相应提高，同时还通过反馈环节使实际值电流信息也随之增大。这样判定线路会重又建立起新的平衡关系。这种加车负荷程序控制过程将一直进行到与预选转速要求相一致时为止。

在自动负荷程序控制过程中，也可以通过撤消按钮下达中止指令。这时电子遥控单元(EU)的给定值输出就会保持不变，电/气转换单元接头A给出的供油调速指令气压信号也就不再变化了。

3.3 应急安保系统

考虑到在主机运行过程中存可能发生以下若干危急现象，主机遥控系统将专门设置了独立的安保系统。在出现危急情况时，它能把主机立即置于断油停车工作状态。

(1)某些重要参数发生越限时，例如主轴承滑油、活塞冷却水、气缸冷却水等这些参数出现低压，则安保系统应该给出故障自动停车控制。

(2)遥控系统发生故障而突然无法使用时，值班人员可以起用紧急停车按钮，使主机立即断油停车。

(3)主机发生超速时，安保系统应立即给出自动停车控制。

对于RL型SULZER主机来讲，要使主机进入断油停车工况可以有以下两种方式。

(1)通过供油控制器(5.06)把燃油调油轴推到断油停车位置。

(2)使高压喷油泵的断油机构(5.26)起作用以达到断油停车的目的。

其中，高压喷油泵的断油机构(5.26)在起作用以后，要求通过复位操作才能使主机恢复到正常的工作状态。

考虑到船舶的航行安全，在发生故障自动停车的情况时，允许值班人员使用应急操纵按钮。这时原先通过供油控制器(5.06)使燃油调油轴推到断油停车位置的工作条件将暂时被撤消，这是以气动逻辑控制箱中电磁阀25B通过连锁控制线路使电磁阀25A失控的办法来实现的。这一撤消断油的应急操作直到该操纵按钮被释放为止。

应急操纵还可以为应急换向提供一个较高的启动供油限制指令，以便适应应急操纵的需要。

超速故障也会使主机的运行状态切换成断油停车状态，但是它是不能进行应急操纵的，其中复位操作则是必需的。

应急气源部分可以在遥控压缩空气失压的情况下投入工作。它一方面通过双向止回阀N给出可预供油的工作条件，使供油控制器(5.06)仍然保持运行状态。另一方面通过双向止回阀L给出供油调速指令气压信号，使主机能继续进行工作。

4 DMS－990型主机遥控系统

DMS－990型主机遥控设备是由丹麦S·T·L公司提供的，它可以是为MAN＋B&W—L—MC型主机配套使用，是目前船队中应用得比较多的一种遥控系统。

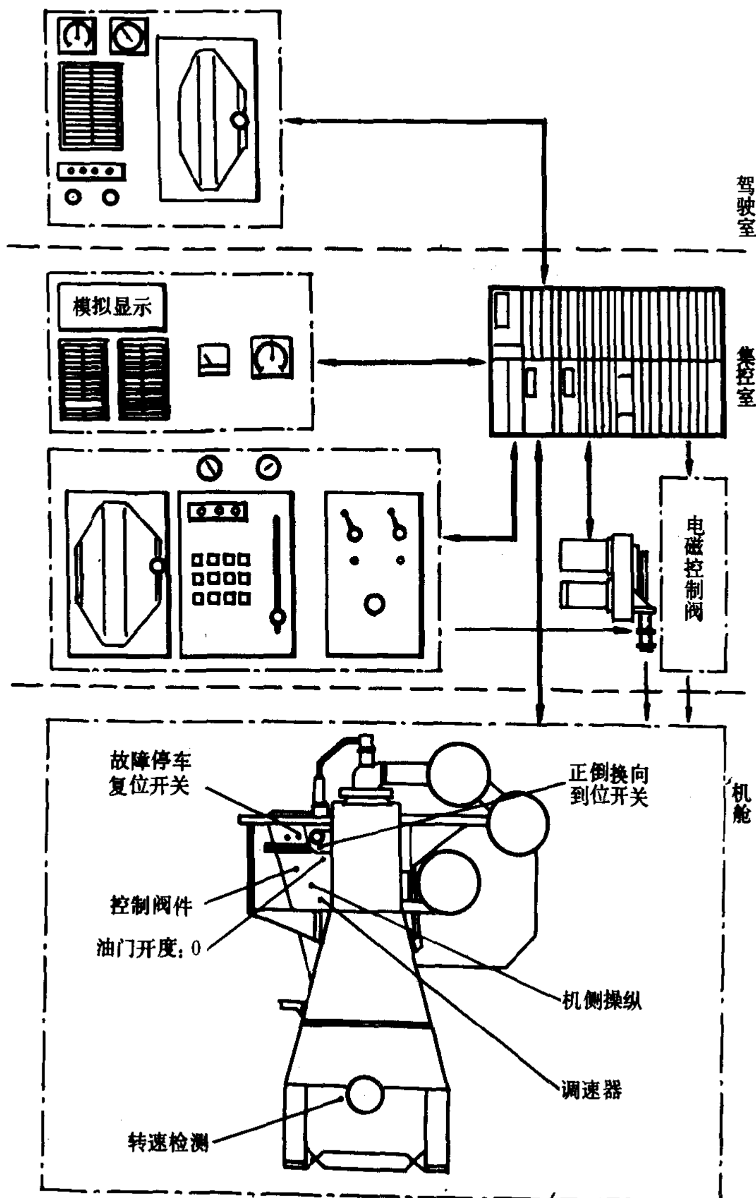


图9.4.3 34 DMS－990型主机遥控设备结构图

DMS－990型主机遥控设备是以电子一气动相结合的技术手段来实现主机自动遥控的。其结构组成及有关各控制单元的布局见图9.4.3—34所示。

在驾驶室操纵台上，设有遥控车钟及车钟指令发送单元；遥控地点的切换以及副车钟信号联系；主机或是遥控设备某些环节的工况显示；重要的故障报警信息；若干应急操纵的指令按钮；主机转速、转向指示以及气压信号的压强指示；各指示灯的辉度调节。

在集控室；遥控调速设备集中设置在操纵台和主控制箱内。在操纵台上计有遥控车钟及车钟指令发送单元；回令车钟；"停车－启动－供油调速"操纵设备；遥控地点的切换以及副车钟信息联系；主机或是遥控设备某些环节的工况显示；故障报警及安全保护的信息显示；若干应急操纵的指令按钮；主机转速、转向指示以及气压信号的压强指示；轮机长燃油限制。

在主控制箱内安排了四个相对独立而又密切相关的功能单元电路，即

1)操纵地点的切换和副车钟信息联系。

2)主机的换向/启动/停车。

3)主机的供油调速控制。

4)轴带发电机的遥控。该单元可供用户选用，但是目前我国船队中未见有选用的。

在机侧；设有应急操纵台以解决换向/启动/供油调速/停车的机侧操作；转速、转向的检测

设备;有关的气动阀件;PG－A 型调速器以及各种反映主机工况的开关量信息发送等设备。

4.1 MAN＋B&W 型 L－MC 系列主机的气动遥控

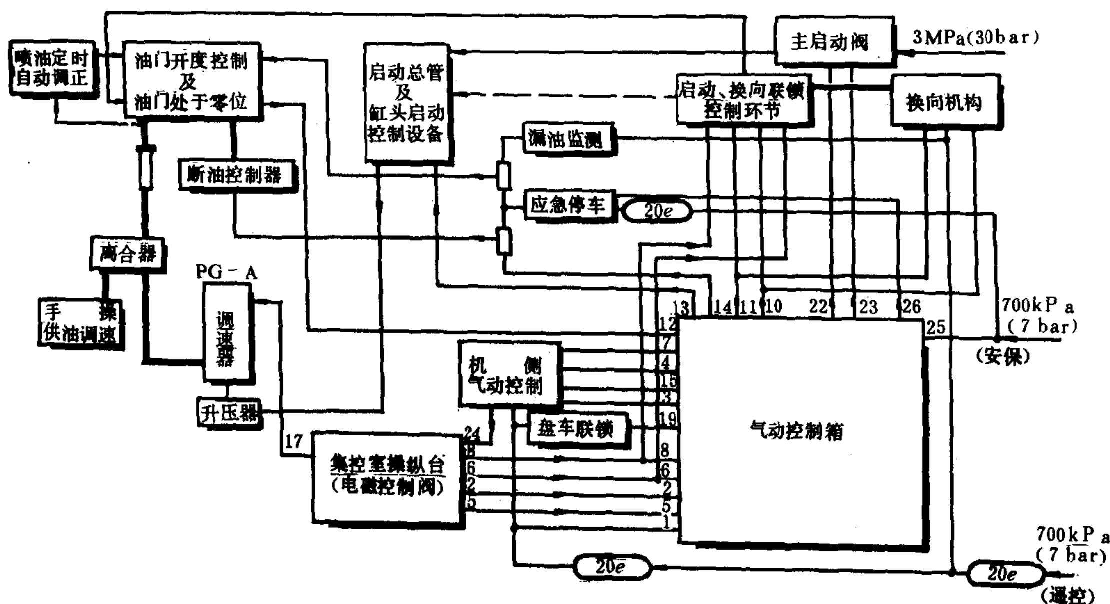


图 9.4.3－35 MAN＋B&w 型 L－MC 系列主机气动遥控图

图 9.4.3—35 给出 MAN＋B&W 型 L－MC 系列主机气动遥控的气路设计结构框图。

图 9.4.3—36 给出了该主机遥控(气动部分)的工作原理图,图中所示的操纵工况如下。

1)主机处于断油停车状态。

2)主机操纵设备处于正车工况。

3)正处于集控室遥控。

4)已具备电源和气源条件。

5)转车机处于脱啮状态。

6)去空气分配器的通路已经打开。

在该气路设计方面有以下三处是具有一定特色的。

(1)换向机构的气路切换控制。

(2)燃油喷油泵漏油监测及其自动断油停车的安保气路控制。

(3)燃油喷油泵喷油定时的气动自动调节。

4.2 电子控制箱内各功能电路的简要分析

第一部分　　遥控地点的切换和副车钟信息联系

1)遥控地点的切换

所说的遥控地点的切换除了驾驶室同集控室之间的遥控切换以外，还涉及到集控室远距离操作以及机侧操纵的工作条件切换。在要求进行切换的联系过程中，各操纵部位还会给出相应的声、光联系信号。

驾/集遥控切换的工况变化规律可以归纳如表 9.4.3—1 所示。

表 9.4.3—1　　　　驾/集遥控切换的工况变化规律

		集控室遥控 C.R.	驾：要求切换成B.C.	集：执行切换 B.C.	驾：要求切换 B.C.→C.R.	集：执行切换 C.R.
无扰动切换的前提条件				供油指令压力双针指示一致		供油指令压力双针指示一切致
遥控切换联系设备（切换动作）	驾驶室	B.C. R.C.				
	集控室	B.C. R.C.				
有关插件信息显示	POS.45-LED-1 (B·C)	×	✓	✓	×	×
	POS.45-LED-2 (C.R.)	✓	✓	×	×	✓
驾、集、机侧车钟声响器		×	✓	×	✓	×
遥控切换联系设备（灯光显示）	驾驶室					
	集控室					

驾/集遥控切换的规律性是通过电路来实现的，见图 9.4.3—37 所示。

对于驾驶室遥控和集控室远距离操纵之间工作条件的切换是由设于集控室操纵台上的驾/集切换阀和动车调速手柄所决定的。当驾/集切换阀置于远距离操纵位置以后，系统的工作条件将有以下变换。

(1)驾驶室遥控车钟将仅仅作为发令车钟使用。

(2)遥控气压信号已满足远距离操纵要求。

(3)集控室的回令车钟和动车调速手柄可以根据车钟指令进行正常操作。

(4)各遥控电磁阀都停止参加工作。

集控室远距离操纵和机侧操纵的工作条件会由机侧控制环节的切换而有所变换，这种切换虽然同摇控系统关系不大，但是在驾、集两处都同样会给出工况切换的声、光联系信号。

以上四种操纵地点的相互切换是依机侧、集控室和驾驶室的次序得以优先选用。

2)副车钟的切换联系

副车钟的切换联系是指驾、集两处关于备车、完车的声、光联系信号，其切换的工况变化规律可以归纳如表 9.4.3—2 所示。

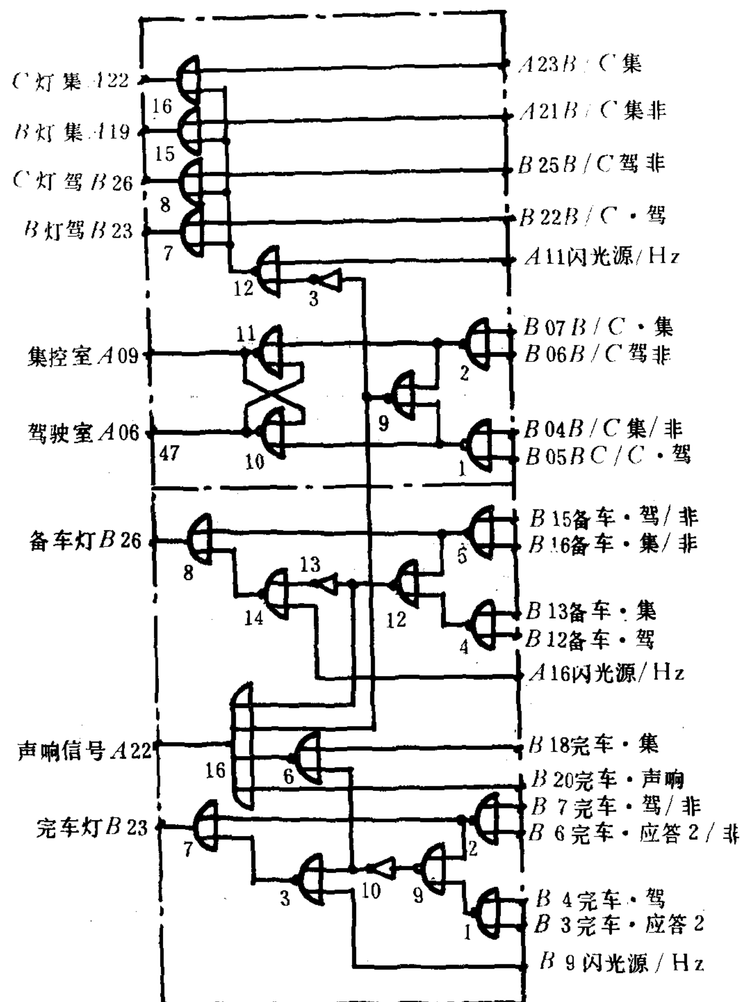


图 9.4.3-37

表 9.4.3-2　　　　　**副车钟的切换工况变化规律**

		I		II		III	
		备车指令	备车应答	备车完成	备车复位	撤消备车	备车复位
切换联系环节	驾驶室						
	集控室						
有关插件信息显示	POS.45-LED-5	✓	✓	✓	×	×	×
	POS.45-LED-6	×	✓	×	×	✓	×
驾集车钟声响器		✓	×	✓	×	✓	×
有关灯光联系信号	驾驶室						
	集控室						

以上给出了备车过程中的信号联系情况，完车信息联系的情况同备车是完全相似的，但是在集控室执行车操作时，除了信息切换操作以外，还必须完成以下操作，即主启动阀应预关闭；遥控气压和安保气压的两支气源应预切断。否则的话；完车、应答2'这个信息形成不了，所以声响器虽已停止工作，但是指示灯将仍处于闪光状态。从完车到进入动车运行的切换联系则应该有相反的操作过程。

以上备车和完车的信号联系是通过图 9.4.3－37 右侧的电路来实现的。

第二部分　主机的换向/启动/停车

1)可否供油的逻辑判断

可否供油逻辑判断的线路设计见图 9.4.3－38 所示，它可以根据是否有正常的停车、换向、启动工况以及主机是否已超过设定启动转速并进行加减车调速来给出不可供油和可供油的逻辑判断。

分析线路以后可以得出以下结论。

(1)POS.19 和 POS.23 所给定的输出将被引导到 POS.21，从而使不可供油(断油停车)的输出指令限定为 1 信号，可供油的输出则为 0 信号。

(2)在主机转速超过正、倒车启动转速后的加减车操纵以及遥控系统给出转速保持指令信息时，则 POS.19 和 POS.21 可供油的输出就被限定为 1 信号，不可供油(断油停车)的输出就切换成 0 信号。

2)换向控制

换向控制是可逆运转主机的一个重要控制环节，在遥控车钟接受正、倒车指令以后，系统将根据主机转向，通过可否供油的逻辑判断给出可以或不可以供油的指令信息，同时还考虑到主机是否允许换向这一转速条件，然后确定正、倒车电磁阀是否应该受控，并执行主机的换向操作。

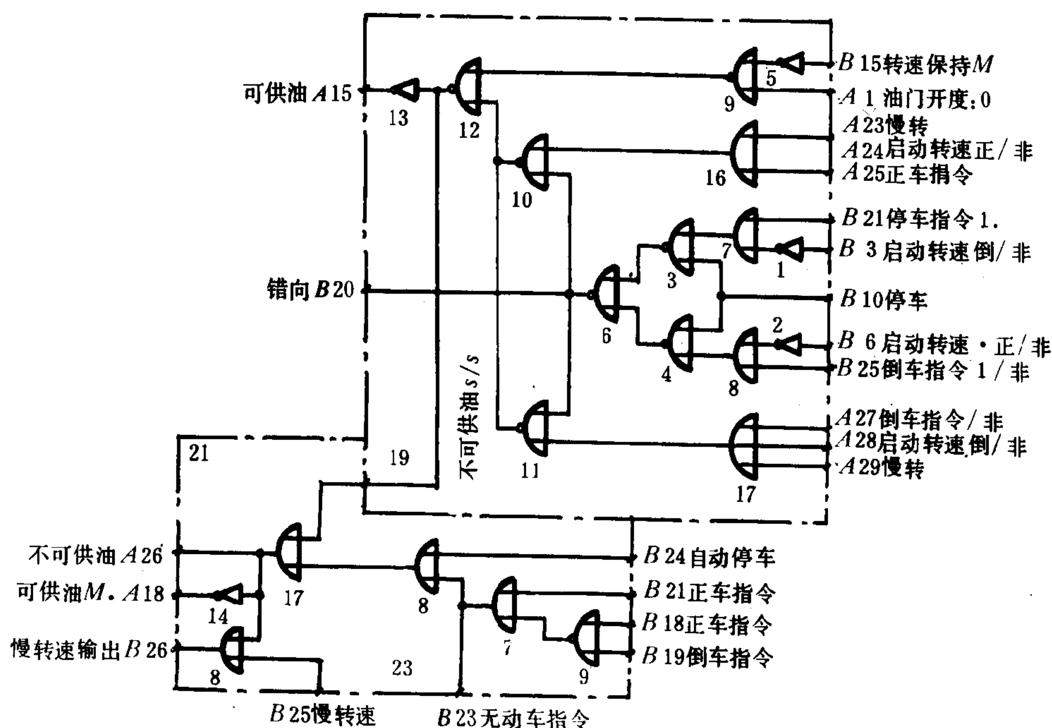


图 9.4.3－38　可否供油的逻辑判断图

换向控制的电路设计见图 9.4.3—39 所示，该电路指出：只要满足不可供油和符合换向的转速条件，那么正、倒车电磁阀是否受控将由遥控车钟正、倒车指令所确定。

3）启动控制

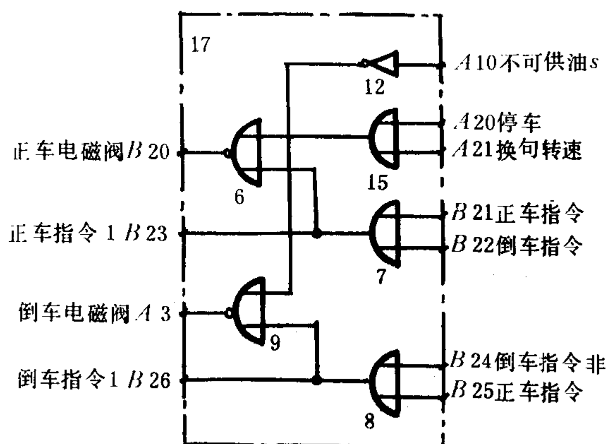


图 9.4.3-39 换向控制的逻辑图

启动控制是用来解决主机慢启动、通常的压缩空气启动、制动以及重复启动、撤消负符限制、减速运行等遥控操纵任务的。这些任务主要通过以下三个逻辑判断电路来实现的。

（1）慢转启动的控制电路

图 9.4.3—40 给出慢转启动控制电路。在值班人员下达动车指令的时刻，由 POS. 27 慢转二周，定时单元给出停机时间是否已经超过 30min 的逻辑判断。该单元慢转二周（非）输出信息的变化规律可以归纳如下。

低于 30min：1 信号。

高于 30min 及慢转二周过程中：0 信号。

慢转二周以后：1 信号。

可以理解：只要停机已经超过 30min，则慢转启动电磁阀就要受控起作用。如果停机还没有超过 30min 或是慢转已经转过二周了，则慢启动电磁阀就将失控不起作用。

电路设计还指出：不仅慢转二周后 POS. 23 记忆单元将给出 0 信号，撤消慢转控制，而且值班人员还可以主动下达撤消慢转控制的指令，达到撤消慢转控制的目的。

（2）压缩空气启动的控制电路

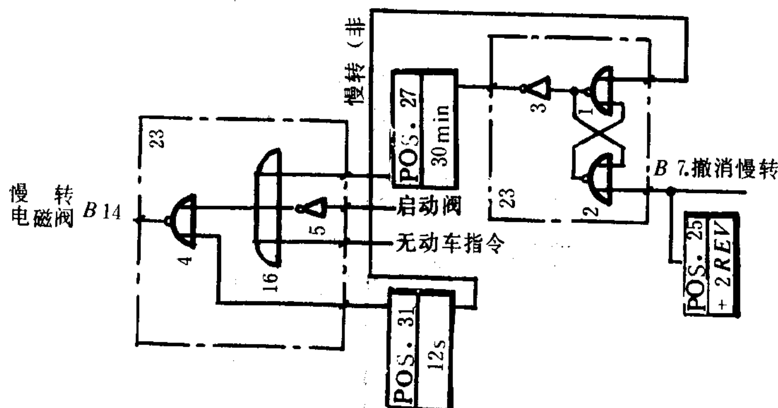


图 9.4.3—40 慢转启动控制电路

图 9.4.3—41 给出了压缩空气启动的控制电路。在接受正、倒车动车指令以后，首先要经受是否需要进行换向的逻辑判断，这是启动一换向的一个联锁信息，其次还要看有没有启动闭锁指令、是否具备压缩空气启动的工作条件。如果启动电磁阀受控并使主机启动起来了，那么这个电磁阀将会受与供油调速有关信息的联锁作用而切换成失控状态。

图中表明：如果有启动闭锁指令或是不具备压缩空气启动的工作条件，那么就不可能启动主机。如果主机已经进入供油调速工况，或者转速已经进入换向转速，则启动电磁阀也就不再受控。

（3）重复启动的控制电路

图 9.4.3—42 给出重复启动的控制电路。该线路在停车或是允许进行启动的过程中是不

会给出重复启动指令的，它只是在一次、二次相继出现供油控制启动仍然失败的情况下才会给出重复启动和不可供气的输出信息，其中被限定为6S的不可供气输出信息就是用来给定多次启动过程中的启动间歇时间的。

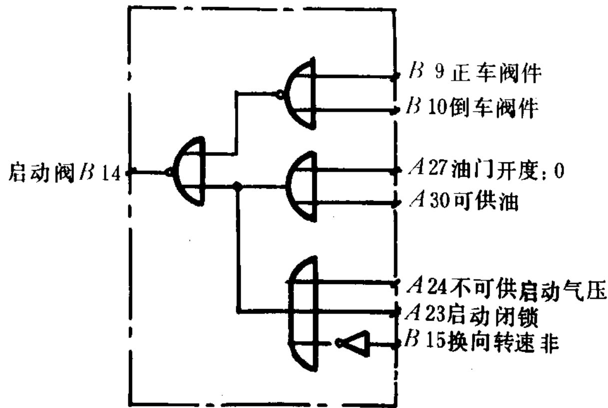


图 9.4.3—41　压缩空气启动控制电路

从第二次启动开始，或者是从正车全速一下子拉到倒车，这时该控制电路将给出撤消负荷限制的指令输出。它可以使PG—A型调速器的负荷限制被撤消，有助于启动成功。

图中还表明：重复启动的输出信息还要加到三次启动记忆单元POS. 29上去，在记满三次以后，POS. 21就会给出三次启动都已失败的输出信息。

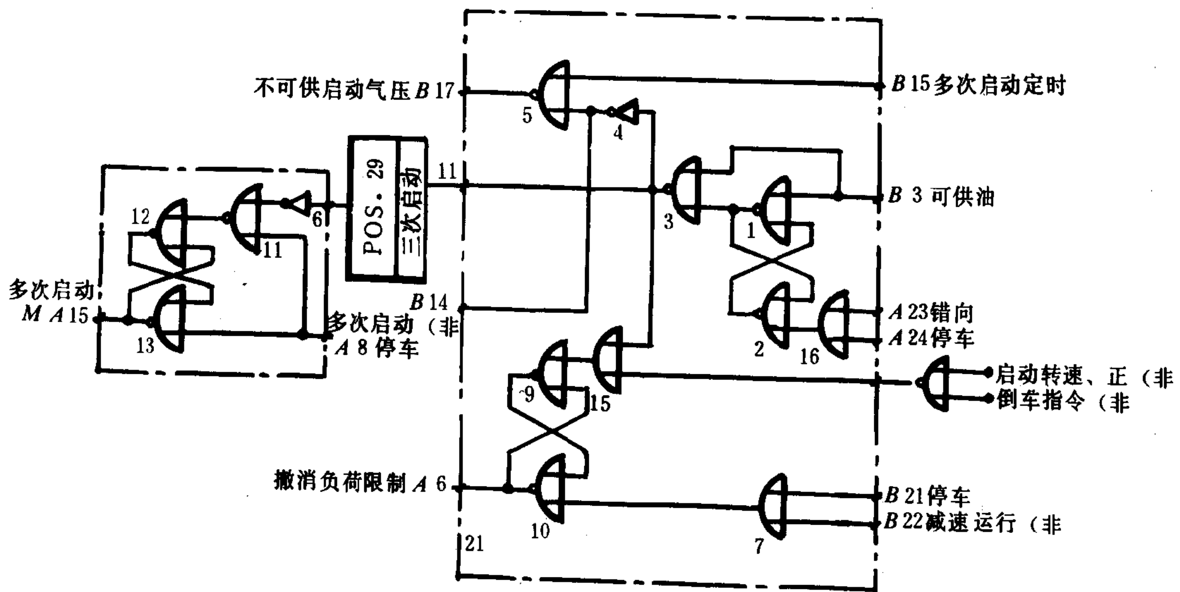


图 9.4.3—42　重复启动控制电路图

第三部分　　主机的供油调速控制

在DMS—990型主机遥控系统中，供油调速子系统是由图9.4.3—43所示的结构框图组成的。该系统接受遥控车钟、主机转速检测信息、减速运行以及撤消热负荷程序等输入信号，经过若干环节的信息变换和处理，最终把被选通的电压信号变换成0～500kPa(0～5bar)的气压信号并引向PG—A型调速器，依此对燃油调油轴实现遥控操纵，达到供油调速的目的。

该供油调速系统应具有以下各项功能。

(1)在通常情况下可以由遥控车钟发送的指令来决定主机的供油调速操纵。

(2)对船舶的临界转速可以实现自动避开。

(3)当供油调速进入80%～100%额定转速的时候，系统应给出热负荷程序控制。如果有必要还应撤消热负荷程序控制。

(4)在驾驶室遥控情况下，可以调整设于集控室的供油限制操纵手柄，以便通过气路系统实现供油限制。

(5)在接受减速运行指令以后，主机将立即进入减速运行状态，如果有必要还可以暂停执行减速运行控制。

(6)若是供油调速系统中发生某些断线故障或是转速检测传感器发生故障，主机可以保持原转速继续运行。

(7)系统还具有扫气压力供油限制以及故障停车等控制功能。

该供油调速系统各功能电路的作用及其电路设计情况可作以下分析。

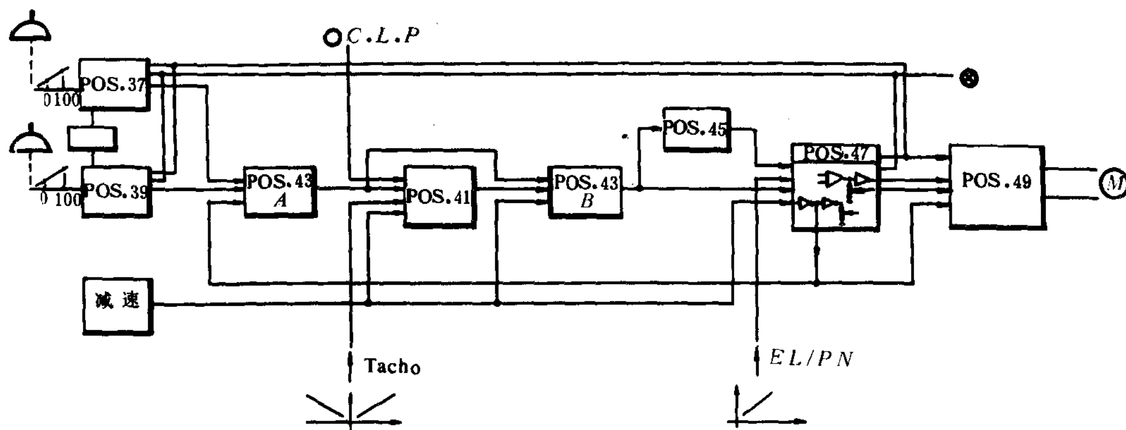


图 9.4.3－43　DMS－990 型主机供油调速系统图

①车钟指令转发电路(POS. 37、39)

该转发电路接受来自遥控车钟指令发送器传输来的电压指令信号，然后转换成用于电子线路上的车钟指令电压信号。该电路的组成和工作原理见图 9.4・3－44 所示。它是由电路选通、断线故障判断、正倒车指令特性曲线在 30％和 100％两个特定点进行整定的调节环节以及信息变换处理等四部分组合而成的。

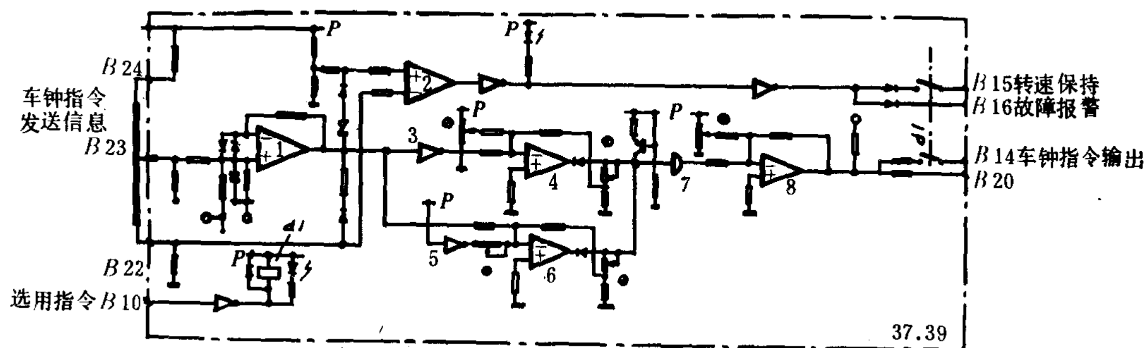


图 9.4.3－44　车钟指令转发电路

如图所示：遥控车钟指令发送电位器向该转发电路给出相应的正电压信号，首先要接受是否有断线故障的鉴别判断，如果有断线故障，则不仅在该插件面板上的 LED 给出故障显示，而且还会通过其输出端发出声、光报警信号 和转速保持指令信息。如果没有断线故障，该电压指令信息所持有的特性曲线将在正、倒车 30％和 100％额定转速两处分别受到规范化的特性整定工作，最后通过反相加法器使不论是正车还是倒车指令都可以给出相应正的电压指令信息。

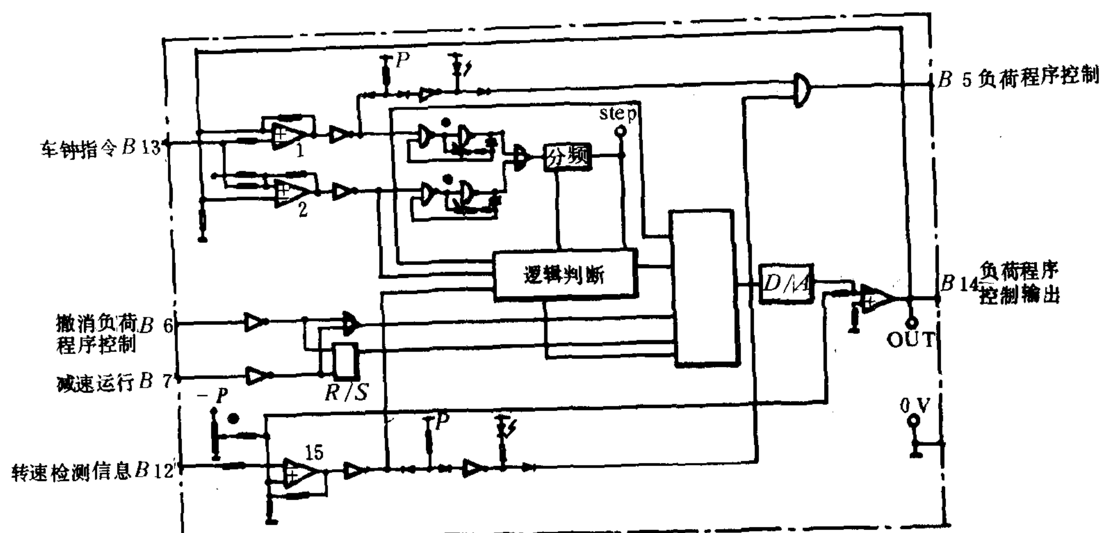


图 9.4.3—45　热负荷程序控制原理图

②热负荷程序控制单元(POS. 41)

当遥控车钟指令进入 80%～100%额定转速的范围内，热负荷程度控制单元给出特定加、减车速率变化的一个控制环节。设计给定：在加车热负荷程序控制时，其占时可以在 10～100min 的范围内选用，出厂时给定为 30min。减车占时则可以在 0～10min 范围内可调。这样一来使加车过程中的热量变化同主机热负荷变化的时间规律一致起来。

图 9.4.3—45 给出热负荷程序控制单元的工作原理图。其全部电路是由以下部分组成的。

(1)是否需要进行加、减车的判定线路。

(2)加、减车热负荷程序控制中的速率给定。

(3)主机转速是否已进入进行热负荷程序控制的判定线路。

(4)逻辑控制电路。

(5)8 位二进制可逆计数器。

(6)数—摸变换及输出线路。

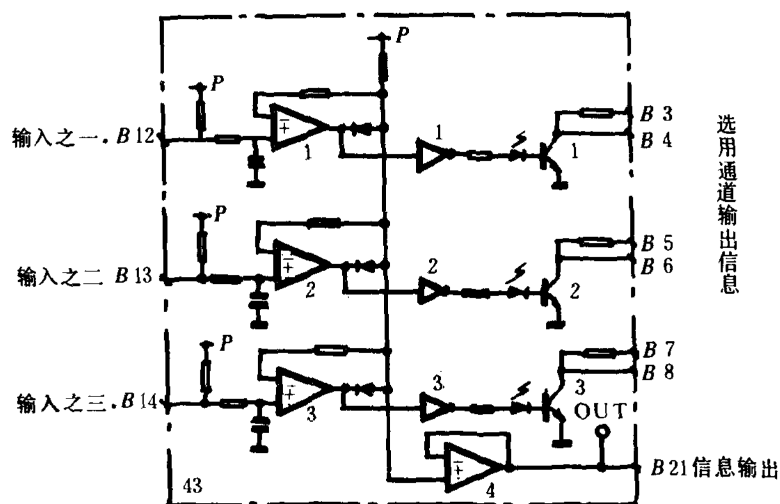


图 9.4.3—46　三选一(低通)选用电路图

所谓加、减车的判定就是指车钟指令输入信息同本单元输出信息之间经过比较以后所给出的指令信息。加、减车指令信息的变化速率则是由两个振荡线路分别通过 W1 和 W2 电位器来进行调整的。至于主机转速是否已经进入热负荷程序控制范围，那是根据主机实际转速同本单元设定起始值之间经过比较以后才能确定的。

在进行热负荷程序控制过程中，逻辑控制电路将使 8 位二进制可逆计数器依加、减车速率

变化规律进行计数，然后通过数/摸变换给出加、减车增量变化的指令信息，最终通过输出线路发送热负荷程序控制的模拟量指令信息。

图 9.4.3－45 还表明：该控制单元还可以接受驾驶室发送来的撤消热负荷程序控制指令以及减速运行的指令信息，从而可以使正在执行的程序控制立即停止。

③三选一(低通)选用电路(POS.43)

三选一(低通)选用电路是指在有三个不同量值指令电压输入的情况下，这个选用电路能自动阻隔三者中两个高值的电压信号，把三者之中的低值输送出去。

图 9.4.3－46 给出三选 一(低通)的选用电路。在 POS.43 插件板上设有两个同样设计的电路，该插件板的输入、输出信息分别安排如表 9.4.3－3 所示。

表 9.4.3－3 **POS.43 插件板的输入一输出信息**

	输　入　信　息	LED	输出信息的去向
A	Ⅰ 驾驶室遥控车钟给定的供油调速指令	1	去热负荷程序控制单元
	Ⅱ 集控室遥控车钟给定的供油调速指令	2	
	Ⅲ 减速运行(非)指令。	3	
B	Ⅰ 驾驶室遥控车钟给定的供油调速指令	4	1. 临界转速自动避开单元
	Ⅱ 热负荷程序控制单元给定的指令	5	2. 伺服放大单元
	Ⅲ 减速运行(非)指令	6	

可以看到：三个不同量值的指令电压是以其中之低值作为其输出的。例如图中若“输入之一”为最低值，则该信息就要通过运算放大器 1、二极管 1 加到电压跟随器 4 上去，从而给定它的输出。在这个通道上的运算放大器 1 就作为同相比例放大器用，它的低值输出信息还要引导到反相器 1，使反相器 1 的输出为 1 信号，于是 LED—1 就会给出常亮显示。

另外两个运算放大器则作为比较器使用。它们的输出都为 1 信号，这一方面使二极管 2、3 都处于反向偏置而截止，另一方面，LED—2、3 也不会有常亮显示，即能实现三选一(低通)的设计要求。

④临界转速自动避开的补偿电路(POS.45)

临界转速自动避开的补偿电路是在主机进入临界转速时起作用的，该补偿电路所给出的电压输出转性曲线是专为提供电压补偿的，以使车钟指令即使处于临界转速区城内也能实现自动避开的目的。

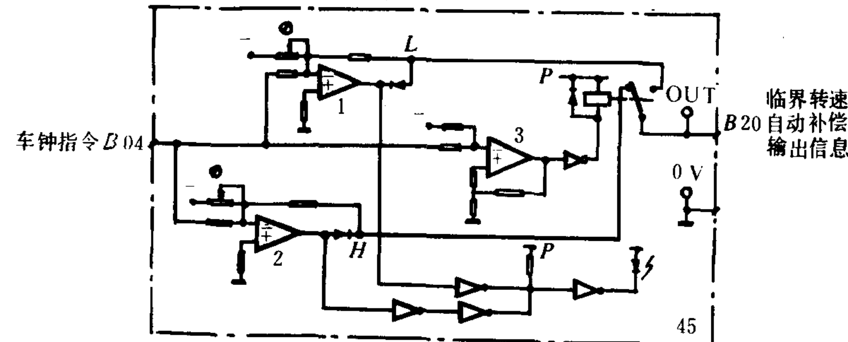


图 9.4.3－47　自动避开临界转速电路图

输出特性曲线是以实测临界转速上、下极限值的平均值作为纵座标的零点(基准)的，其上部电压补偿为正值，其下部补偿则为负值。横坐标就是遥控车钟指令电压。

电路设计时把基准同临界转速上限之间的范围称为“高区”，把基准同临

界转速下限之间的范围称为“低区”。如果车钟指令处于“低值”，该补偿电路的输出补偿电压将使主机转速只能被限定在临界转速的下限。如果车钟指令处于“高区”，其输出补偿电压将使主机转速被限定为临界转速的上限。

图 9.4.3—47 给出该补偿电路的设计情况，它是由低区补偿、高区补偿、低高补偿的协调线路以及自动避开的灯光显示四部分组成的，图中；全部运算放大器都作为反相加法放大器使用。

低区补偿信息只能给定为负电位，该信息从 L 点引出送到协调控制继电器。高区补偿信息只能给定为正电位，该信息从 H 点引出也送到协调控制继电器。

运算放大器 3 作为平均值(基准)判定环节，其工作规律是：车钟指令处于或者是低于“低区”时，其输出为高电位，再经反相处理后使协调控制继电器处于受控状态，则在低区输出的补偿信息只能是图中所示的负电位。若车钟指令处于或者高于“高区”时，运放的输出切换成低电平，再经反相处理后使协调继电器切换成失控状态，这时输出的补偿信息只是图中所示的正电位。

在低于或高于临界转速上、下限时，该补偿电路则不会有补偿输出。

⑤伺服放大器(POS. 47)

伺服放大器是确定是否发送加、减车指令信息的重要环节，它主要是由电压比较器、反相比例放大器和断线故障判断三部分组成的，见图 9.4.3—48 所示。该线路一方面接受遥控车钟发送来的模拟量指令电压信息以及临界转速自动避开的补偿电压信息，另一方面还接受转速给定单元 中伺服传动机构发送来的位置反馈电压信息，这两种信息通过运放进行比较，根据不同工况可以给出或正、或负、或零这三种不同的指令电压输出，即相应于加车、减车和保持三种控制工况。

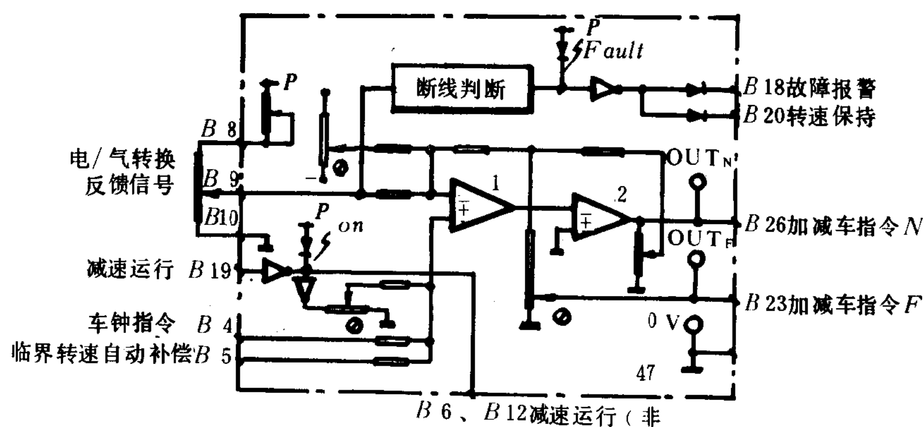


图 9.4.3—48　伺服放大器原理图

在系统接受故障减车指令信息以后，由电位器 WS 所给定的故障减车指令电压将替代遥控车钟指令加到比较器上，借此执行故障减车。

此外，考虑到转速给定单元中伺服传动机构发送来的位置反馈电压信息是从反馈电位器 W_D 拾取来的，所以该线路上还附有判断是否有断线故障的监测环节。一旦有断线情况发生，不仅会立即给出声，光信息，而且还会给出转速保持指令信息。

要注意伺服放大器的输出信息是通过两个通道发送的，一个从电位器 Wf 发送出去，另一个还要经过增益为可调的反相比例放大器发送，显然这两个通道发送的信息不仅大小不同，而且极性也是相反的。

⑥功率放大器(POS. 49)

功率放大器控制线路情况见图 9.4.3—49 所示。它是由加、减车继电器控制线路、快加、减车控制线路以及功率放大三个主要部分组成的。

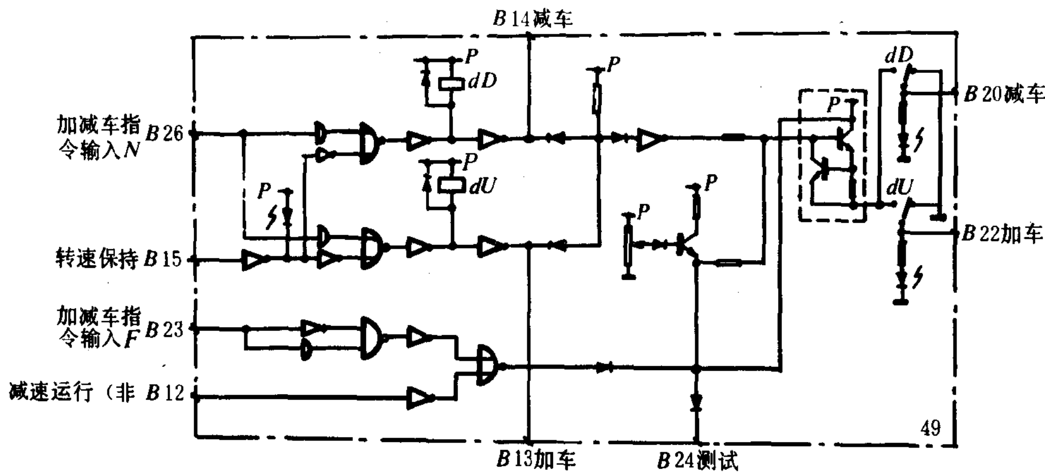


图 9.4.3—49 功率放大器原理图

功率放大器的输入信息可以有通常的(快)加、减车,转速保持、故障减速(非)以及功能测试等指令。功率放大器的作用是根据收到不断变化或切换的输入信息,可以向转速给定单元中的伺服电机发送加车、减车、保持或停车的指令电信号。

在实现加车调速时,加车继电器(dU)受控,其控制接点将通常(快)加车指令电信号从端子 B22 向伺服电机发送。

在实现减车调速时,减车继电器(dD)受控,其控制接点将通常(快)减车指令电信号从端子 B20 向伺服电机发送。

如果遥控系统某些部位真的发生断线故障,该功率放大器应该停止发送任何加、减车指令信息。在这种情况下,伺服电机只是停留在发生故障这一时刻的位置上,使主机处于转速保持的工作状态。

如果输入端出现故障减车(非)指令信息为 0 信号,该功率放大单元立即发送减车指令信息,致使伺服电机立即有相应的运行状态变化。

⑦转速给定单元

转速给定单元 有伺服电机、减速机构、控制凸轮、调压阀以及反馈电位器等环节。实质上它是一个电/气信息的变换单元,并对气源压强有一定要求。

由主控制箱中功率放大单元发送来的电信号可以控制伺服电机的运转状态,即正转、倒转和停转。电机经过减速处理后一方面使供油调速控制凸轮有相应的转角变化,另一方面通过位置反馈电位器发送反馈信息。控制凸轮以其转角变化来调整该单元中的调压阀。设计给定:在气源为 700kPa(7bar)情况下,该阀在加、减车调速过程中其输出气压信号将在 0～500kPa(0～5bar)范围内得到调节。调压阀输出的气压信号将通过 PG—A 型调速器推动燃油调油轴,从而达到供油调速的目的。

如果调压阀的气源是通过集控室操纵台上手操调压阀来给定的,那么假如它给定为 450kPa(4.5bar),则转速给定单元的输出气压信号只能在 0～450kPa(0～4.5bar)的范围内得到调节,这种供油调速上限的限制就是通常所说的轮机长燃油限制。

第四部分　　安全保护系统

主机在运行过程中会由于某些重要参数发生危变而给主机带来严重损伤，所以从安全保护考虑设置了独立的而与主机遥控又密切相关的监测系统。一旦出现这种危变，除了立即给出声、光报警信号以外，还应该区别情况分别给出故障减车或是故障停车的保护措施，以避免发生重大的机损事故。如果航行过程中不允许执行故障减车或是故障减车，那么值班人员可以下达暂时停止执行的指令以便使主机继续运转。这个撤消指令通常只是短时间的，一旦不再要求暂停执行安保措施的话，主机将立即恢复成原先的故障减车或是故障停车的工作状态。

通常在排除相应故障并使有关参数恢复正常以后，要求进行复位操作才能使主机重新处于正常工作状态。

(1)故障自动减车

下列参数出现故障后，将会由安全保护系统给出故障自动减车的应变措施。

如滑油进口压力低；凸轮轴滑油低压；推力轴承高温；活塞冷却水流量低；主机冷却水低压；气缸滑油流量低；扫气箱高温；曲轴箱油雾浓度过高。

故障自动减车的控制电路见图 9.4.3—50 所示。图中；触发器的起始状态是由遥控车钟的停车位置或复位指令所决定的。一旦有自动减车的故障信息时(包括油雾浓度过高)，该控制电路就立即给出减车指令信息，使主机转速自动降下来。

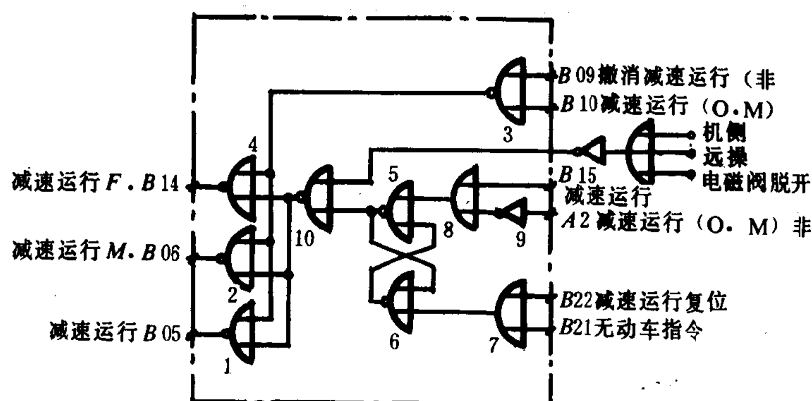


图 9.4.3—50 故障自动减车电路图

在有关故障排除以后，必须通过复位操作，使触发器重新回复到它的起始位置。

该电路若接受撤消故障减车的指令，则主机将会附之回复到原先遥控车钟所给定的转速。该线路指出：若是因油雾浓度过高而造成故障减车的话，这个暂时撤消的指令是不起作用的。值班人员在不再要求撤消故障减车的时侯，该电路会重新执行故障自动减车的控制。

(2)故障自动停车

下列参数出现故障后，将会由安全保护系统给出故障自动停车的应变措施。

滑油压力低；凸轮轴滑油压力低，推力轴承高温；主机超速；紧急停车。

故障自动停车的控制电路可参见图 9.4.3—51 所示。图中；触发器 A、B 的起始状态是因遥控车钟的停车位置或集控室动车调速手柄拉到停车位置所决定的。可以看到：不论是滑油压力低还是凸轮轴滑油压力低；推力轴承高温，都会经由该控制电路给出使主机自动停车的执行指令，其中只是滑油压力低所引起的故障停车才可能由值班人员通过下达撤消指令以后暂停执行，在解除撤消指令以后，原先存在的参数故障将继续发挥故障自动停车的安保作用。

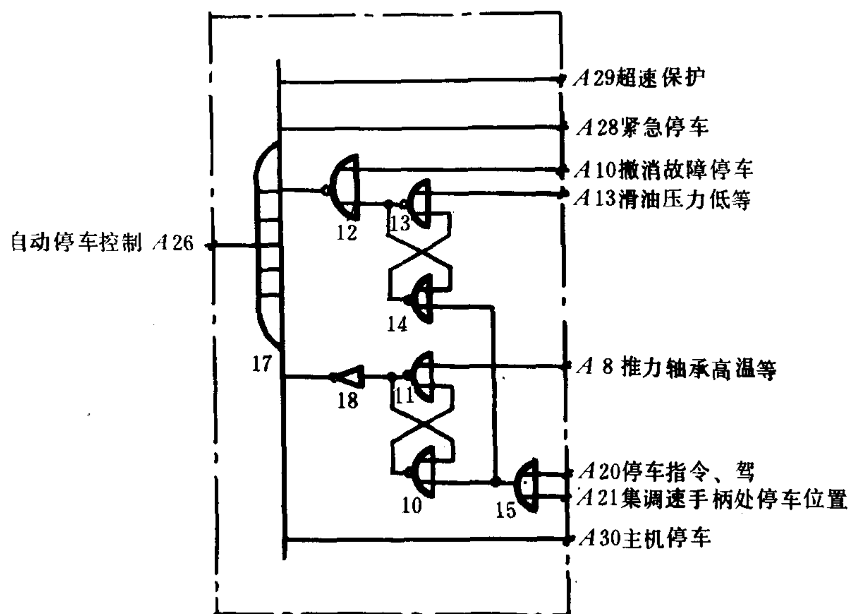


图 9.4.3－51 故障自动停车控制电路

图中所列出的主机超速、紧急停 车等输入信息也都一一通过该控制线路立即给出主机自动停车的应变切换。

第五部分　　模拟显示屏及其作用

模拟显示屏是由两类不同作用的发光二极管所组成的。一类采用绿色发光二极管，以图解方式进行排列，用来显示在遥控车钟指令下达后，主机遥控各有关信息的演变发展情况。另一类采用红色发光二极管，它们排列在显示屏的底部，用来显示各电磁阀和遥控系统中某些重要环节发生故障的情况。

图解显示被划分为停车、正倒车启动/运行以及加减车供油调速控制三个部分，见图 9.4.3－52 所示

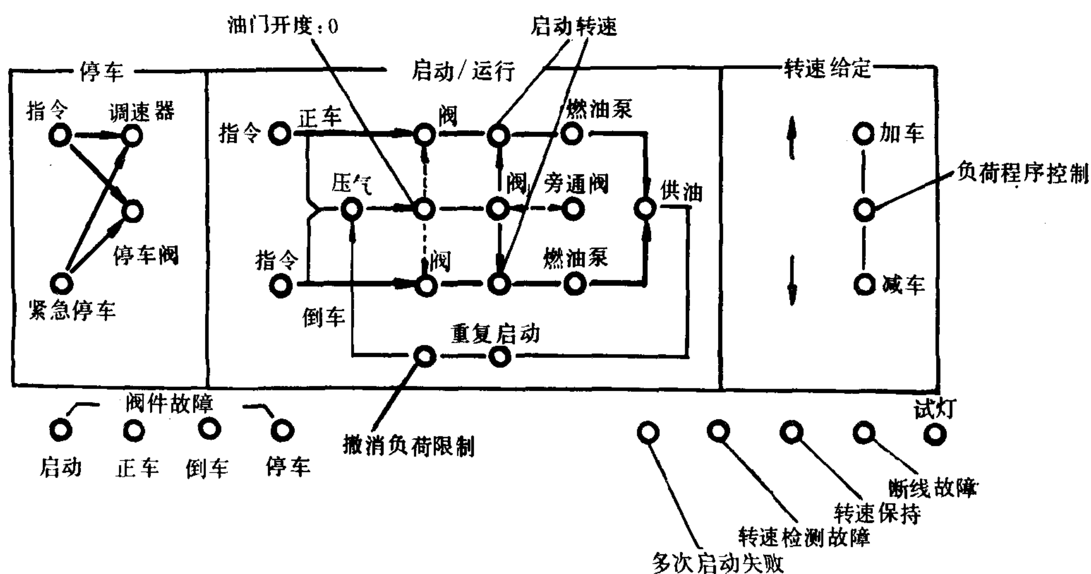


图 9.4.3－52 模拟显示屏电路

(1)停车区域

如果遥控车钟处于 STOP 位置,那么停车区域内的 ORDER 就会给出显示,与此同时;GOVERNOR 和 VALVE 也会给出显示,这意味着油门已经被拉到零位。

如果遥控车钟没有 STOP 指令,但是却有 EMERGECY 指令,那么 GOVERNOR 和 VALVE 也同样会给出显示

(2)正倒车启动/运行区域

该区域图解显示的上下侧分别有一根粗黑线,它把指令、电磁阀、启动转速、喷油泵工况、供油调速一一贯穿起来,上侧为正车工况;下侧为倒车工况。

此外;该图解显示部分还设有细线,用来表示启动压缩空气被引向主机的情况,它是正、倒车工况所共用的。

(3)供油调速区域

主要用来显示加、减车的工况变化以及表明主机是否已经进入负荷程序控制阶段。

模拟显示屏的应用举例:

设遥控车钟处于 STOP 位置,喷油泵处于倒车部位,现在遥控车钟从停车推到正车运行位置,这时就会有以下显示变化。

①正车指令 ORDER 给出显示。

②正车电磁阀 VALVE 给出显示。

③由于喷油泵的位置从倒车切换成正车,所以 FUEL PUMPS 也会从倒车切换成正车显示。

④启动电磁阀 ATART VALVE 给出显示。

⑤在以上显示切换过程中,启动压缩空气 PRESSURE 和油门开放为零位 1NDEX=0 都应处于常亮显示,否则就谈不上什么启动主机了。

⑥当主机在压缩空气启动下达到正车启动转速时,STARTLEVEL 应给出显示,这时压缩空气启动的过程即将结束。

⑦以下发光二极管应随之熄灭。

1NDEX=0;VALVE AHEAD;START VALVE

停车区域内的 VALVE 也应自行熄灭。

⑧在供油调速 FUEL ON 给出显示以后就表明主机已进入供油调速运行阶段。

如果启动过程中出现重复启动情况,显示屏上就会有以下变化。即供油调速FUELON自动熄灭,停车区域内的 VALVE 重又给出显示,与此同时;同细线相关的重复启动 REPEATED START 和撤消负荷限制 LOAD LIMIT CANCELLING 也都给出显示。在经过 6s 以后,正车电磁阀 AHEAD VALVE 给出显示,主机才再一次进入压缩空气启动阶段,直到转速达到启动转速为止,这时 START LEVEL 和 FUEL ON 都会给出显示。当从压缩空气转换成供油调速以后,重复启动 REPEATED START 即自行熄灭。

显示屏底部设置了左右各四个红色发光二极管,在最右端还设有试灯按钮。左侧依次排列了启动、正车、倒车和启动各电磁阀的故障指示灯,右侧各发光二极管将分别表示以下各系统有关环节的故障情况。

①MAX. START-ATTEMPTS 多次启动失败

在三次启动失败以后,它就给出显示,同时在驾驶室、集控室都会给出相应的声、光报警信号。

②TACHO FAILURE 转速检测故障

若转速检测发生故障，不仅该发光二极管会给出显示，而且主机将自动转换成转速保持状态，同时报警系统内的 DMS 系统故障和启动闭锁也会给出报警信号。

③HOLD 转速保持

如果两套转速检测提供的参数出现明显差异而被认定为故障情况的话，那么该发光二极管就会给出显示，同时在集控室还会给出 DMS 系统故障和启动闭锁故障报警信号、驾驶室内可给出电源故障和启动闭锁的报警信号。

由转速检测故障所形成的转速保持在故障排除以后，要求进行复位操作，发光二极管才会熄灭。

④CABLE FAILURE 断线故障

车钟指令发送电位器或是反馈电位器在发生断线故障以后，该发光二极管就会给出显示，同时遥控车钟指令的变化将不能对其转速起调整作用。

第 4 章　柴油机的微机遥控系统

1　微机遥控系统的功能

图 9.4.4－1 是我国远洋船上使用的一种遥控系统。它的核心部分是一台微型计算机。它和柴油机的操纵部分相连。驾驶台的车钟，实际上是一个电位器，改变车钟命令时，电位器的电阻值随之变化，于是有一个对应的电压值送到计算机中。在柴油机上装有两个测速发电机，使柴油机的转速变为电压信号送到计算机中。在凸轮轴上装有位置开关，凸轮轴在正(或倒)车位置时，使正(或倒)车开关动作，把一个开关量信号送到计算机中。启动空气的压力超过规定的启动压力时，使压力开关动作，发出一个开关量信号。集控室有一个手动和自动转换开关也发出开关量信号。为了保证柴油机的安全运行，有一个安全保护系统。当柴油机系统发生故障时，例如滑油压力太低或冷却水温度太高时能进行声光报警。在船舶遇到撞船等应急情况下，为了保船，可以令柴油机实行应急操纵，把信号送到应急操纵电磁阀，强迫柴油机应急运行。集控室和驾驶台上各有一块按钮和指示灯板，板上装有应急操纵按钮、备车按钮、应急停车按钮、以及凸轮轴位置、盘车机位置、三次启动失败的指示灯。这些按钮和灯也是和计算机相连的。为避免柴油机超负荷运行，机舱中的控制台上有转速限制电位器，由轮机长设定柴油机的最高限制转速。计算机根据车钟命令，柴油机实际转速、各种按钮的位置、有无故障等等来操纵柴油机。例如使柴油机进行正(或倒)车启动时，则打开正(或倒)车电磁阀。要加速或减速时，把信号送到转速调节电路、通过电压/电流转换器变为电流信号，送到电液调速器，再经液压放大拉动柴油机的油门使柴油机加速或减速。车钟命令改变时，计算机使车钟打印机打印出时间和车令以及柴油机转速的改变情况。为了检查柴油机遥控系统有无故障，有一个模拟试验面板，面板上有电位器，开关和指示灯，可以在柴油机停车的情况下做模拟试验，检查有无故障。

在计算机内部，遥控的程序存贮在只读存贮器 EPROM 中，此外，还存有车令处理程序、加速或减速程序、检测柴油机实际转速及其它参数的程序以及控制程序、打印程序、模拟试验程序等等。

遥控系统还和机舱中的报警系统相连。如报警系统检测到第一类或第二类故障时，把这一信息送到遥控系统中，使柴油机停车或减速。当遥控系统本身发生故障时，把信息送到报警系统中，进行声、光报警。

柴油机遥控系统根据驾驶台车钟的命令，对柴油机进行启动、加速、减速、换向、快速越过临界转速、启动失败后自动进行第二次或第三次启动，启动失败报警、换向失败报警、柴油机发生第一类故障时自动停车，发生第二类故障时自动减速、计算机本身有故障时自动报警等功能。

柴油机的加速、减速、换向过程中转速的设定值是由计算机给出的，如图 9.4.4－2 所示。

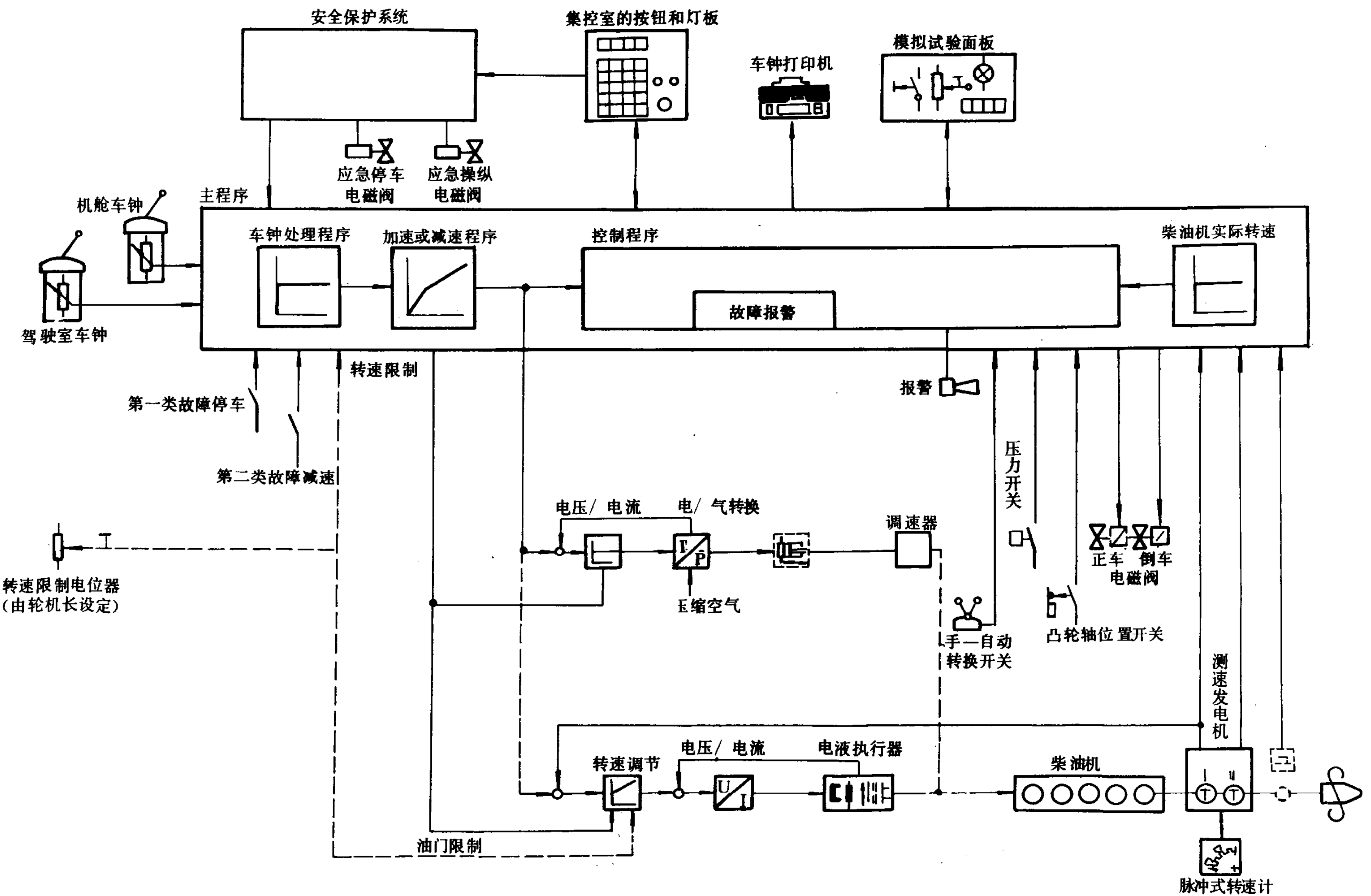


图 9.4.4—1　柴油机的微机遥控系统框图

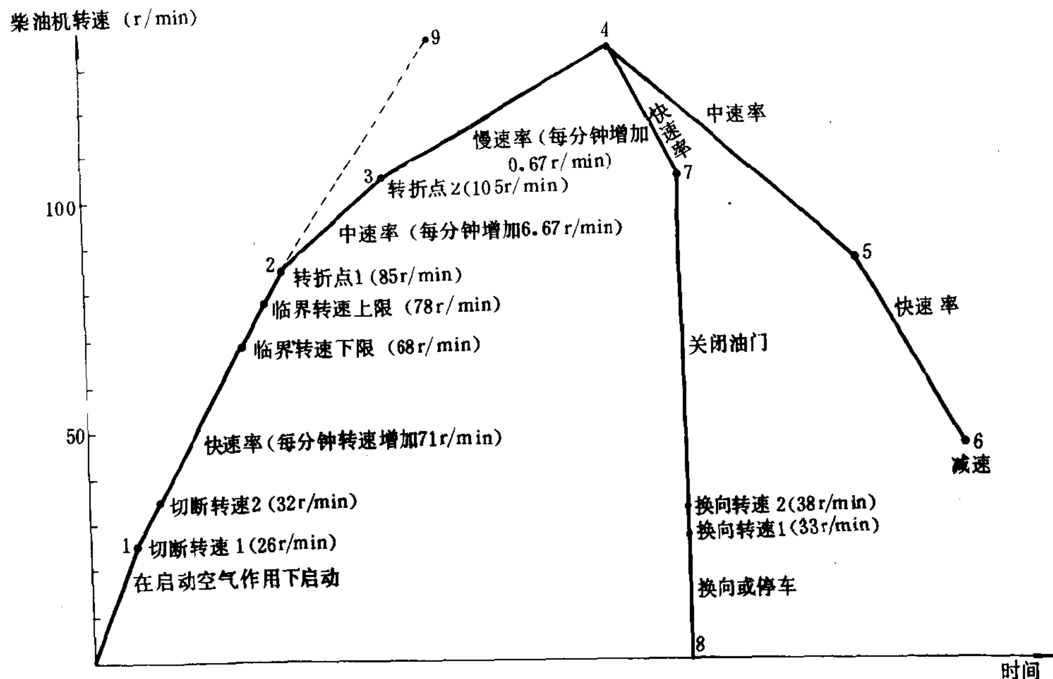


图 9.4.4—2　柴油机遥控系统的加速和减速等过程

设柴油机原来处于停车，车令要求正车全速，计算机的控制过程如下：

检测盘车机是否脱开，启动空气压力是否高于规定压力，满足启动条件时打开正车电磁阀，启动空气进入气缸。当柴油机转速达到切断转速 1（第一次启动，26r/min 时）或切断转速 2（第二次或第三次启动时，32r/min）时，关闭正车电磁阀，切断启动空气。并输出信号到转速调节电路。使电液调速器拉动油门到启动时的开度（相当于柴油机 55r/min 时的开度）。计算机检测柴油机转速。如转速继续上升，表示点火成功。否则进行第二次启动甚至第三次启动。三次启动失败就报警。启动成功后，在转折点 1（85r/min）以下，计算机使柴油机以快速率（71r/min）加速。在转折点 1 和 2 之间（85～105r/min）以中速率（6.67r/min）加速。在转折点 2 以上（105r/min 以上）以慢速率（0.67r/min）加速。直到达到车令要求的全速（132r/min）时为止。以后使转速稳定在 132r/min 上。上述加速过程如图 9.4.4—2 中折线 1、2、3、4 所示。

如果柴油机在正车全速运行，车令要求正车慢速运行。在最大转速（132r/min）和转折点 1（85r/min）之间以中速率减速，在转折点 1 以下按快速率减速如图 9.4.4—2 折线 4 5 6 所示。

如果柴油机在正车全速运行，车令要求倒车全速运行，则计算机使柴油机以快速率减速，降到转折点 2（105r/min）时，立即关闭油门。当转速继续下降到换向转速 1（正车 33r/min）时，或者在应急操纵时，下降到换向转速 2（正车 38r/min）时，计算机使凸轮轴由正车变为倒车位置，接通凸轮轴在倒车位置的开关，这时打开倒车电磁阀，启动空气按倒车定时进入气缸使柴油机由正车转向迅速制动而停转并按倒车方向转动，达到倒车切断转速 1 时，切断启动空气，开始进油，以下的加速过程与正车加速相同。

从正车全速变为停车的过程与换向时相似，从正车最大转速到转折点 2（105r/min）按快速率减速，到 105r/min 时，立即关闭油门而逐渐停车。

换向和停车过程如图 9.4.4—2 中折线 4、7、8、所示。图中的纵坐标为计算机输出给调速器的转速信号并不是柴油机的实际转速。

如驾驶台的车钟命令不适当地放在临界转速的范围内（下限为 68r/min，上限为 78r/

min)，则计算机输出的车令为68r/min。当车钟命令为78r/min以上时，计算机使柴油机以快速率(每分钟增加71r/min)通过临界转速区。

应急操纵时，在转折点1以下(85r/min以下)以快速率加速。在转折点1以上按每分钟增加23r/min的速率加速。如图9.4.4—2折线1、2、9所示。

2 微机遥控系统的硬件和软件

目前很多船舶生产单位均采用柴油机微机遥控系统，它们的硬件和软件都有各自的特点，而且与柴油机的机型有关，但它们的基本原理是相同的，以下扼要地加以说明。

2.1 硬件系统的总框图

图9.4.4—3是微机遥控系统的硬件总框图。

微机遥控系统的硬件是由许多块印刷电路板组成的，其中主要的有下列各种板。

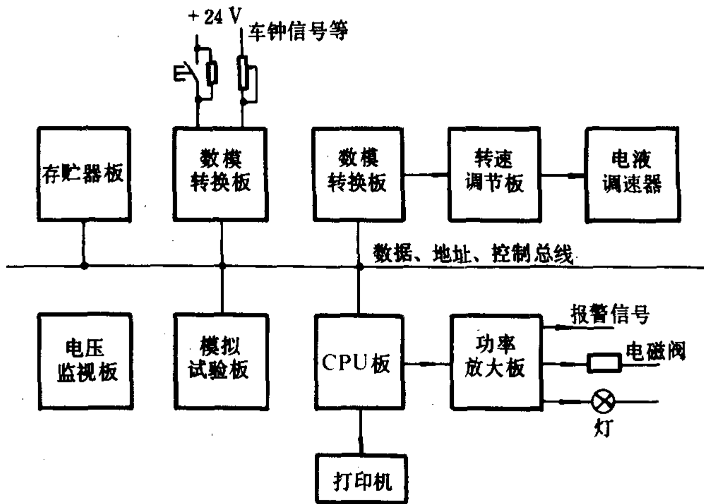


图9.4.4—3 微机遥控系统的硬件总框图

中央处理器(C P U)板

存贮器板

模数转换板

数模转换板

电压监视板

模拟试验板

功率放大板

转速调节板

以上各板的功能分述如下。

2.2 CPU 板

图9.4.4—4为CPU板的框图

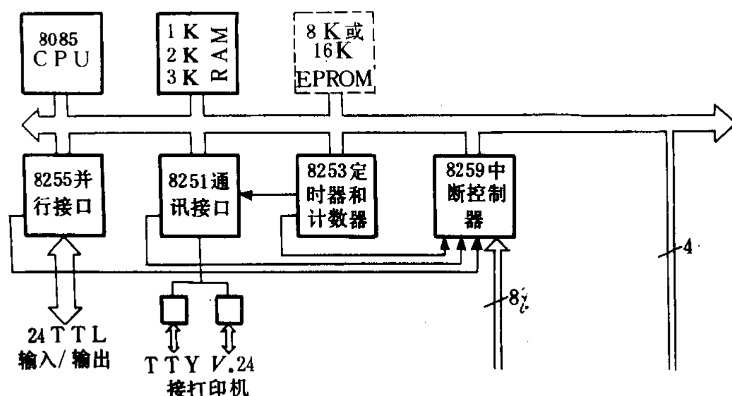


图 9.4.4－4　CPU 板的框图

这一 CPU 板采用 8085CPU，它是微机的核心。8085CPU 具有 8 位数据、16 位地址信息（低 8 位地址和 8 位数据共用 8085 的 8 个片脚，用分时的方法先送低 8 位地址、再送 8 位数据）可构成 64K 地址。并有读、写、中断请求等控制信号。可执行事先编制好的程序，进行算术和逻辑运算，实现各种不同的功能。

CPU 板上可以安装 1K、2K 或 4K 字节的读写存贮器（RAM）以及 8K 或 16K 字节的可改写只读存贮器（EPROM），除此以外，还有专门的存贮器板。

CPU 板上装有可编程序并行接口 8255，它是通用的并行外围接口。8255 有 A、B、C 三个接口，每一接口各有 8 位。在这一柴油机遥控系统中，口 A 通过功率放大电路和 8 个指示灯相连（如凸轮轴处于正车位置的指示灯、凸轮轴处于倒车位置指示灯、请求驾驶台遥控指示灯、盘车机脱开指示灯等）。当凸轮轴在正车位置时，有一个开关被凸轮轴顶动而闭合，计算机检测到这一开关处于闭合位置时，CPU 就发出一个信号通过 8255A 口的第 5 位并经过功率放大使凸轮轴在正车位置的指示灯亮。轮机员看到这一指示灯亮就知道凸轮轴处于正车位置。计算机自动遥控时也需要知道凸轮轴的位置，以便判断在操纵过程中凸轮轴是否需要换向。换向时，凸轮轴是否到达正确位置。

8255 的口 B 输出的信号通过功率放大电路和 8 个继电器的线圈相连。这些继电器的触头再发生控制信号。例如有一路和报警喇叭相连，当遥控系统本身有故障时，计算机系统能自动检测自己的故障并通过口 B 的第 4 位使报警系统报警。另外几路用于产生应急操纵信号（口 B 第 6 位）、打印机故障（口 B 第 5 位）等等。

8255 的口 C 输出的信号通过功率放大电路送到正车电磁阀、倒车电磁阀、停车电磁阀等。柴油机的停车、正车运行、倒车运行是由这些电磁阀通过柴油机的气动操纵系统来控制的。当车钟由停车位置推到正车位置时，计算机检测到启动空气压力、盘车机等等均处于允许启动状态时，则输出信号到 8255 的口 C 的第 0 位，打开正车电磁阀，使柴油机进行正车启动。

8255 的 A、B、C 口均有对应的地址。并有读、写控制信号。可以通过 A、B、C 口向外输出信号（这一系统中口 A、口 B、口 C 均用作输出口），也可以由外界输入信号到 A、B、C 口。

CPU 板上有一个可编程序定时器 8253 芯片。8253 中有三个互相独立的计数器，可以用程序设定每个计数器计数的次数。当计数器计数到规定的次数时，这一计数器的输出端输出一个脉冲。在这一遥控系统中，0 号计数器输出的信号和通讯接口 8251 的发送器的时钟端以及接收器的时钟端相连。用来控制发送或接收数据的速率。8253 的 1 号和 2 号计数器的输出端，接到中断控制器 8259 的中断输入端 IR0 和 IR1。例如利用 1 号计数器来计数。因为计一个数有一定的时间，故计数等于计时。当计数的次数等于规定的 10ms 对应的次数时，8253 的 1 号计数器的输出端就向中断控制器发出一个中断请求信号。CPU 响应中断请求后，即按中断处理程序来处理事先规定的工作。例如每 10ms 检测一次柴油机的转速，并显示这一转速等等。8253 还作为遥控系统内部的时钟，它可以给出时、分、秒。打印车钟命令时，从内部时钟读取时

间，可以打印出什么时刻发出这一车令的。

CPU 板上有一个可编程序串行接口 8251，在这一系统中作为串行通讯接口。它和车钟记录打印机相连。当计算机收到车钟发出的命令后，把这一车钟命令以及发出这一车令的时刻，通过通讯接口 8253 传到车钟记录打印机去。打印机即打印出这一车令。接着计算机还 把柴油机的实际转速每隔一定时刻送给打印机进行打印。

CPU 板上装有一片可编程序中断控制器 8259。它有 8 个中断请求输入端 IR0～IR7。在这一系统中，8 个中断请求 输入端 IR0～IR7 的功用如下：

IR0：可编程序定时器 8253 的 1 号计数器计数到规定次数(时间)时，请求中断。

IR1：同上，与 2 号计数器相连。

IR2：可编程序串行接口 8251 的接收器要接收数据时，发出中断请求，请 CPU 产生中断，而接收数据。

IR3：8251 要发送数据时，请求 CPU 中断现行工作而发送数据。

IR4：存贮器出错时，请求 CPU 中断现行工作，先处理存贮器出错问题。

IR7 和 IR6 为可编程序并行接口 8255 的口 C 的第 3 位(PC3)和第 0 位(PC0)发出中断请求信号时的输入端。

IR5：未用

这一系统中，用了 7 个中断信号。当 CPU 正在工作时，如收到中断信号，例如存贮器出错，CPU 会停止现有工作先去处理中断请求规定的任务。

2.3 存贮器板和电压监视板

存贮器板的功能比较单一。板上有地址译码电路，可以确定每一个 存贮单元的地址。存贮器板上装有可改写的只读存贮器(EPROM)。其中存有柴油机遥控系统的程序。断电后，程序不会丢失。板上还装有读写存贮器(RAM)。程序在运行过程中随 时可能改变的数据，存贮在 RAM 中。这一系统中，CPU 随时监视着存贮器。如果 CPU 发出读或写(存贮器)信号后，在 1ms 内，收不到存贮器板上发出的响应信号，则产生出错信号。用这一方法来提高系统的可靠性。

电压监视板的功能是监视计算机外围设备的电源，有＋15V、－15V、－5V 三种。也有用来监视计算机本身的电源，有＋15V、＋5V 两种。还有监视存贮器板上 RAM 的备用电池(可充电的电池，断电时由电池自动供电，以免丢失 RAM 中的信息)。板上还有监视程序是否正常运行的电路。如程序停止运行，能发出故障信号。另外板上还有各种电源指示灯。

2.4 模数转换板

在柴油机遥控系统中，驾驶台的车钟内，有一个电位器，改变车钟的车令时，电位器输出不同的电压值。这一电压信号送到模数转换板的输入端，通过模数转换变为数字量信号，由 CPU 读入。此外柴油机上装有两个测速发电机，用来测定柴油机的每分钟转速。当转速不同时，测速发电机输出不同的电压。通过模数转换板由 CPU 读入。如果两个测速发电机输出的数值不同，就表明测速发电机中的一个甚至两个有故障。CPU 就发出故障信号。在机舱集控室中，有一个限制柴油机转速的电位器。轮机长可通过它设定最大转速。这一电位器输出的电压信号也是通过模数转换板送入的。柴油机遥控系统中有很多开关量，例如凸 轮轴在正车位置、倒车位置的开关、油门处于停油位置的开关。机舱集控室中的各种按钮，如“备车”、“完车”、“请求驾

驶台遥控"、"应急停车"等按钮。在一般的计算机系统中可以通过开关量输入板输入到计算机中。但是在这一柴油机遥控系统中是通过模数转换板输入的。把开关量当作模拟量来看待，当开关接触不好时，计算机容易判断这种故障。

图 9.4.4—5 是模数转换板的框图，左边是 16 路(称为 16 个通道)模拟量的输入端，每一路有两个接线端，例如片脚 d4 和 Z6 是第 15 通道的模拟量输入端，它连到多路转换芯片 D23，D23 有 8 路模拟量输入，在某一时间选择 8 路中的一路输出到放大器，放大器输出的信号输送到模数转换芯片，在这一系统中采用的模数转换芯片是 10 位的，即输入的模拟量信号转换为 10 位二进制数(十位二进制数对应的十进制数为 $2^{10}=1024$)。为了把某一路的模拟量变为数字量，CPU 通过数据线 D_0、D_1、D_2、D_3 把选择那一路的信号送到多路转换器(四位二进制数可选 16 个通道)，然后向模数转换芯片发启动信号，经过一定的延时时间后，等模拟量转换为数字量这一过程完毕以后，CPU 分二次读取数字量，第一次读低 8 位，第二次读高 2 位，共十位二进制数。这些数据通过数据锁存器被 CPU 读入。为了选择通道和正确的读取数据，图的右边有地址译码电码，CPU 按一定的地址发出各 种读、写命令。

CPU 读入车钟命令和柴油机 转速后，进行比较、如两者不对应则发出加速、减速、或者启动、换向等命令。

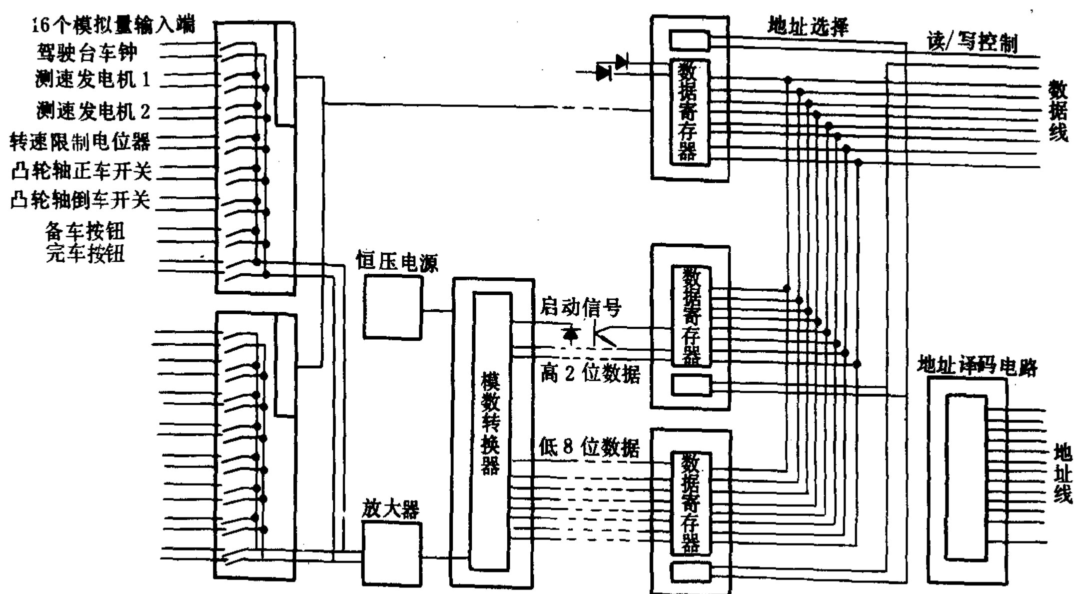


图 9.4.4—5　模数转换板

2.5　数模转换板

在这一遥控系统中，计算机检测到车钟命令和柴 油机实际转速以后，可判断柴油机是否要加速或减速。要加速或减速时，计算机输出加速或减速对应的数字量，送到数模转换板的输入端。经数模转换后变为电压信号，再送到转速调节板。在这一板上有转速调节用的比例积分调节电路、柴油机转矩限制电路，应急操纵时的电路、放大电路等等。最后输出 0～300mA 的电流，通到柴油机电液调速器控制阀的线圈中。再经过液压放大拉动柴油机的油门，改变柴油机的 转速，使达到车钟命令要求的转速。

2.6　正车或倒车启动时的程序框图

设柴油机原来处于停车位置，当车钟手柄由停车位置推向正车运行位置时，计算机按照下列程序进行操作。

框 1：

计算机遥控系统在不断地检测车钟和柴油机转速。如检测到车钟车令由停车变为正车某一转速，且检测到柴油机实际转速为零。则执行框 2 中的程序。

框 2：

计算机读盘车机的状态开关，判断盘车机是否和柴油机飞轮上的齿轮脱开。读油门杆的位置开关，判断油门是否处于停油位置。如果盘车机已经脱开，油门杆处于停油位置则执行框 3 的程序，否则回到框 2。

框 3：

计算机 通过 CPU 板上的可编程序并行接口 8255 的口 C 的第 0 位，打开正车启动电磁阀，这时控制空气进入柴油机操纵系统。同时使柴油机调速器上的停油电磁阀断电，以后调速器可以供油（下一步计算机输出信号后才能供油，现在尚未供油）。

框 4：

柴油机本身的气动操纵系统使柴油机的空气分配器和凸轮轴变为正车位置（如果原来不在正车位置的话），接着执行框 5 的程序。

框 5：

对 B&W－柴油机来说，检测自从上次停车到现在经历了多少时间。如果超过了规定的时间，启动时先要慢转一圈。在计算机中有自己的时钟。上次停车时，已把停车的时刻存贮在指定的单元中。现在重新启动时，把现在的时间减去上次停车时的时间，即得到停车的时间。和规定的停车时间推行比较，如超过规定时间，执行框 7、8、9。如没有超过规定的时间则执行框 10。

框 6：

在系统中有一个设定开关，可以取消慢转一圈。计算机读这一设定开关，如果没有取消慢转一圈则执行框 7，否则执行框 10。

框 7：

执行慢转一圈时，计算机输出信号到慢转一圈电磁阀，使柴油机在本身操纵系统的控制下慢转一圈。

框 8：

计算机检测柴油机是否已慢转一圈。如果没有走完一圈转框 7。另外转到框 26，判断慢转一圈所需的时间是否超过规定的时间，如果在规定的时间内没有完成慢转一圈，则执行框 28。使调速器的停油电磁阀通电，不允许调速器供油。并使正车电磁阀断电，停止向气缸供启动压缩空气。接着执行框 29，向驾驶台发出启动失败警报。

框 9：

当柴油机慢转一圈以后，计算机发出一信号，使慢转一圈电磁阀断电。

框 10：

柴油机慢转一圈以后，柴油机在启动空气作用下运转。计算机不断检测柴油机的转速，并计算运行的时间。

框 11：

如果计算机检测到柴油机的转速超过了发火转速，就执行框 12 的功能。否则回到框 10，柴油机继续在启动空气作用下运转，并转到框 27，计算在启动空气作用下运转的时间，如果在规定时间内还达不到发火转速，则转到框 28，使正车电磁阀断电而停止向气缸进启动空气，同

时使调速器的停油电磁阀通电而不准调速器供油。接着执行框 29 向驾驶室发出启动失败信号。

框 12：

柴油机达到发火转速后，计算机发出信号，使应急停车电磁阀断电，不会停车。也使正车电磁阀断电而关闭，不让启动空气再进入气缸中。

框 13：

计算机发出调速信号，通过数模转换板和转速调节板，使柴油机的 油门在规定时间内保持启动柴油机时的油门开度。

框 14：

计算机读取车钟要求的转速和柴油机启动时设定油门开度所对应的柴油机 启动转速相比较，如果车钟要求的柴油机转速低于启动时的转速，则执行框 15、16 的功能，否则执行框 18 的功能。

框 15、16、17：

如车钟要求的转速低于柴油机的发火转速则计算机使油门开度在一定时间内保持对应于启动时的开度(框 15)。框 16 使柴油机在燃油作用下运行。框 17 表示计算机监视柴油机的转速是否在规定时间内达到和超过发火转速，如果是这种情况则执行框 18 的功能，否则执行框 19 的功能。

框 18：

如柴油机发火成功，达到发火转速、则计算机输出信号到调速器，使调速器控制柴油机的转速，达到车钟要求的转速。

框 19：

如果柴油机启动和喷油以后，在规定时间内达不到发火转速，即发火失败，由框 17 转到框 19 等待一定时间后执行框 20 的功能。

框 20：

计算机判断是否满足重新启动的条件。如不满足回到框 20 进行等待。如果满足重新启动的条件，执行框 21 的功能。

框 21：

启动次数加 1。计算机比较实际启动次数和规定的重新启动次数。如没有超过 重新启动次数，则可以执行框 22 的功能，重新启动。否则执行框 23、24 发出启动失 败的报警信号。

框 22：

计算机发出信 号到应急停油电磁阀，使之通电，关闭油门。并使正车电磁阀通电，启动空气进入气缸使柴油机再次启动。然后转框 10 执行重新启动程序。

框 25：

第一次启动失败，进行第二次启动时，启动油门的开度比第一次的启动油门略大一些，容易使第二次启动成功。框 25 的功能是使油门开度增加一些。

以上说明为正车启动情况，倒车启动情况和正车相似，只要把正车电磁阀改为倒车电磁阀即可。

2.7 由正车变为倒车的程序框图

如船舶原来正在前进，驾驶台发出车钟命令，由正车改为倒车，其程序框图如下，这一框图的说明和正车启动相似，不再说明。

3 微机遥控系统的模拟试验

如果柴油机的遥控系统失灵，往往危及船舶安全。为此在遥控系统中，通常有模拟试验装置。在柴油机停车时可试验这一遥控系统的功能是否正常，并可用来检查硬件系统的故障，现将上述这种遥控系统的模拟试验面板上的各指示灯和电位器列举如下，参看图 9.4.4－8。

3.1 模拟试验面板上的灯和电位器

编号　　　　　　　　　　说　　　明

1　灯。驾驶台遥控时亮。

2　灯。主启动阀关闭时，可进行模拟试验，灯亮。

3　灯。电液 调速器工作时亮。

4　灯。模拟试验开关 S11 拨向上或拨向下进行模拟试验时亮。

5　灯。集控室或机旁操纵时亮。

6　灯。电液调速器不工作时亮。

S11 开关。向上拨时用驾驶台车钟进行模拟试验。向下拨时，用模拟板上的电位器 R1 代替车钟进行模拟试验。

R_1　电位器。右边的 0～10 模拟车钟正车 0～10 位置。左边的 0～10 模拟车钟倒车 0～10 位置。

7　灯。驾驶台遥控或用驾驶台车钟进行模拟试验时，灯亮。

8　灯。用电位器 R1 进行模拟试验时，灯亮。

9　灯。驾驶台遥控时灯亮。

10　灯。三次起动失败或未能发火时灯亮。

11　灯。机舱集控室控制时灯亮。

12　灯。车令为正车时亮。

13　灯。车令为倒车时亮。

14　电位器。用来整定车令的最低 转速。例如整定为 35r/min。当车钟车令小于 35r/min 时。计算机输出的车令为 35r/min。

15　电位器。用于设定临界转速的上限值。

16　左边为灯，右边为电位器。电位器用于设定临界转速的下限值。当柴油机转速大于临界转速的下限值时，灯亮。

17　灯和电位器。电位器用于设定 柴油机正车最高转速，大于这一转速时灯亮。

18　灯和电位器。电位器用于设定柴油机倒车最高转速，大于这一转速时灯亮。

19　灯和电位器。当柴油机发生第二类故障时例如冷却水温度太高，则柴油机转速自动减速。例如减为 82r/min。电位器用于设定这一转速，称为故障 2 限速。超过这一转速时，灯亮。

20　灯。当车令超过轮机长设定的柴油机 最高转速时，灯亮。在集控台上有一个电位器，轮机长用它来设定最高转速。

21　电位器。用来整定柴油机启动时的油门开度(对应于某一转速，例如 55r/min)。

22　灯。柴油机加速时灯亮。

23 灯。柴油机减速时灯亮。

24 灯和电位器。电位器用于设定柴油机以快速率加速(或减速)时,每分钟转速的增加率。这一系统设定为每分钟增加71r/min。当柴油机以快速率加速(或减速)时,灯亮。

25 灯和电位器。电位器用于设定中速率(每分钟增加或减少6.67r/min)。以中速率加速或减速时灯亮。

26 灯和电位器。意义同上,为慢速率(0.67r/min)。

27 灯和电位器。电位器用于设定应急操纵时每分钟转速的增加率(现设定为每分钟改变23r/min)以代替正常操纵时的慢速率(0.67r/min)。

30 灯和电位器。电位器用于设定由快速率变为中速率时的转速(例如85r/min),称为转折点1。转速达到这一值时,灯亮。

31 灯和电位器。电位器用于设定由中速率变为慢速率时的转速(例如105r/min)。称为转折点2,转速达到这一值时灯亮。

32 灯。把正车信号送到调速器时灯亮。

33 灯。把倒车信号送到调速器时灯亮。

模拟板右上方的方框代表电液调速器。在它前面测量点3测出的信号是计算机送给电液调速器的信号,测量点4代表电液调速器输出的信号。

以下为与柴油机实际转速有关的灯和电位器。

45 灯。柴油机停车和模拟试验时灯亮。

R2 电位器。用于模拟柴油机的实际转速。R2在0时模拟停车,右边的0~10对应于正车。左边的0~10对应于倒车。10对应于最高转速。

46 灯。用测速发电机检测柴油机的转速时灯亮。

47 灯。柴油机正车运行时亮。

48 灯。柴油机倒车运行时亮。

49 灯和电位器。电位器用于整定柴油机的实际最低转速(例如为15r/min)。柴油机实际转速大于此转速时灯亮。

50 灯和电位器。用于设定切断启动空气时的转速1(第一次启动的情况)。现设定为26r/min。柴油机转速超过切断转速1时亮。

51 灯和电位器。如果第一次启动失败,进行第二次或第三次或应急操纵时,用它设定切断启动空气时的转速2。现设定为32r/min。柴油机转速超过这一转速时,灯亮。

52 灯和电位器。电位器用于设定换向转速1,当柴油机从正车变为倒车时(或相反),柴油机的正车实际转速达到换向转速1时(现为33r/min)。凸轮轴进行换向,接着按倒车定时进入启动空气使柴油机在启动空气作用下制动。达到这一转速时灯亮。

53 灯和电位器。同上,设定换向转速2(38r/min)。应急操纵时柴油机转速下降到换向转速2时,进行换向。

54 灯和电位器。柴油机转速低于电位器整定值(100r/min)时称为港内转速。高于这一转速时灯亮。

55 灯。柴油机转速在临界转速上下限之间时灯亮。

59 灯。当驾驶台进行应急操纵时亮。

S_9 按钮。模拟试验时,按下这一按钮模拟应急操纵情况。

60 灯。计算机工作时这个灯闪光。

61　灯。电液调速器停止工作时亮。

62　灯。车钟命令改变时亮。

63　灯。柴油机第一次启动时亮。

64　灯。柴油机第二或第三次启动时亮。

65　灯。不允许柴油机启动时亮。(启动连锁)。

66　灯。油门杆在停油位置时亮。

67　灯。凸轮轴在正车位置时亮。

68　灯。凸轮轴在倒车位置时亮。

S_{10}　开关。停车做模拟试验时，开关向上模拟凸轮轴在正车位置。向下模拟凸轮轴在倒车位置。实际运行时放在中间位置。

69　灯。正车启动时亮。

70　灯。倒车启动时亮。

71　灯。停车时灯亮。

以下为故障指示灯。

34　灯。如果两个测速发电机测出的值不一致，表明测速发电机有故障，灯亮。

35　灯。由于外部原因使柴油机转速处于临界转速范围内超过 60s 以后灯亮。

36　灯。计算机硬件发生故障时亮。如果是暂时性故障，故障排除后，按一下模拟试验板上的按钮 S_7 或中央处理器板上的复位按钮。灯灭，表示故障已排除。

37　灯。打印机有故障时亮。(例如打印机断电)。故障排除后把拨动开关 s_3 置数字 8 再按一下按钮 s_4 即可使灯灭。

38　灯。车钟系统有故障时灯亮。

39　灯。计算机启动时亮。

40　灯。柴油机启动失败时亮。三次启动失败后要把车钟回到零位才能重新启动。

41　灯。柴油机发生第一类故障时(重大故障)灯亮。柴油机自动停车。停车后要把车钟放到零位才能重新启动。

S_5　按钮。模拟试验时按下 s_5 可模拟第一类故障。

42　灯。柴油机发生第二类故障(例如冷却水高温等)时灯亮。柴油机自动减速。

S_6　按钮。按下 S_6 可模拟第二类故障。执行自动减速程序。

S_7　按钮。故障发生后故障灯亮。故障排除后按下按钮 S_7 可使故障灯灭。

44　灯。模拟板内有一报警蜂鸣器。蜂鸣器响时灯亮。

S_8　按钮。按下它蜂鸣器消音。

S_3　数码开关。可以拨 0～9 共十个数码。S_3 为 0 时。把开关 S_2 和 S_1 拨到某一点号时，例如 01 时，则面板上的 7 段数字显示可显示出面板上方框中点 1(车钟的车令)的测量值(对应车令的转速值)。

S_2 和 S_1 数码开关。可以拨 0～9 共十个数字。S_2 和 S_1 构成测量点号(当 $S_3=0$ 时)或寻找故障时的故障点号(当 $S_3=1$ 时)。寻找故障的方法以后叙述。

面板上还有 4 个 7 段显示器。第 1 个可显示"＋"、"－"、"0"、"1"。第 2 到 4 个显示 0～9 共十个数。这 4 个 7 段显示用来显示测量值或寻找故障时的显示值。

3.2　模拟试验板的框图

图 9.4.4－9 为模拟试验板的框图。

计算机 CPU 板上的数据线 D0～D7、地址线、和读写控制线等与模拟试验板相连。模拟试验板上的按钮 S_5、S_6、S_7、S_8、S_9 等以及上下拨动开关 S_{10}(凸轮轴在正车或倒车)S_{11}(驾驶台车钟或电位器 R_1 发车令)是通过可编程序并行接口 8255 的口 B、口 C 输入的。模拟面板上的数码开关 S_3、S_2、S_1 也是通过 8255 的口 A 和口 B 和计算机相连的。4 个 7 段显示器是通过另一个 8255 和计算机相连的。模拟面板上的各电位器是通过多路转换器(16 路)和模数转换器相连,再通过通用输入输出口 8212 和计算机相连。每一电位器都有一定的地址。计算机可读取每一个电位器的值,从而可以知道每一个电位器的设定值。例如柴油机的临界转速的下限是多少。模拟面板上还有绿色和红色发光二极管。它们是通过通用输入输出口 8212 和计算机相连的。例如车钟发出正车车令时,计算机检测到这一车令后就按规定的地址,发出一信号使指示灯 12 高,表示车令为正车。

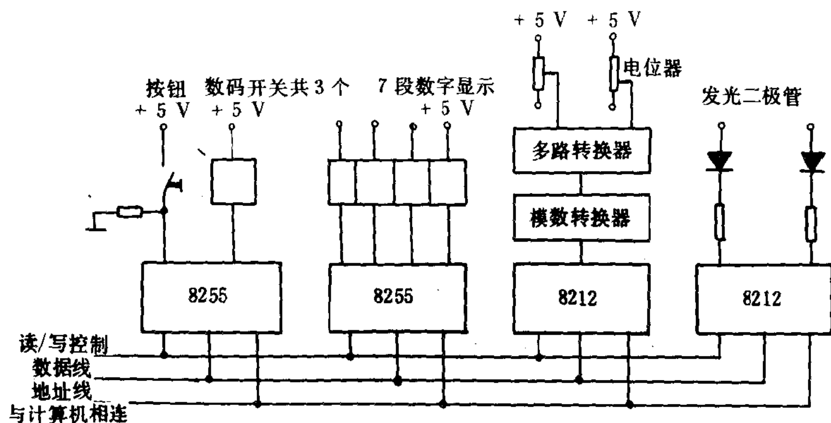


图 9.4.4－9 模拟试验板的框图

在计算机中有专门的模拟试验程序。在柴油机停车时可试验柴油机遥控系统的各种功能是否正常。

3.3 模拟试验的步骤

对这一遥控系统来说,模拟试验的步骤如下:

(1)主机处于停车状态;

(2)关闭启动空气管上的截止阀;

(3)把操纵台上两个手动自动转换开关转到自动位置;

(4)把模拟板上的开关 S_{11}拨向下面,用电位器 R_1 代替车钟进行模拟试验(如 S_{11}向上拨,用驾驶台的车钟进行模拟试验)这时模拟板上的灯 1、2、3、8、9 亮;

(5)车钟故障灯 38 应该不亮,表示车钟车令信号线路没有故障;

(6)把数码开关 S_3 置 0、S_2 置 0、S_1 置 1。

使 7 段显示器显示点号为 1 的测量值。点号 1 为车令的转速值。在模拟面板上这一测量点 1 用一个方框中的 1 字来表示;

(7)转动电位器 R1,模拟车钟的车令。顺时针转到正车 10 的位置上,7 段显示器在正常情况下应显示“＋132”左右,表示车令为 10 格时对应的正车转速为 132r/min。正车灯 12 应该亮。否则表示有故障;

(8)如果把电位器 R1 放在 0 位,7 段显示器应显示 000;

(9)如果把电位器 R1 逆时针转到倒车 10 的位置,7 段显示器应显示“－132”r/min 左右,

倒车指示灯 13 应该亮；

(10)把 S_3 置 0，S_2 置 0，S_1 置 2，用来检测测量点 2 的数据，它是经过计算机处理后输出的车令转速值；

(11)把 R_1 放在 0 位，表示车令为停车，测量点 2 的值应为 0；

(12)把 S_3、S_2、S_1 分别放在 0、0、1，从 7 段显示器观察测量点 1 的值。把 R_1 转到测量点 1 的值小于 35r/min 的任何位置上，再把 S_3、S_2、S_1 分别放在 0、0、2，从 7 段显示器观察测量点 2 的值等于电位器 14 设定的最小车令转速 35r/min。故实际车令小于 35r/min 时，计算机输出的车令仍为最小车令 35r/min；

(13)把 S_3、S_2、S_1 分别置 0、0、1，转动电位器 R_1，使 7 段显示器显示的车令转速在临界转速的范围内，即电位器 15、16 设定的临界转速 78～668r/min 范围内。灯 16 亮，表示处于临界转速范围内。把 S_3、S_2、S_1 分别置 0、0、2，7 段显示器显示出经计算机处理后的车令(测量点 2)始终等于临界转速的下限值 68r/min；

(14)转动模拟车钟的电位器 R_1，把 S_3、S_2、S_1 分别置 0、0、1，这时 7 段显示器显示车钟的车令转速，当这一转速等于或大于临界转速的上限值 78r/min 时，经过计算机处理后，测量点 2 的值和测量点 1 的值是相等的；

(15)把模拟车钟的电位器 R_1 沿正车方向转到底。7 段显示器显示测量点 1 的值可以大于正车最大转速的整定值 132r/min。但经过计算机处理后的车令转速不会大于，最多只能等于 132r/min。灯 17 亮；

(16)把 R_1 沿倒车方向转到底，7 段显示器显示测量点 1 的值可以大于电位器 18 设定的最大倒车转速 105r/min。但经过计算机处理后的测量点 2 最多只能等于 105r/min。这时灯 18 亮。

(17)把 R1 转到正车全速位置，测量点 1 的值应在 132r/min 左右。这时按下按钮 S_6，模拟柴油机发生第二类故障。柴油机应该自动减速，计算机检测到发生第二类故障时，输出到测量点 2 的值变为电位器 19 设定的转速 82r/min。灯 19 亮；

(18)把 R_1 转到正车全速位置，测量点 1 的值应为 132r/min。如果把操纵台上由轮机长设定的转速限制电位器放在 95%的位置(也可为其它值)，则测量点 2 的值约为 125r/min 左右，即计算机检测到的车令为 132r/min，实际输出的车令为它的 95%左右。

(19)把 R_1 置停车位置，然后转到正车全速位置。这时测量点 2 的值从 0r/min 变为 132r/min 计算机对这一车令进一步处理，输出到测量点 3 的值分三个阶段进行加速。在 0 到 85r/min(由电位器 30 设定转折点 1 的转速为 85r/min)之间时，以每分钟增加 71r/min(由电位器 24 整定)的快速率加速，灯 24 亮。当转速升高到 85r/min 时，灯 24 灭。灯 30 亮，改用每分钟增加 6.67r/min 的中速率加速。当转速升高到转折点 2 时 105r/min，灯 30 灭。灯 31 亮，改用每分钟增加 0.67r/min 的慢速率加速，灯 26 亮；

(20) 把 R_1 从停车位置转到正车全速位置。如果按下按钮 S_9，模拟应急操纵，则转速在 0 到 85r/min 之间时，以每分钟增加 71r/min 的快速率加速。在 85r/min 到 132r/min 之间时以应急操纵时的速率，每分钟增加 23r/min 的速率加速；

(21)如果把 R_1 从正车全速位置转到正车慢速位置时，则测量点 3 以每分钟减速 6.67r/min 的中速率减速，灯 25 亮。当转速降到 85r/min 即转折点 1 时，改用每分钟减少 71r/min 的快速率下降；这时灯 25 灭，24 亮，降到车钟规定的转速时为止；

(22)如果 R_1 从正车全速转到停车位置 0 时，则从正车全速降到转折点 2 即 105r/min 时，

是按每分钟减少 71r/min 的快速率减速的，灯 24 亮。当转速降到 105r/min 时，油门迅速关闭，灯 31 灭，测量点 3 的转速值迅速降至 0；

(23)在以上试验中，加速时灯 22 亮。减速时灯 23 亮。车令为正车时灯 12 和 32 亮。车令为倒车时灯 13 和 33 亮。灯 16 到 20，当车令超过它们的设定值时(由电位器 16 到 20 设定)亮。其中灯 19 只有当发生第二类故障而且车令值又达到电位器 19 的设定值时才亮。灯 30、31 当车令超过它们的设定值时亮。灯 24、25、26、27 分别在快加速、中加速、慢加速、应急操纵加速时亮(或减速时亮)；

(24)电位器 R_2 是模拟柴油机实际转速用的。为了显示柴油机的实际转速，可把 S_3、S_2、S_1 分别置 0、0、6，即显示测量点 6 的值。转动 R_2，当测量点 6 的转速超过最小实际转速(15r/min)、切断空气转速 1(26r/min)、切断空气转速 2(32r/min)、换向转速 1(33r/min)，换向转速 2(38r/min)、高速(100r/min)时对应的灯 49、50、51、52、53、54 亮。

以下为启动柴油机的模拟试验。

(25)把模拟实际转速的电位器 R_2 放在 0 位，模拟车令的电位器放在正车全速位置。表示车令要求正车全速而柴油机处于停车位置。这时车令为正车的灯 12 亮。柴油机的遥控系统执行启动柴油机的程序。正车启动灯 69 亮。这时应该把模拟凸轮轴位置的开关 S_{10} 向上拨动到凸轮轴正车位置。凸轮轴在正车的指示灯 67 亮。计算机执行正车启动程序，最多延时 6S，第一次启动指示灯 63 应该亮。如果在延时的 6S 内，把模拟柴油机实际转速的电位器 R2 转到对应于正车切断空气转速 1(26r/min)以上，表示柴油机的转速已超过切断空气转速，启动成功。如果在上述 6S 内，不把 R2 转到正车切断空气转速 1(26r/min)以上，表示启动后，柴油机转速没有在规定的 6S 内达到 26r/min，第一次启动失败，灯 63 灭。等待 2min 以后，计算机自动进行第 2 次启动，第 2 次启动灯 64 亮。如果在第 2 次启动后的 6S 内，不把 R_2 转到切断空气转速 2(32/rmin)以上，表示第二次启动失败，接着进行第三次启动，如果在第三次启动后的 6S 内仍然没有把 R_2 转到 32r/min 以上，表示三次启动均失败，启动失败灯 10 和 40 亮。这时应把模拟车钟的电位器 R1 回到 0 位，才能重新进行启动模拟试验。

以下为进行换向模拟试验的方法。

(26)把模拟车钟的电位器 R_1 放在正车全速位置，把模拟柴油机实际转速的电位器 R_2 也放在正车全速位置。表示柴油机正在正车全速运行。

(27)把 R_1 从全速正车转到全速倒车位置，灯 13 亮。转动模拟柴油机实际转速的电位器 R_2，使“实际转速”慢慢下降，当降到换向转速 1(33r/min)时，换向转速指示灯 53、52 相继熄灭，倒车电磁阀动作，倒车启动灯 70 亮。延时 12S，如果在 12S 内没有把模拟凸轮轴位置的开关 S_{10} 拨到倒车位置，则表示换向失败，灯 10 和 40 亮。只有把 R_1 放到 0 位后才能做重新启动的模拟试验。

(28)如果在上述换向延时 12S 内，把 S_{10} 从正车拨到倒车位置，表示凸轮轴换向成功，这时把模拟实际转速的 R_2 转到倒车位置即可进行倒车启动的模拟试验(与正车启动过程相似)。

(30)如果从正车转速降到换向转速 1(正车 33r/min)的 15S 内，柴油机的“实际转速”没有从正车变为倒车，即 R2 没有从正车转速变为倒车转速，也表示换向失败，灯 10 亮。只有把 R_1 放到 0 位后才能做重新启动的模拟试验。

4　微机遥控系统故障的排除

在船上，微机遥控系统发生故障时，排除的方法如下：

(1)检查系统的各种电源,如+5V、-5V、+15V、-15V(根据系统而定)是否正常。

(2)各指示灯的亮和灭是否正常。如不正常,该亮的灯不亮,应试验指示灯本身是否损坏,如指示灯本身是正常的。可根据指示灯的情况进行检查。

(3)观察模拟面板上"计算机工作"指示灯 60 是否闪光。如果指示灯本身是好的,电源也是正常的,则可以检查各印刷电路板是否插牢,有无松动和接触不良,连接线有否松开。如果这些均无问题,可关闭电源拨下 CPU 板或存贮器板,更换备用的 CPU 板或存贮器板,重新打开电源看是否正常。

(4)如模拟面板上的"计算机硬件故障"灯 36 亮,则检查模数转换板上的两个红灯是否亮。如果红灯亮则更换这块模数转换板、换板时光要切断电源,检查模数转换板上输入通道上的微型保险丝有无烧坏。

为了检查硬件故障,还可以用模拟面板上的 7 段数字显示器来检查电路是否正常。检查时,把开关 S_3 放在 1,S_2 和 S_1 分别放在检查点号的十位数和个位数上。对开关信号来说,如 7 段显示器显示的值为 1023,表示触点闭合。如显示值为 200,表示触点断开。对模拟量来说如显示值大于 1080 或小于 50 均表示这一路有故障,可能是连接线断开。

例如模拟面板上"最小实际转速"电位器是一个模拟量,它的硬件故障检查点号为 $S_3=1$、$S_2=0$、$S_1=0$。把 S_3、S_2、S_1 分别放在 1、0、0、时,如 7 段显示器显示的值大于 1080 或小于 50 就表示这一路有故障。

每一模拟量和每一重要的开关量均有对应的检查点号,用上述方法可检查每一路是否正常。详细点号可参考该系统的说明书。

(5)如模拟面板上的"测速发电机故障"灯 34 亮,表示遥控系统中的两个测速发电机测出的柴油机转速有一定的偏差。可检查测速发电机在 3000r/min 时输出的电压是否为 200V 如不是 200V 表示测速发电机本身有故障。如为 200V 可在印刷电路板上用电位器来调整其零点和最大值,使两个测速发电机输出的值相同。

(6)如果模拟面板上的"车钟故障"灯 38 亮,表示驾驶台的车钟信号输入到计算机的电路有故障。可关闭启动空气和遥控系统的控制空气。把自动和手动转换开关放在自动位置。把模拟板上的开关 S_{11} 向上拨。用驾驶台的车钟进行模拟试验。这时模拟面板上的灯 1、2、3、4、7、9 应该亮。把 S_3、S_2、S_1 分别放在 0、0、1 位置。把车钟放在 0 位,模拟面板上 7 段显示器的值应为 0。把驾驶台的车钟放在全速正车位置,7 段显示器的值应为 132 左右,车钟放在倒车全速位置时,7 段显示器的显示值也应为 132 左右。如果显示值不对,则可能是驾驶台车钟内的电位器或者调整零点和量程的电位器调整不当。

(7)排除微机遥控系统的故障时还应注意下列事项:

计算机系统中有些集成电路芯片不能用手触摸其片脚,以免由于人体带有静电而击穿器件。贮存备用印刷电路板时,最好放在导电的泡沫塑料包装材料中,使片脚间互相短路。

拨下或装上印刷电路板或维修传感器时,先关掉计算机的电源以免损坏印刷电路板上的器件。

焊接印刷电路板上的元件时,最好切断烙铁的电源,利用余热进行焊接,以防烙铁漏电时损坏印刷电路板上的器件。

接插件接触不好,往往是产生故障的原因之一。仔细检查接插件是否插牢,有无接触不良现象。

(8)打印机有故障时,模拟面板上的"打印机故障"灯亮。这时可检查打印机的电源是否正

常。电源保险丝有否烧坏。打印机的纸是否用完。打印机和计算机之间的连线有无接线不良或断线。如以上均无问题可更换一台打印机，判断是否打印机本身有故障。

(9)除了硬件故障以外，对于新安装的系统，如果程序中有错误也会使运行不正常。如果是已经使用过的系统，存贮程序的只读存贮器损坏，也会使整个系统不能正常运行。

第5章 变距桨自动遥控系统

1 变距桨及其工作特性

可变螺距螺旋桨简称为变距桨或调距桨。这种螺旋桨通过操纵机构可使桨叶相对于桨毂转动，并改变其螺距。操纵桨叶转动的方式，在小功率的船舶上多采用人工机械操纵，大功率船舶则广泛采用液压传动。它具有机构紧凑、出力大、灵活机动和便于实现遥控等特点。

1.1 变距桨装置的结构

变距桨装置除具有叶面为螺旋面的桨叶和桨毂外，还包括滑块式转叶机构和液压式螺距控制机构。

1.1.1 滑块式转叶机构

滑块机构是变距桨常用的转叶机构，如图9.4.5—1所示。当推杆1沿轴向移动时，带动滑块2在其槽中滑动，滑块通过销轴带动曲柄3及与曲柄3相固接的桨叶绕桨叶轴旋转，改变桨叶的螺距。

1.1.2 螺距控制机构

若改变桨叶的螺距，必需使滑块转叶机构的推杆1沿轴向移动，与此同时，还应锁定在所要求的螺距位置上。通常采用液压式螺距控制机构来完成这项任务。液压式螺距控制机构主要由伺服油缸和反馈装置所组成，如图9.4.5—2所示。

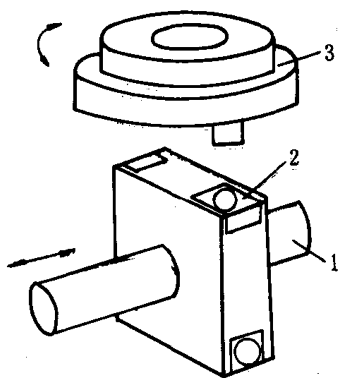


图9.4.5—1 滑块式转叶机构

1—推杆；2—滑块；3—曲柄

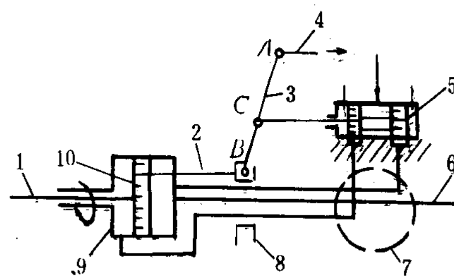


图9.4.5—2 液压式螺距控制机构原理图

1—活塞杆；2—反馈杆；3—浮动杆；4—指令杆；5—伺服滑阀；6—传动轴；7—配油轴套；8—反馈滑套；9—伺服油缸；10—活塞

当改变螺距的位移指令信号，向右（或左）拉动指令杆4时，则A点向右（或左）移动，由于开始时支点B不动，于是C点右移（或左移），使伺服滑阀5打开油路。压力油供入伺服油缸9的右侧（或左）空间，并由油缸9的左侧（或右侧）排油，推动伺服活塞10左移（或右移），带动与转叶机构推杆1（见图9，4，5—1）相连的伺服活塞杆1一并左移，按指令方向改变桨叶的螺距。在伺服活塞左移的同时，反馈杆2经滑套8拉动杆3上的B点左移（或右移），在A点不动的情况下，C点左移（或右移），致使伺服滑阀5回中，关断油路，锁定桨叶螺距为所要求的位置。

为了改善伺服油缸的锁定功能，亦有在油路中设置液控单向阀的。

1.2 变距桨的工作特性

变距桨的推力系数 K_2 和阻力矩系数 K_1 与进程比 λP 之间的关系，可通过实验测得，即变距桨的作用曲线，如图 9.4.5—3 所示。

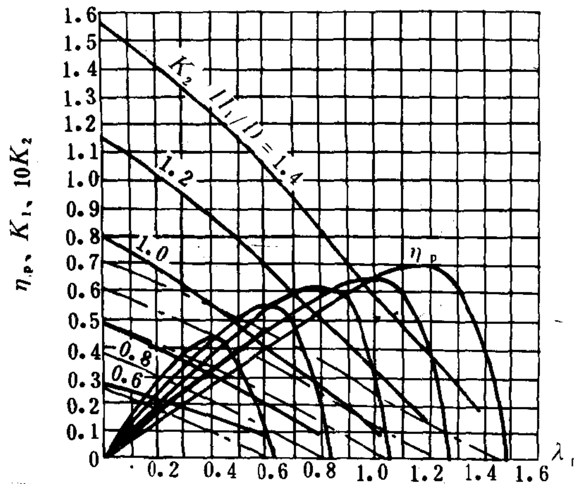


图 9.4.5—3 变距桨的作用曲线

图 9.4.5—4 为变距桨的特性曲线。图中示出了螺距比 H/D、消耗功率 Np 和转速 n 之间的关系。

在变距桨遥控系统中，主机和由主机直接（或间接）驱动的变距桨，共同构成了系统的控制对象。系统对象的工作特性应为主机与变距桨的配合特性，如图 9.5.4—5 所示。

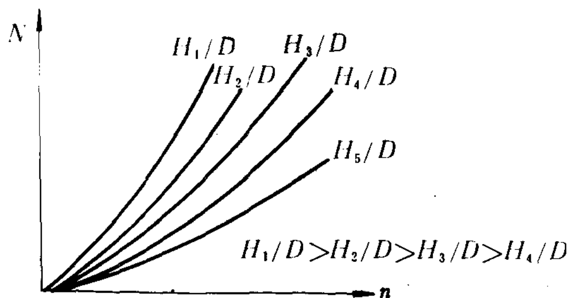


图 9.4.5—4 变距桨的特性曲线

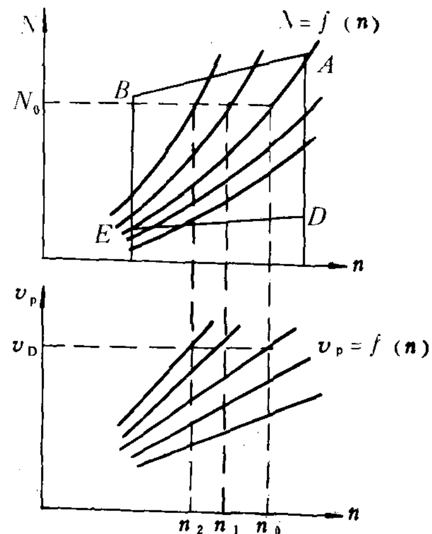


图 9.4.5—5 主机与变距桨的配合特性

图中螺距比 H/D 作为参变量，示出了 N=f(n)和 V_p=f(n)两组曲线簇。

现假设航速 V_p 为一定值（令 $v_p=v_o$），变距桨的消耗功率为 N_0，则螺距比 H/D 与转速 n 可有不同的配合组。系统对象的这种工作特性，使之在工况变动频繁的船舶上得到了广泛的应

用。此外，变距桨还有定速工作特性，即主机在恒速运转的情况下，可以选用不同的螺距(即不同的螺距角)而获得不同的船舶航速。这样，主机就可以作为一种恒速机而加以充分利用。

1.3 变距桨的主要优点

1)变距桨能改变船舶的操纵性能，并且易于实现遥控。如果需要改变船速，可以通过改变主机的转速或者改变变距桨的螺距来实现。特别是在主机不停车亦无需换向的情况下，可以通过改变变距桨的螺距很容易实现船舶倒航，亦可在主机定速的情况下，直接改变螺距使船舶从零到最大航速之间进行无级调速。这种性能，为船舶实现"无人机舱"自动化提供了极为有利的条件。

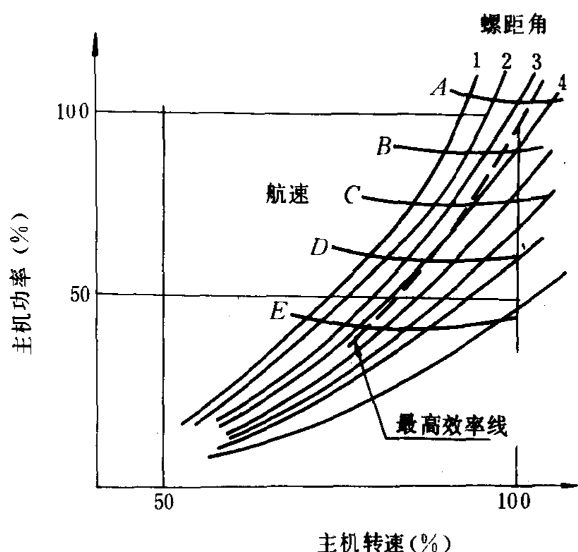


图 9.4.5—6 装置的最高效率曲线

2)能使动力装置实现最佳功率运转。采用变距桨后，任何一种航速，都可以通过不同的螺旋桨转速(主机转速)与不同的螺距角组合来实现，这样就可以保证在装置效率最高的前提下操纵船舶。如图 9.4.5—6 所示。

3)使主机甚至整个动力装置的结构简化。采用变距桨的柴油主机，可以省掉一套倒车机构，或者使主汽轮机省去倒车级，且可提高倒车功率。此外，采用变距桨的主机可恒速运转，这样一来能直接用主机驱动发电机，即实现轴带发电机的省能型动力装置。

2 变距桨的控制方式

变距桨的控制方式主要有三种：即螺距控制；自动负荷控制和非跟踪控制。

2.1 螺距控制(或称跟踪控制)

螺距控制是指：当主机的转速调定后，在固定的柴油机转速下(一般是额定转速)，通过改变变距桨的螺距角来改变船速。这种控制方式，由于主机转速固定不变，故可以省掉主机遥控装置，同时便于实现主机驱动发电机等辅机。为了防止由于螺距角的改变而引起主机超负荷，在采用螺距控制方式的系统中，一般都装有超负荷保护装置(即 OLp)，其功能是：当螺距角过大时，主机负荷超过人工设定的负荷值，它可以自动减小螺距角，防止主机超负荷运行。

2.2 自动负荷控制(A.L.C)

自动负荷控制方式是指：仅用单一操纵手柄，同时设定主机的转速、负荷和变距桨的螺距角。当主机的实际负荷超出由操纵手柄设定的负荷时，系统可根据偏差的大小自动调节螺距角，以保证主机在各种不同的工况下不超负荷的安全运行。

主机的转速与螺距角设定的原则是使主机和螺旋桨的综合效率最高，即按图 9.4.5—6 所

示的最高效率曲线设定主机的转速和螺距角。而负荷则与转速的三次方成比例。其操纵手柄位置、主机转速、螺距角和负荷之间的设定关系如图 9.4.5—7 所示。

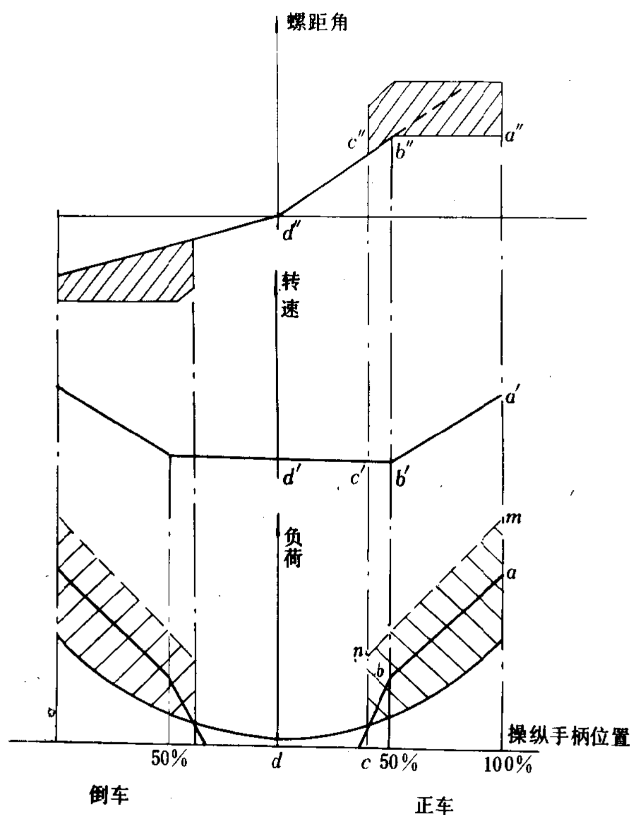


图 9.4.5—7 自动负荷控制的设定曲线

从图 9.4.5—7 中可以看出，当手柄位置在满刻度的 50%以内时，设定转速为恒定值，即采用螺距控制方式。这是由于在低负荷范围内，螺距的变化对负荷的变化影响较小，所以不宜用改变螺距角的方法来补偿负荷的偏差，即不宜采用自动负荷的控制方式。而负荷设定值主要由螺距角所决定，如图 9.4.5—7 中 bc 段所示。在高负荷范围内，采用自动负荷控制，其负荷设定值主要应与转速设定值之间近似成三次方关系，如图中 ab 段曲线所示。其螺距角设定值为一恒值(图中“ab”段)，其值的大小是根据船舶在系泊情况下，主机不超负荷所具有的螺距角再稍偏低取值。在 ALC 控制系统中，螺距角、转速和负荷三条设定曲线是通过三个函数发生器实现的。

2.3 非跟踪控制

非跟踪控制是应急操作的一种控制方式。当螺距控制或 ALC 控制等子系统出现故障时，而电源和螺距液压驱动系统仍能正常工作的情况下，可利用驾驶台上的应急操纵按钮直接控制变距桨的螺距角，改变船舶航行速度。

不论采用何种控制方式的变距桨遥控系统，为保证船舶安全航行，均应设置非跟踪控制方式。

3 变距桨自动遥控系统的组成

目前，变距桨自动遥控系统多采用功能较全、控制方式较多的自动负荷控制系统(即 A.

I.C控制)。这种控制系统按其控制手段可分为常规控制系统和微机控制系统两种。常规的变距桨自动遥控系统主要由主机转速遥控子系统、螺距控制子系统和自动负荷控制子系统组成。其原理框图如图9.4.5—8所示。变距桨微机控制系统是在常规控制系统的基础上,利用微机取代几个函数发生器和PId控制器而实现的。

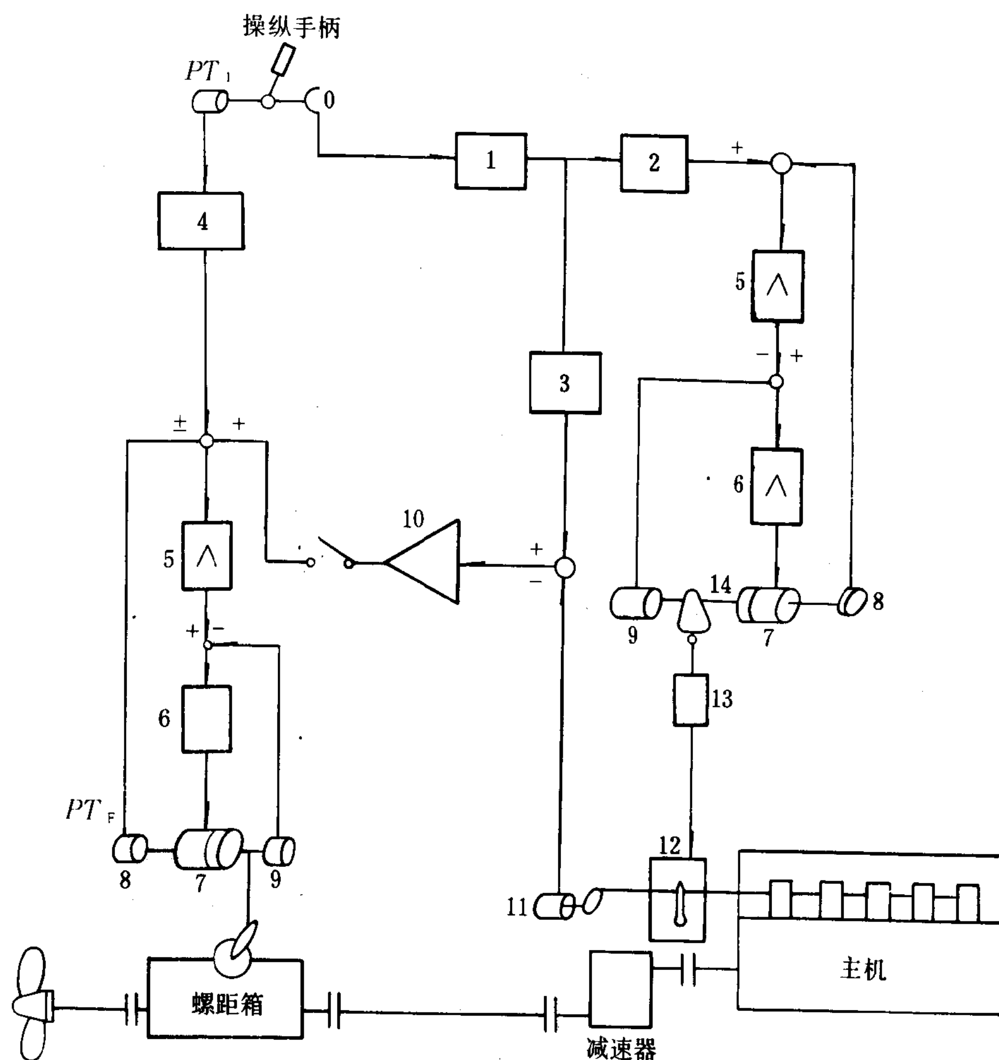


图9.4.5—8 变距桨自动遥控系统组成原理框图

1～4—函数发生器;5—偏差放大器;6—伺服放大器;7—伺服电机和减速器;8—反馈电位器;9—测速电机(或微分装置);10—螺距校正器;11—负荷传感器;12—调速器;13—气动调压阀;14—偏心凸轮装置

3.1 主机转速遥控子系统

见图9.4.5—8右半部分。从驾驶台操纵手柄设定的转速电压信号,经设定转速发送速率控制函数发生器1,再经主机转速函数发生器2和放大器5与6之后,按指令要求控制伺服电机7回转,伺服电机经减速装置减速后,带动偏心凸轮14转动某一角度。由偏心凸轮控制气动调压阀13。气动调压阀输出一个与手柄转角相对应的气压信号。该气压信号作为PG调速器的转速设定信号,控制柴油主机维持在该转速下稳定运转。

为了准确地控制伺服电机转动的位置，在伺服电机位置反馈回路中装有位置反馈电位器8，同时，利用反馈回路中的微分装置9改善系统的控制性能

3.2 螺距控制子系统

见图9.4.5—8左半部分。螺距控制子系统由具有位置反馈和测速反馈的随动系统和螺距控制液压伺服系统所组成。

3.2.1 螺距控制的随动系统

当驾驶台操纵手柄转过某一角度时，发讯电位器PT_1便送出一个与之成比例的电压信号，该信号经过桨叶角函数发生器4、放大器5和6之后，驱动伺服电机7按指令要求方向回转。经减速装置减速后带动指令杆移动(图9.4.5—2中的杆4)。为了准确地控制伺服电机的转动位置，在电机输出轴上装有反馈电位器8，实现电机的转动位置反馈。同时，在电机的同轴上还装有测速发电机9，实现系统的积分较正，以改善系统的控制性能。

3.2.2 液压伺服控制系统

CPP装置中的液压伺服控制系统，主要用来进行力的功率放大。它接受螺距控制随动系统送来的转角位移信号，即指令杆的位移信号，经过螺距控制箱将其变成液压信号并进行放大，推动驱动装置中的油缸柱塞产生位移，通过曲柄连杆等装置直接改变变距桨的螺距，其结构原理可参阅图9.4.5—2。

3.3 自动负荷控制子系统(A.L.C控制)

见图9.4.5—8的中间部分。当操纵手柄发出控制指令后，首先经过设定转速发送速率控制函数发生器1，再经负荷设定函数发生器3，按照负荷设定曲线要求送出负荷设定值。由安装在调速器输出轴上(或燃油齿条杆端)的负荷传感器11检测出主机的实际负荷值，两者同时送入PID校正器10中。根据其偏差大小按PID运算规律进行运算放大，其输出信号送至螺距控制回路的输入端，进一步校正螺距角。

3.4 函数发生器

在变距桨遥控系统中，主要有四个函数发生器，即图9.4.5—8中的1、2、3、4，现分叙如下：

3.4.1 设定转速发送速率控制函数发生器1：

对于柴油主机，为了防止超负荷，在高负荷情况下加速时，应缓慢进行。故系统中应设置发送速率控制功能。例如，某中速柴油机为主机的变距桨遥控系统中，此功能的控制特性如图9.4.5—9所示。

图中曲线b用于正常航行时的加速过程；曲线c为主机在冷态启动后，高负荷下的加速过程；曲线a为船舶在紧急操纵时的加速过程。三种加速过程的程序优先级别为a→c→b。

从图中可以看出，a、b、c三条过程曲线在A点开始分离，分离点A可按主机型式不同在正倒车满刻度的10%～50%之间调整。

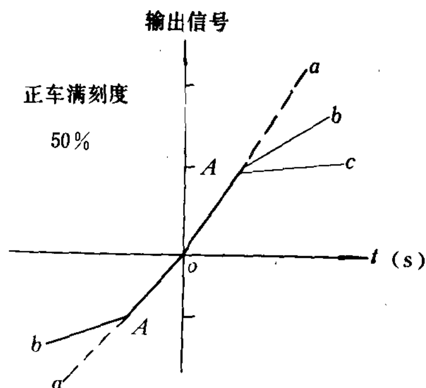


图9.4.5—9 发送速率控制特性

加速 速率控制的原理，如同主机自动遥控系统中的加速速率控制子系统一样，是利用不同频率的脉冲发生器构成的数字控制系统实现的。

3.4.2 主机转速函数发生器

主机转速函数发生器的主要功能是将转速设定信号变换成如图 9.4.5—7 所示的设定转速曲线所要求的设定信号，其实现的线路主要由死区电路、限幅电路以及求和电路所组成。

1)死区电路

死区电路如图 9.4.5—10 所示。

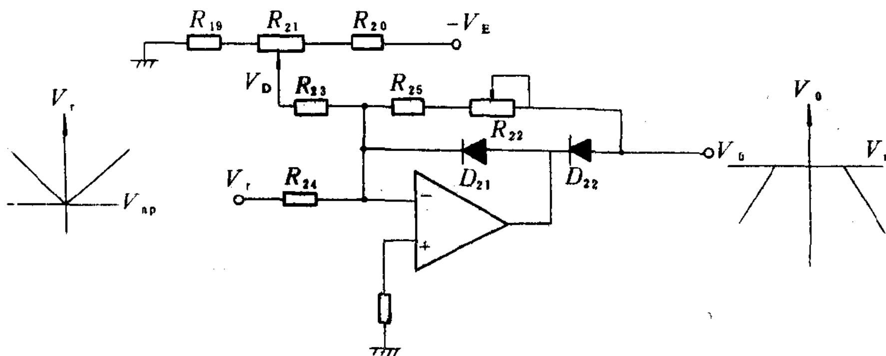


图 9.4.5—10 死区控制电路图

图中 V_r 为输入信号，即车钟手柄设定的电压信号；V_D为负电源($-V_E$)在 R_{21}上的分压值。

当 $V_r<|V_D|$时，则 D_{21}导通，D_{22}截止，电路无输出，即 $V_o=0(V)$；

当 $V_r>|V_D|$时，D_{21}截止，D_{22}导通，若 $R_{23}=R_{24}$，则电路输出信号为：

$$V_o=-\frac{R_{25}+R_{22}}{R_{23}}(V_r+V_D)$$

死区宽度由 R_{21}调节，输出曲线的斜率由 R_{22}调节。

2)限幅电路

限幅电路如图 9.4.5—11 所示。

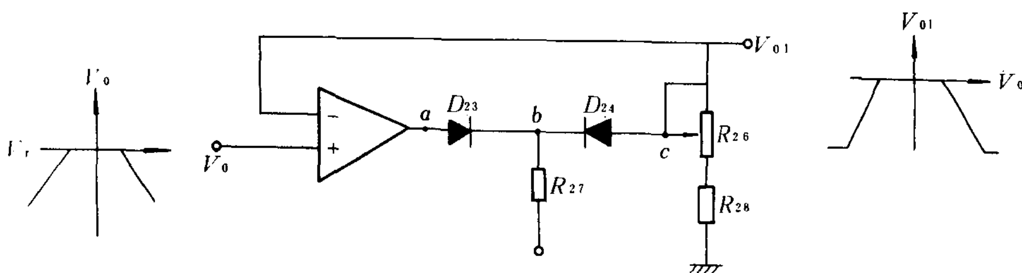


图 9.4.5—11 限幅电路

假设图中 a、b、c 三点的电位分别为 V_a、V_b、V_c。

当 $V_O<0$ 时，且$|V_O|<|V_C|$，则 $V_a>V_b$，$V_B<V_c$，二极管 D_{23}、D_{24}均导通，若略去其正向管压降，则电路相当于一个电压跟随器，所以，$V_{o1}=V_o$；

当 $V_0<0$，且 $|V_o|>|V_c|$时，$V_a<V_b$，D_{23}截止。而 $V_b<V_c$，D_{24}仍导通，所以：

$$V_{O1}=V_c=\frac{R_{28}+R_{26}}{R_{27}+R_{28}+R_{26}+R_D}(-V_E)=-KV_E$$

式中 R_D 为 D_{24}的正向电阻，K 为 C 点的分压比，它由 R_{26}按要求来调节。如果 $V_O>0$，则 D_{23}导通、D_{24}截止，电路输出为零。所以，电路输出：

$$V_{O1}=\begin{cases}V_O\text{当 }V_c<V_o<0\text{ 时：}\\V_c\text{当 }0>V_O<V_c\text{ 时；}\\\text{当 }V_O>0\text{ 时。}\end{cases}$$

3）求和电路

求和电路如图 9.4.5—12 所示。

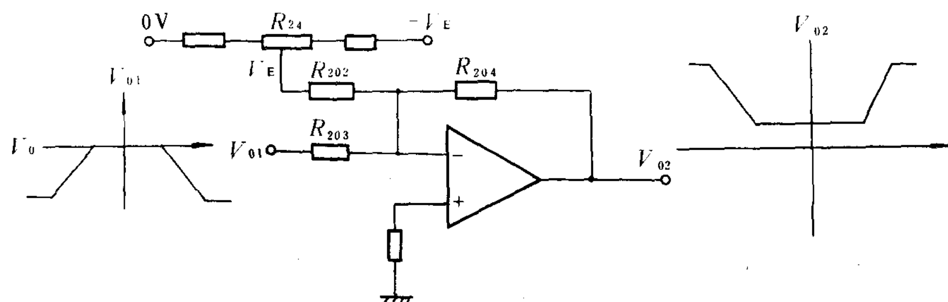


图 9.4.5—12 求和电路

图中 V_{O1} 为限幅电路的输出电压值，V_E 为负电源（$-V_E$）在电阻 R_{24} 上的分压值。V_{O2} 为电路的输出值。从图 9.4.5—12 中，可直接求出电路的输出电压 V_{O2}，令 $R_{203}=R_{202}$，则

$$V_{O2}=-\frac{R_{204}}{R_{202}}\left(V_{O1}+V_E\right)$$

通过上述三个单元电路，即可把操纵手柄设定的转速电压信号转换成图 9.4.5—7 中转速设定曲线所要求的电压信号。

3.4.3 负荷函数发生器 3

负荷函数发生器的功能是将操纵手柄设定的负荷信号转换成符合负荷设定曲线所要求的设定信号。其实现的电路，由两个具有不同死区值和不同斜率的死区电路以及一个求和电路所组成，其组成框图如图 9.4.5—13 所示。

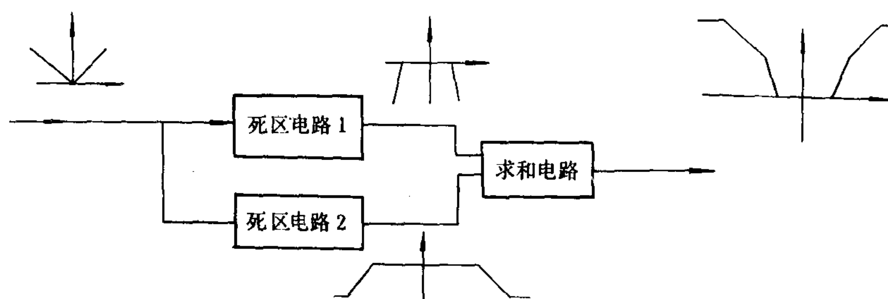


图 9.4.5—13 负荷函数发生器原理框图

3.4.4 桨叶角函数发生器 4

桨叶角函数发生器的功能是将操纵手柄设定的螺距角设定信号，转换成符合设定曲线要求的螺距角信号。其原理电路图如图 9.4.5—14 所示（图示为正车部分，倒车电路与之相同）。它主要由线性检波电路和限幅电路构成。

操纵手柄设定的螺距角信号 $V_r>0$，送入线性检波电路，放大器 A_1 输出负电压 V_O，它相当于一个比例放大电路，$V_O=-\frac{R_2}{R_1}V_r$。

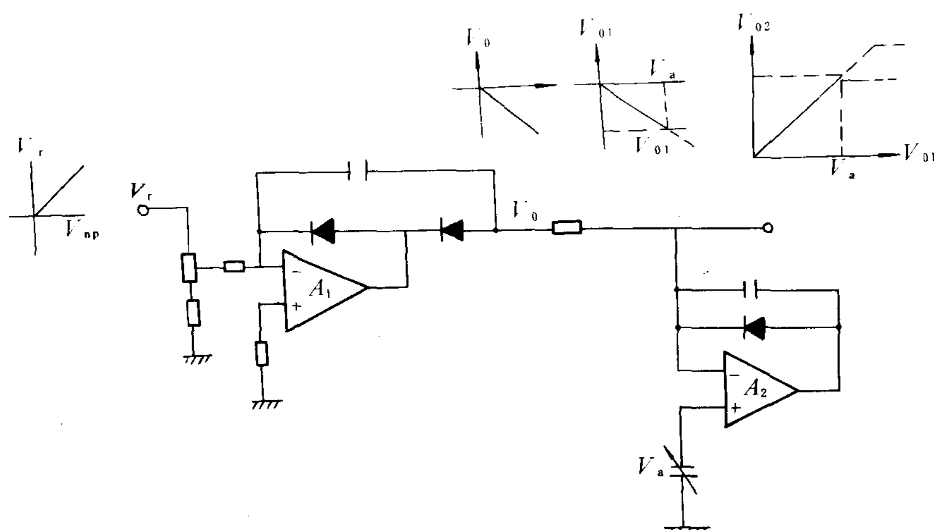


图 9.4.5—14　螺距角函数发生器原理电路图

V_O 作为限幅电路的输入信号，当 $|V_O| > |V_a|$ 时（V_a 为一个电压源，其输出电压是可调的），放大器 A_2 输出正电压值，若忽略二极管 D_3 的正向管压降，则电路输出 $V_{O1}=V_a$；当 $|V_O| < |V_a|$ 时，则 A_2 输出负电压信号，D_3 截止，电路没有限幅作用。其电路的输入输出特性如图中曲线所示。在输出端 V_{O1} 后面再加接一个反相放大器（图中未示出），即可得到符合螺距角设定曲线所要求的输出特性。

4　系统的操纵部位及其转换

变距桨自动遥控系统的操纵部位有：驾驶室操纵控制台、驾驶室左右两翼控制站、机舱集中控制室操纵台和机旁等四处。这四个操纵部位可通过设在驾驶室或集控室的操纵部位选择开关来选择。

在集控室中设有集控室组合控制、集控室非跟踪控制、驾驶台控制和机旁控制等四档操纵部位选择控制开关。

在驾驶室中设有驾驶室、左舷翼、右舷翼等三档操作部位选择开关。其转换操作过程如下：

1）从集控室组合控制到驾驶室组合控制的操纵转换

集控室四档操纵部位转换开关转到“驾驶台控制”操纵部位，同时将驾驶室的操纵部位选择开关也扳到“驾驶室控制”部位，然后将驾驶室操纵手柄放到与集控室操纵手柄相匹配的位置上，并按下驾驶室应答按钮，即可实现该项操纵转换。

2）从驾驶室到集控室控制的操纵部位转换

将集控室的操纵部位选择开关从“驾驶室控制”部位转换到“集控室控制”操纵部位，即可实现在机舱集中控制室对变距桨装置进行遥控操作。

3）从驾驶室控制到左右两翼控制的操作部位转换

将驾驶室里的三档操作部位选择开关从“驾驶室”操纵部位转到左（或右）翼操纵部位，并将左翼（或右）的控制杆扳到与驾驶室操纵手柄相匹配的位置。

4）从左右两翼到驾驶室控制的操作部位转换

将驾驶室的三档操作部位选择开关，从“左翼”（或右翼）操纵部位转到“驾驶室控制”的操纵部位，并将驾驶室操纵手柄位置放到与左翼（或右翼）控制杆相匹配的位置。

应该注意的是：从驾驶台左翼（或右翼）不能直接转换到右翼（或左翼）控制的操纵部位，如需要进行这种转换，应先从左（或右）翼转换到驾驶室控制的操纵部位，再从驾驶室控制转到右（或左）翼的操纵部位。

对于双机双桨或双机单桨的变距桨推进装置，为控制上的方便，在每套装置中还应装有离合器。对离合器的啮合与断开，也应该能在驾驶室或机舱集中控制室中进行遥控。

5）变距桨自动遥控系统的分析与试验检查

5.1 遥控系统的分析

对于一个已经投入运行的变距桨自动遥控系统，为了了解其动态与静态性能是否符合设计要求，以及更好地维护与调整系统，使之安全、经济的稳定运行，需要对系统的性能进行必要的分析，比如系统的稳定性、快速性和准确性等。

要分析系统的性能，首先要建立系统的数学模型。系统的数学模型是在组成系统的元部件的数学模型的基础上建立起来的。有了系统的数学模型，就可以利用微分方程法、频率特性法、根轨迹法或状态空间法对系统进行分析。或者是利用现代手段，电子模拟计算机或数字计算机对系统进行仿真分析（具体分析方法在此从略）。

5.2 变距桨遥控系统的试验检查

定期检查保养是维护船舶自动化设备正常运行的重要保证。对于影响船舶运行安全的主推进装置自动遥控系统尤为重要。变距桨自动遥控系统是一个复杂的控制系统，应根据组成系统的各元部件定期进行检查保养。

5.2.1 系统的一般检查与试验

1）机械部件：重点检查液压调速器、螺距驱动机构和燃油控制杆系等执行机构动作是否正常。其检查方法参阅有关说明书。

2）气动系统：对电/气转换器以及控制气源的净化装置等应按各自的说明书要求检查其功能。

3）对遥控系统中的压力继电器、温度继电器要经常检查其工作是否正常。此外，每隔一年应利用专门试验设备进行模拟试验检查，其试验方法如下：

（1）电加热法检查温度继电器（温度开关）

试验装置如图 9.4.5—15 所示

①从系统的管路中取出感温器—温包，放入装有水或油的试验槽中。

②通电加热，并搅拌槽内液体，使槽内液体温度均匀。

③观察并记录温度开关的动作值（或温度表指示值），再与标准值核对并调校。

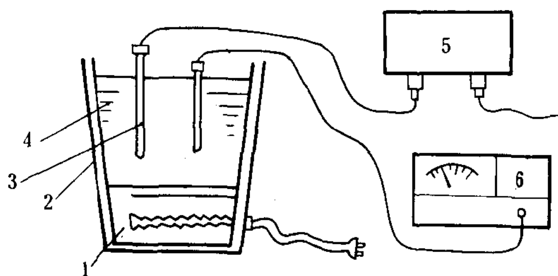


图 9.4.5—15 检查温度继电器的试验装置

1—电加热器；2—试验槽；3—传感器；4—水或油；5—温度开关；6—温度表。

（2）压力继电器（压力开关）的试验

压力继电器的试验装置如图 9.4.5—16 所示。

①关闭截止阀，接通试验管路。如果原来装置上无试验接头，则可临时将压力继电器接头从管路上拆下，与试验管相接。

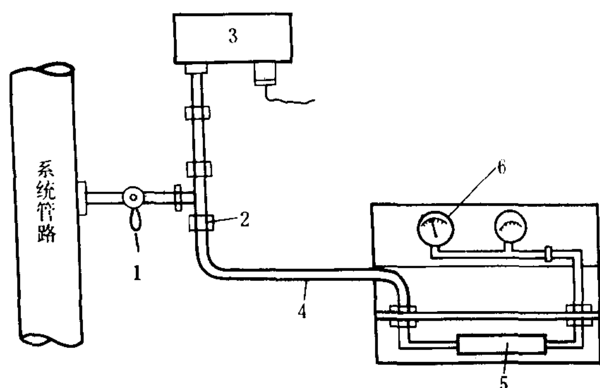


图 9.4.5 16 压力继电器试验装置

1—截止阀；2—试验接头；3—压力继电器；4—试验软管；5—手动液压泵；6—压力表

②利用手动泵逐步加压。

③观察并记录压力继电器的动作值，再与标准值校对。

4)电气系统

(1)控制系统电路的检查

如果控制系统采用了大量的继电器和行程开关等有触点控制，大多数故障起因于触点的接触不良。因此，在日常检查维护时，应按系统流程图重点检查继电器等触点动作是否正常。

(2)调速系统 电路参数的检查

调速系统各单元印刷电路板插件应定期进行清洁与检查，电路参数整定电位器在长期使用后应进行检测，并与系统的原始参数进行核对，如发现参数偏 移，应予以校正。插件板的检查周期一般为 6 个月。

5.2.2 系统故障的检查方法

对于复杂的变距桨自动遥控系统 ，在出现故障时，如何能迅速查出并排除故障，主要取决于管理人员对系统熟悉的程度和管理经验的积累。但掌握故障的分析方法与检修技巧也是重要的。故障分析检查 的方法主要有：

1)分段法。采用分段法有利于缩小检查范围，以便迅速查出故障。分段的原则是：把整 个系统 按其功能分为若干子系统，将各子系统再按能源形式不同分为若干段，根据故障的性质分析确定可能发生故障的部位，然后按信号流程逐级检查。

2)置换法。根据分析结果，对可能出现故障的元部件，用正常的备用部件置换，进行实效试验，以最后确定故障的原因。

3)模拟法。用外加正常信号，输入到欲检查元部件的有关输入端(注意：应采取措施将原输入信号隔离)，验证元部件的动作或输出信号是否正常。

第6章　内河船舶主机遥控系统

1 概　　述

内河船舶的主机遥控是指内河船舶的主推进装置由驾驶室进行遥控。

主机遥控的主要功能是：

1)能在驾驶室以简单的操纵方式(通常指习惯的车钟操纵方式)按主机操作程序要求进行遥控。

2)遥控状态和人工操纵状态之间的转换应简便可靠,并有醒目指示。

3)驾驶室、监控室(主控制站)、机旁均应设紧急停车装置,并在船舶主电站失电时仍能维持工作。

4)在驾驶室、监控室(主控制站)、机旁应分别按"船舶建造规范"要求设置与主机遥控有关的信号、仪表和报警指示。

5)主推进装置遥控应能自动避开或防止主机长期在临界转速范围内运转。

目前内河主要是柴油机船舶,由于受航道限制,其吨位及主柴油机功率都较小(数十千瓦到数千千瓦),因此柴油机主机的启动、操纵比较方便,对增减速等程序要求一般亦较海船简单。但另一方面由于内河船舶航道条件恶劣,避让、靠离码头十分频繁,操纵主机的次数远高于海船(数十倍其甚至数百倍),因此主机遥控装置的可靠性、灵活性就显得更为重要。

基于上述原因,对内河船舶主机遥控功能还应满足如下要求:

(1)遥控操纵主机从最低转速转换到开始反向运转的时间,应不大于15s。

(2)对长途客船和航行于长江等急流航段的电动主机遥控系统,要求在正常供电中断时,能自动转换为应急电源或变流机组供电,并应能继续有效工作。

(3)设有机舱监控时,虽不要求在监控室具有控制主机的完整功能,但监控室的设置应能使值班人员直接目视到机舱情况,并应有直接通往机舱的通道,以便值班人员迅速到达机旁控制处。

(4)当主机滑油系统压力过低、冷却水温度过高或主机超速时,均不要求主机自动停车,但应报警。

(5)在船舶航行时,对设有主机遥控装置的主机各控制处所之间,应能进行控制的有效转换,在转换时应不影响船舶的运行状态。

(6)通常对主柴油机启动后的增速以及运行中的增减速无严格时限要求。

主机遥控是机舱自动化的最基本内容之一。遥控的基本内容是二项:一是启动、换向、停车、调速之间的逻辑配合;二是油门调节。我国内河船舶主机遥控装置的研制已有近30年的历史,但直到70年代后期才得到较迅速的发展。目前我国内河船舶所采用的主要柴油机机型,基本上都已有国产的遥控装置可与之配套(见表9.4.6—1)。由于主机遥控对轮机人员劳动条件的改善、操纵控制的及时准确、主机和船舶航行安全性以及劳动生产率的提高均有显著效益,因此在内河船舶中获得广泛应用,并把它列为新船建造的基本要求之一。

目前我国内河船舶普遍采用的中速柴油机,就其操纵方式来说主要可分为二大类:一类

是所谓单手轮操作方式，实际上就是主机的启动、换向、调速、停车等逻辑配合已在柴油机设计制造时作了整体解决，在操作时只需简单地控制单一手轮的转动即可。实现这类主机遥控从控制原则来说可以有二种：一种是采用速度自动跟踪的方式，另一种是采用位置自动跟踪的方式，由于通常的柴油机本身均已带调速器，而且后一种方式在系统结构上较为简单并与船上人工操作的习惯一致，因此大部分的内河船舶主机遥控采用了位置自动跟踪的方式。另一大类是所谓多手柄操作方式，即此类主机的启动、换向、调速、停车等逻辑配合并非由主机本身在设计制造时解决，而是依靠操纵者用多手柄操作来加以实现。对这类主机的遥控往往以采用分散执行机构而不变动原柴油机结构和操作方式的办法为宜。

实现主机遥控的型式可以是多种多样的，由表 9.4.6—1 可见，目前较普遍采用的是气动式、电动式和电—气混合式。本章将以上述三种遥控型式的典型装置为例以及对在内河航运中所特有的 Z 型推进器遥控系统分节作一介绍。

表 9.4.6—1 **国产内河船舶主机遥控装置一览表**

序	遥控装置型号	适用机型	装置控制型式	研制单位	生产单位	备注
1	CQY 型	110、120、135、150、160、180、200、等机（带倒顺离合减速箱）	气动式	广东省航运科学研究所	广州岭南船厂	
2	180℃ 气动遥控装置	180℃系列（可逆转主机）	气动式	广东省航运科学研究所	广州船舶机械厂	
3	CDY 型	CDY—1 型：8NVD48、新 300、200、320 机（可逆转主机） CDY—2 型：老 300 机 CDY—3 型：6～8NVD36 机	电动式	长江航运科学研究所	南京航标厂	
4	TDY 型	8NVD48、6～8NVD36、新 300 机（可逆转主机）	电动式		宜昌航议厂	
5	CQBY—250—IZY 型	红岩 6250 机（带倒顺离合减速箱）	电—气式	长江船舶设计院	红岩机器厂	安阳机床电器厂提供配套
6	CDQY—1 型	6L—350、9L—350、6350ZC、8350ZC、8350GZC 机（可逆转主机）	电—气式	上海长江轮船公司	常州航海议器厂	
7	CHQ—Ⅱ 型	东风—苏尔寿 250,200 及红岩 250 等机（带倒顺离合减速箱）	气动式	长江航运科学研究所	安阳机床厂	

2　180C 柴油机气动遥控装置

2.1　主要技术参数及组成

本气动遥控 装置适用于 180 系列增压、非增压及中冷增压的各种可逆转柴油机。在功能上具有启动、调速 、换向、停车的程序化，连续启动（二次自动启动、可调）及无级调速等 特点。

2.1.1　主要技术参数

1）系统

最大控制距离：　60m　此时信号滞后时间≯1.5S

停车状态下（不换向）至启动完成时间：3～3.5s

全速状态下换向至启动完成时间：≯10s

2）气源及管系

工作气压：　0.7～0.8MPa

空气过滤精度：　50μm

空气导管：　φ8×1 紫铜管

3）调速定值器

实船使用输出气压范围 ：　0.24～0.54MPa

回差：　≯0.02Mpa

4）调油伺服器

调油活塞直径：　60mm

空负荷（台架试车）转速回差：　≯±7r/min

实船 试验转速 回差：　≯±25 r/min

5）换向缸

换向时允许的柴油机转速：　0～80r/min

换向时最低空气压力：　0.5～0.6MPa

6）启动

启动空气压力：　1.2～3.2MPa

第一次启动时间：　1～1.5s

第二次启动时间：　3～4s

二次启动间隔时间：　3～4s

7）主机滑油流量传感器

信号发出时柴油机转速：　80r/min

信号消失时柴油机转速：　0～20r/min

8）报警系统

电源：　直流　24V

启动空气报警压力　上限　3.0MPa　下限　1.8MPa

遥控空气报警压力：　上限　0.75MPa　下限　0.5MPa

冷却水报警压力：　≤0.01MPa

冷却水报警温度：　>60℃

润滑油报警压力：　　≤0.08MPa

2.1.2 组成

本装置由气源、操纵台、换向机构、启动控制机构、调油伺服器、紧急停车机构及报警(电气)系统等7个部分组成。

1)气源

气源取自柴油机启动用的压缩空气，经过滤、减压后供至系统。

2)操纵台

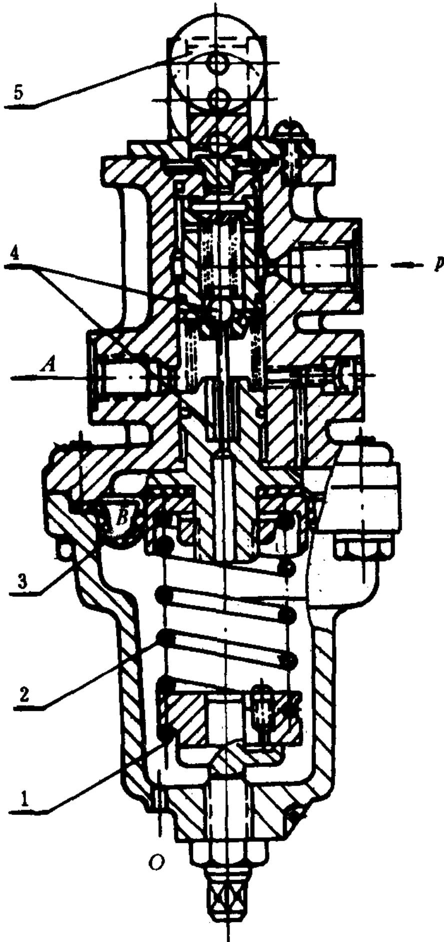


图9.4.6 1 调速定值器

1—调整块；2—弹簧；3 膜片；4—进排气阀；5—滚轮

操纵台是操纵器、仪表和报警单元的总体。它安装在驾驶室。

操纵器除了在遥控时可作主令发讯器用外，在机舱手控时可兼作"传令钟"使用。它由一个凸轮控制三个阀件—调速定值器和正、倒车操纵阀。调速定值器如图9.4.6—1，是一个带溢流阀的空气调压阀，当操纵器手柄转动时带动凸轮，使定值器的滚轮产生位移，即使A孔有与此位移成比例变化的气压信号输出。此气压信号分别送到二个操纵阀。当手柄向前(或向后)扳动时，正车(或倒车)操纵阀凸轮顶开，调速定值器的气信号则相应由正(或倒)车管道送出。

3)换向机构

换向机构接受操纵台的气信号执行换向程序，并向启动控制机构发出换向完成信号。换向机构由联锁阀、换向控制阀、储液瓶、换向缸、正倒程序阀和梭阀组成。

联锁阀为二位二通阀，在换向和启动时接通气源，当柴油机启动成功后自动切断控电气源。

换向控制阀是一只遥控和手控二用的二位五通滑阀，它感受来自操纵器的气压信号，控制压缩空气进入换向缸。手扳换向控制阀的手柄，也可进行气动换向。

换向缸安装在柴油机凸轮轴的前端盖上。从换向控制阀来的气压先进入储液瓶，通过液压传递，推动换向缸活塞实现换向。

正倒程序阀是一只机控的二位三通阀。它由与换向活塞杆同步的联动杆凸轮控制，反映凸轮轴的位置。

4)启动控制机构(参阅图9.4.6—3)

启动控制机构由启动伺服器、主启动阀、启动延时阀、连续启动阀、组合阀和流量传感器组成。

启动伺服器安装在主启动阀前端，它是一个小型单作用气缸、气控、手控两用。启动时信号进入气缸推动活塞，顶开主启动阀实现启动。

启动延时阀由先导滑阀和流量控制型延时阀两部分组成。以延时阀芯由一个活塞控制：右端外层活塞受流量传感器控制，内层活塞受针阀1控制。

连续启动阀与启动延时阀板接成一体，它由两个滑阀及两个延时阀组成。停车状态时，启动延时阀和连续启动阀的左滑阀常闭，右滑阀常开，不让针阀1气室内的空气放出。

当完成换向动作后，由梭阀发出的信号进入K腔打开左滑阀，把非恒压信号转换成0.7MPa的恒压信号，此恒压空气由P进入后经右滑阀至A输出作第一次启动，同时针阀1、2、3向各自的气室充气。经一定时间后（1～1.5s）针阀。气室压力达到一定值，推动启动延时阀右滑阀的内层活塞，切断启动信号使第一次启动过程结束。若一次启动成功，则柴油机转速上升，在转速>80r/min时。流量传感器发出信号，使启动延时阀的右滑阀的外层活塞左移，从而锁死右滑阀使之不再作第二次启动。

若柴油机一次启动失败，则经一定时间后针阀2起作用，使连续启动阀的左滑阀右移，把启动延时阀右端内层活塞腔的气体放出。从而使此滑阀复位，作第二次启动。若第二次启动结束时柴油机仍不能启动成功，则针阀3使连续启动阀右滑阀左移，切断针阀，气室的释放通路，使启动延时阀右滑阀再次关闭，这样柴油机就不再继续启动。

组合阀由一个梭阀和一个单向节流针阀组成。它除了在启动时同时向调油伺服器和启动伺服器供气外，在运转过程中还起到缓慢平稳加速（用针阀节流）和迅速减速、停车的作用。

流量传感器是一专用元件，它由一个恒压差式活塞流量计和一个二位二通阀组成。它安装在由柴油机带的滑油齿轮泵至滑油过滤器的滑油总管上，用测量总管内滑油流量的办法来间接测定柴油机的转速。当柴油机转速超过80r/min时，由于活塞与内腔衬套的节流作用，活塞上下二个腔内的压差增大，使活塞发生上跳，从而顶开气阀发出气信号。当柴油机转速下降到20～0r/min时，活塞重新下落复位，从而关阀气阀使气信号消失。

5）调油伺服器（图9.4.6—2）

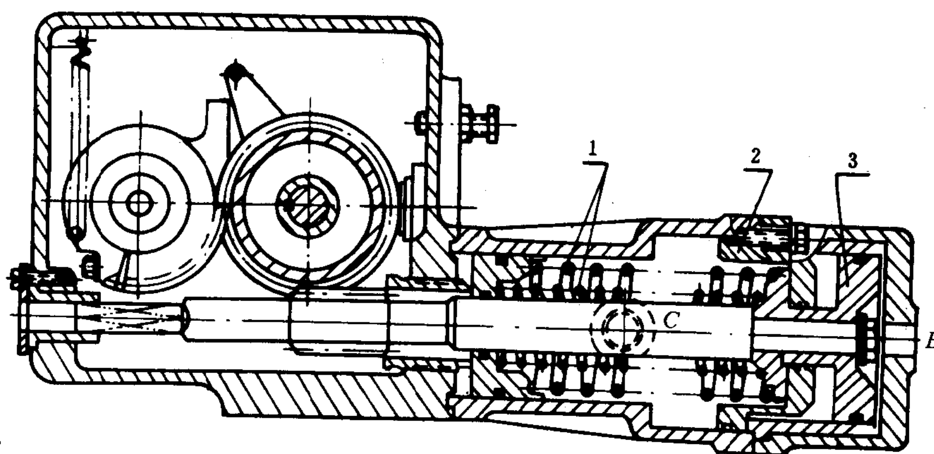


图9.4.6—2　调油伺服器

1—平衡弹簧；2—限油活塞；3—调油活塞

调油伺服器安装在调速器的侧面，它有一个调油活塞和一个限油活塞。柴油机启动时，二个活塞腔同时进入相等压力（0.7MPa）的压缩空气，使活塞杆行走位置限止在一定的位置上，既保证足够的启动油量又防止启动过程粗暴。启动后限油活塞腔内压缩空气释放，调油活塞腔改由来自操纵台的气信号控制，此时活塞杆的行程即由该气信号的大小决定。

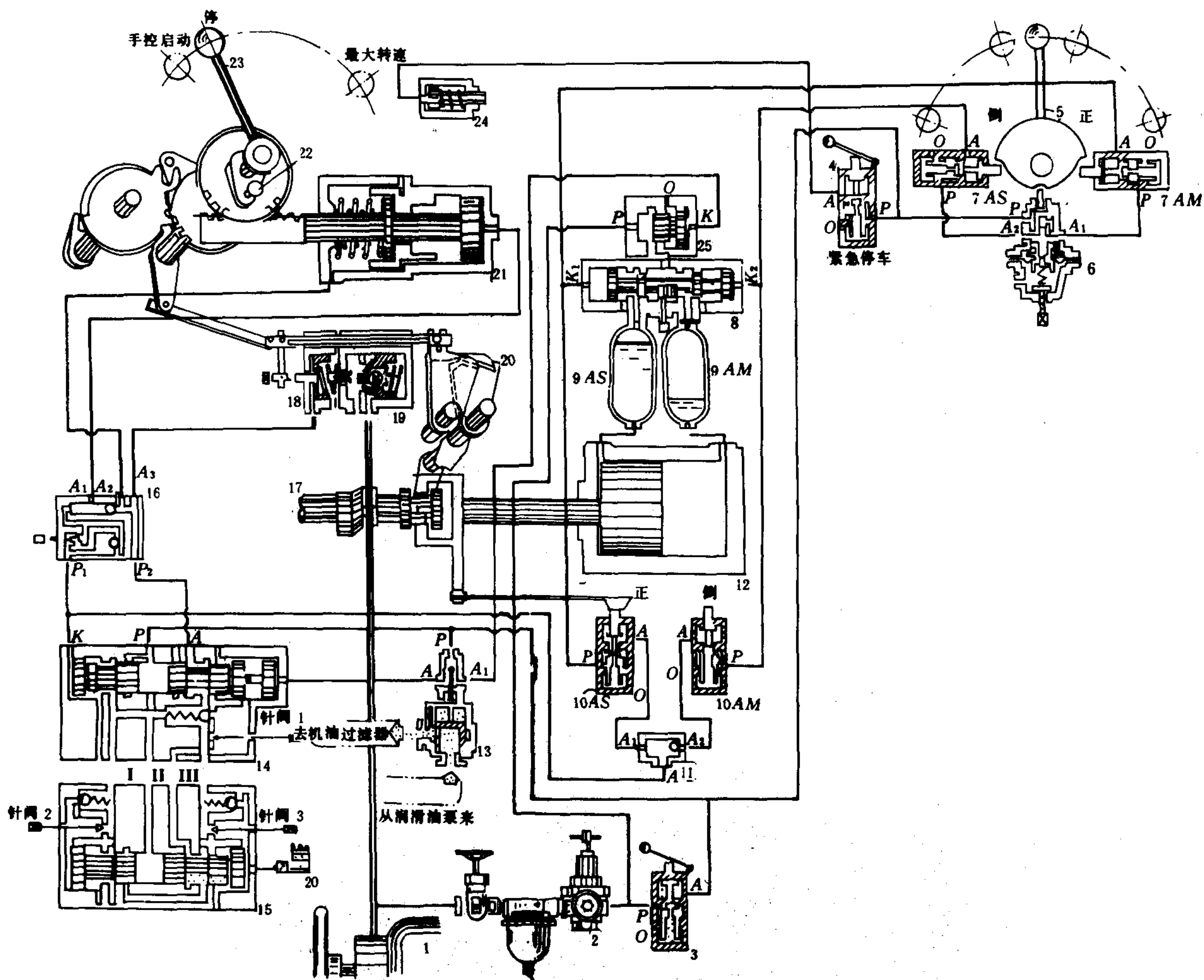


图 9.4.6—3　180C 遥控装置结构原理示意图

1—空气瓶；2—截止阀、过滤器、减压阀；3—快速切断阀；4—紧急停车阀；5—操纵器；6—调速定值器；7—正、倒车操纵阀；8—换向控制阀；9—储液瓶；10—程序阀；11—梭阀；12—换向缸；13—流量传感器；14—启动延时阀；15—连续启动阀；16—组合阀；17—凸轮轴；18—启动伺服器；19—主启动阀；20—机械连锁块；21—调油伺服器；22—遥控－手控转换插销；23—调油手柄；24—紧急停车缸；25—连锁阀；26—压力断电器

6)紧急停车机构

由紧急停车阀和紧急停车缸组成。在需要紧急停车时，气压送入紧急停车缸，使其活塞杆克服弹簧力而伸出，从而迫使高压油泵的齿条退至停油位置，实现紧急停车。

7)报警(电气)系统

其作用是监视主机的主要运转状态，此外亦传递驾驶台对主机的指令。

2.2 工 作 原 理

遥控系统工作原理示意图如图 9.4.6—3 所示

2.2.1 停车

将操纵器 5 置于中间位置。调速定值器 6 切断控制气源，油门执行器 21 中活塞右端的空气经组合阀 16、梭阀 11、程序阀 10、操纵阀 7 泄放大气，此时活塞在弹簧作用下右移至“0 ”位．使柴油机燃油被切断，实现停车。

2.2.2 正车(倒车)

将操纵器 5 置于正车(前进)的任一位置 。具有一定压力的压缩空气即由定值器 6 通过正车操纵阀输出，其一路使换向控制阀 8 处于正车状态，另一路至正车程序阀。若此时柴油机凸输轴 17 处于正车位置，则指令信号即经过阀 10、11 后分二路输出：一路经组合阀 16 准备去调油伺服器 21 进行调速，另一路至启动延时阀 14 将其左滑阀右移，从而使控制气源经阀 14 由 A 口输出，并通过组合阀 16 推动伺服器 21 中的活塞，并带动油门使 之处于“启动油门”位置，组合阀 16 另有一路控制 气源送至启动执行器 18，推动主启动阀 19 进行启动。若启动成功，柴油机转速升高，到大于等于 80r/min 时，流量使感器 13 的阀打开，其输出一路去切断阀 14 右活塞的进气源，亦即切断启动气源使 启动结束，并使调油伺服器 21 在指令气源的作用下进入调速，另一路气送至连锁阀 25，去控制 换向控制阀 8 复位，以使 右储液瓶中的压缩空气 慢慢放出，为倒车换向作好准备。

若一次启动失败，则由连续启动阀 15 和启动延时阀 14 相配合，自动实现第二次启动。若在二次自动启动失败后操纵人员需再一次启动，人工把操纵器 5 的操作手柄退回到停车位置后，再推至正车位置，此时即可实现第三及第四次的自动启动。

若在操作者发正车指令时，柴油机凸轮轴处于倒车位置，且流量传感器 13 无信号输出(表示柴油机允许换向)，则控制气源便经过阀 25 及 8 进入右储液瓶，通过液压推动换向缸 12 的活塞左移到正车位置（即图 9.4.6—5 所示位置)，实现换向。换向之后程序阀才会有气源通过梭阀输出，去进行启动和调速 。

倒车的情况与正车类似，故不再赘述。

2.2.3 紧急停车

通过手按紧急停车阀 4，使控制气源进入紧急停车缸 24，直接拉动高压油泵齿条到停油位置，实现紧急停车。

2.3 使用和维护

2.3.1 操作注意

1)启动时一般以先将操纵手柄放在“1”档位置，实现慢车启动，然而再按需要加速 为宜。启动后大约 6～7s 内，若转速表指针仍在“0”位，而“主机故障”灯亮，则表明启动失败。

2)换向操作，一般先将操纵手柄放在停车位置，待柴油机停车后 ，才作换 向启动操作为宜。当然，作为遥控装置 本身亦允许在全速前进时将操纵手柄直接拉到全速后退(或相反)，其间各动作程序的配合，由遥控装置自动完成。

3)遥控转换成手控

(1)切断操纵台气源。

(2)拔出调速器手柄座上的活动销子 22 ，使调油伺服器与调速器手柄脱离。

(3)在运转过程中需要紧急转换成手控时，可用一手握住调速器手柄保持转速，另一手拔出活动销子，来实现不停车转换。

(4)从遥控转换成手控时，操纵器作传令钟使用。其侧面显示盘灯亮，表示机舱完成了指令动作，板动操纵手柄时，端部微动开关动作，控制电铃发出传令声响。

2.3.2 调整

1)调速定值器(见图 9.4.6—1)

定值器 A 腔输出压力与弹簧刚度成正比，输出压力的增量与滚轮下移增量成正比，输出压力的初始量与弹簧初始预紧量成正比。因此调节定值器下壳底部的调节螺丝，改变弹簧的预紧量，可以调节定值器的最低输出气压值，亦即调节柴油机的最低稳定转速。改变弹簧拧入调整块螺槽内的圈数，可调节定值器输出气压的变化范围，亦即改变柴油机转速控制的范围。

2)启动时间

(1)先将启动延时阀及连续启动阀的三个针型阀完全打开，然后逐次扳动操纵器手柄，发出启动信号。

(2)根据柴油机本身启动性能，逐步调小启动延时阀的针阀 1 的开度，记录启动伺服器的动作时间，使之满足柴油机热车下可靠启动的要求(一般在 1～1.5s 范围)。此即为第一次启动时间。

(3)再将连续启动阀的针阀 3 完全关闭，逐次调小针阀 2 的开度，使之出现第二次启动。记录从第一次启动结束到第二次启动开始的时间，使之约为 3～4s。

(4)逐次调大连续启动阀的针阀 3 的开度，记录第二次启动开始到结束的时间，使之约为 1.5～2s。

3)换向机构

(1)换向缸轴线与柴油机配套凸轮轴线的不同心度允许差，不得大于 0.5mm。

(2)换向活塞在两个极点位置时，配气凸轮亦应分别在正、倒车的正确位置。

(3)凸轮轴在正确位置时，相应的程序阀应正好被联杆凸块顶开。

(4)向储液瓶注油时，应排除换向缸内的空气。储液瓶液面应以换向活塞挤出液压油的最大高度不超过注油塞孔口为准。

4)调油伺服器

(1)调整弹簧座与调油活塞之间垫片的厚度，可以调整启动油量(一般以保证调油活塞与限油塞之间相距 9～10mm 为宜)。

(2)调节蜗杆上的调整螺母，可以改变平衡弹簧的预紧度，从而调节柴油机的最低转速。

(3)调节组合阀 16 的针型阀开度，可以改变柴油机加速过程转速增大的速率，通常从低速至全速的总时间调为 6s 左右为宜。

2.3.3 常见故障及排除(见表 9.4.6—2)

表 9.4.6－2　　**气动遥控装置常见故障及排除方法**

故障部位	故 障 现 象	原 因	排 除 方 法
调速定值器	排气孔嘶嘶声响	1 进排气阀漏气 2 O 型密封环坏	1 拆开清洗，用机油轻研磨球阀 2 换新
	排气孔突然有大量空气排出发出很大响声	胶膜破裂	换新
	输出气压无法降低	1 上滑阀卡死 2 上滑芯损坏	1 清洗 2 研磨阀芯
	输出特性恶化	1 胶膜安装偏斜 2 弹簧变形	1 重新校正 2 换新弹簧
操纵台	手柄打滑	1 磨擦滑柱弹簧压不紧 2 磨擦片磨耗	1 调紧 2 重新粘接
换向机构	换向时从换向控制阀喷油泡、油雾或油液	1 储液瓶油气混合 2 储液瓶注油太多 3 换向缸活塞密封胶圈磨耗或破损	1 换新油 2 放出多余油 3 换新密封圈
	换向不录一换向控制阀手柄不动	1 定值器输出气压过低 2 换向控制阀装配不正 3 换向控制阀内复合密封圈变形 4 输出管路泄漏	1 调高输出气压 2 重新校正 3 换新复合密封圈 4 上紧、堵漏
	换向控制 阀动作正常换向仍然不灵	1 连锁阀卡死、气源不通 2 流量传 感器卡死连锁阀 K 孔气压不能消失	清洗并校正
启动系统	无启动信号发出	1 流量传感器活塞卡死 2 启动延时阀及连续启动阀内止回阀组件污垢严重，其动作不灵、使气室残余空气释放不清 3 操纵器发出信号气压太低，先导阀不能动作 4 启动延时阀及连续启动阀内部复合胶圈变形 5 时间调节不当	1 清洗活塞及衬套 2 清洗止回阀 3 调整定值器输出气压 4 换新复合密封圈 5 重新调节
	有启动信号、但多次启动失败	1 启动空气压力不足 2 启动油量太小 3 启动时间太短 4 柴油机本身启动定时不准	1 继续泵气提高气压 2 调节调油伺服器启动油量 3 调节启动时间 4 调节启动定时角
	启动达到发火转速燃油跟不上	1 组合阀的梭阀阀芯卡死，启动后燃油跟不上 2 操纵台紧急停车阀打开 3 紧急停车伺服器卡死在停油位置	1 清洗研磨阀芯 2 关闭紧急停车阀 3 清洗伺服器并加油

2.4 CQY 型气动遥控装置

本装置是广东省航运科学研究所在180C气动遥控装置研制成功的基础上，为适应带倒顺离合减速齿轮箱的柴油机而研制的气动遥控装置。

2.4.1 功能与组成

CQY 型遥控装置，在功能要求上与柴油机直接换向的遥控装置有较大区别，除了能由驾驶室直接操纵主柴油机转速（快、慢）及减速齿轮箱运转方向（正转、倒转）外，其主要功能还有：

1)离合器接合前应适当增加主机喷油量，以免在离合器接合时因负荷突然增加而使柴油机转速下降过多。

2)离合器未接合牢固前，不应使主柴油机加速，以免离合器磨擦片在高转速下接合，而易磨损。

3)缓慢增速、快速降速。

4)主柴油机转速下降到一定值，才允许离合器脱开，以免磨擦片在高转速重负荷下脱离而易磨损。

5)换向时，只有当离合器“离”的一端确已脱开，应“合”的一端才允许接合。

6)在倒顺离合减速箱的工作油压因故障降低到下限时，能自动使主柴油机降速，以免损坏机件。

7)可简捷地实现从遥控状态转为手控状态。

8)紧急停车。

9)在失气源后能继续维持主机原来运行状态。

10)可紧急换向(超越正常程序换向)。

CQY 型遥控装置分为CQY—A型及CQY—B型二种，后者是前者的简化型，它不具备上述功能中的第8)～第10)条。此二种装置均由气源、操纵台、程序阀、换向阀及调速气缸五部分组成。其总布置见图9.4.6—4。

2.4.2 主要技术参数

1)动作时间

停车→慢速正车(倒车)　1.5s

慢车→全速正车(倒车)　2.5s

全速正车(倒车)→停车　2s

全速正车(倒车)→慢速倒车(正车)　6s

全速正车(倒车)→全速倒车(正车)　8s

2)气源及管系

气源压力：　0.6～3MPa

工作压力：　0.6～0.65MPa

控制距离：　50m（φ6×1 紫铜管）

3)定值器输出压力范围：0～0.55MPa

4)程序阀

正、倒车延时阀最低动作压力：0.3MPa

液压二位四通阀最低动作油压：

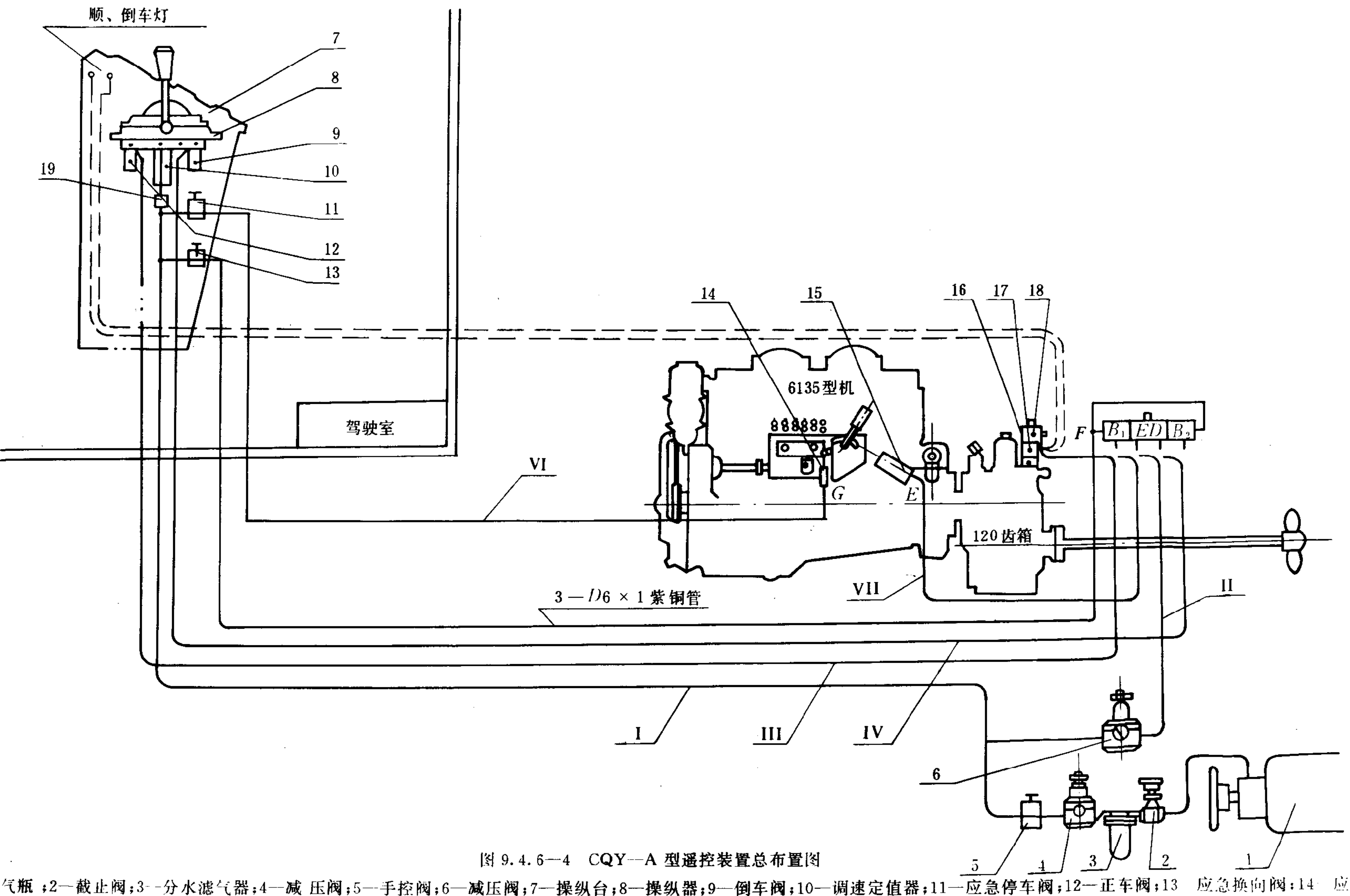


图 9.4.6—4　CQY—A 型遥控装置总布置图

1—储气瓶；2—截止阀；3—分水滤气器；4—减压阀；5—手控阀；6—减压阀；7—操纵台；8—操纵器；9—倒车阀；10—调速定值器；11—应急停车阀；12—正车阀；13—应急换向阀；14—应急停车气缸；15—调速气缸；16—底座板；17—液压换向阀；18—程序阀；19—单向阀；

0.4MPa(对齿轮箱工作油压为　　0.6～0.7MPa 时)

0.7MPa(对齿轮箱工作油压为　　1.1～1.3MPa 时)

5)换向阀活塞最低动作压力：　0.6MPa

6)调速气缸直径：　60mm

　　　　行程：　40mm(135、160 机)

　　　　　　　　30mm(180 机)

2.4.3 工作原理

CQY—A 型遥控装置工作原理示意图见图 9.4.6—5

1)启动(停车→快正车)

将操纵手柄由“停车”扳到“快正车”位置。定值器发出气信号，经正车阀后在程序阀 B 口输入，它经正车延时阀后分成三路：第一路经梭阀后又分成二路，其一路推动气控阀使孔④、⑤相通，让预增油量气压经液控二位四通阀及二位二通阀后推动调速气缸，实现 离合器接合前的适当增速。其另一路经节流阀③在液控二位四通阀孔⑥口等候，当离合器工作油压升高到接合牢固时孔⑥、⑦相通，此时加速空气信号即可进入调速气缸实现加速 。第二路推动换向阀芯右移，使齿轮箱液压油进入正车离合器油腔，离合器接合。第三路经单向阀①使倒车延时阀孔⑧、⑨切断。当操纵器下次改变换向信号时，由于节流作用，倒车延时阀需有一定延时后才能接通，从而保证正、倒离合器在换向时不会同时合上。

2)全速换向(快正车→快倒车)

将操纵手柄由“快正车”迅速扳到“快倒车”位置，此时定值器输出气压由高到低 ，再由低到高。由于正车阀关闭，正车离合器脱开，调速 气缸中的空气亦排出，柴油机降速。由于倒车阀打开，故待倒车延时阀复位后，倒车的指令气信号即可输入进行倒车启动(以下动作原理同 1))。

3)离合器工作油失压保护

当离合器工作油压降低到不能使离合器牢固接合时，液控二位四通阀切断加速 空气信号，使调速气缸退回到慢速运转位置，从而实现离合器“打滑”保护。

4)遥控气源失压保护

在航行中若气源故障，则换向阀上定位缸内活塞杆推出，把换向阀芯卡住在原状态下，另一方面通过二位三通阀的切断，把调速缸内压力空气封 闭在内，使柴油机维持原速运转，从而实现 失气源保护。

3　CDQY—1 型柴油机电—气遥控装置

3.1　主要技术参数及组成

本电控—气动遥控装置适用于 6L—350PN(捷克)、6L—350(捷克)、9TSR(9L—350)(捷克)、6350ZC、8350ZC、8350GZC 等可逆转柴油机。它能在驾驶台用单手柄直接操纵主柴油机，并具备各种联锁、报警功能，满足我国有关船舶建造规范要求。本装置还具有与原手 动操纵机构并联、安装时不必更动原机机构和手动操纵系统 的特点。

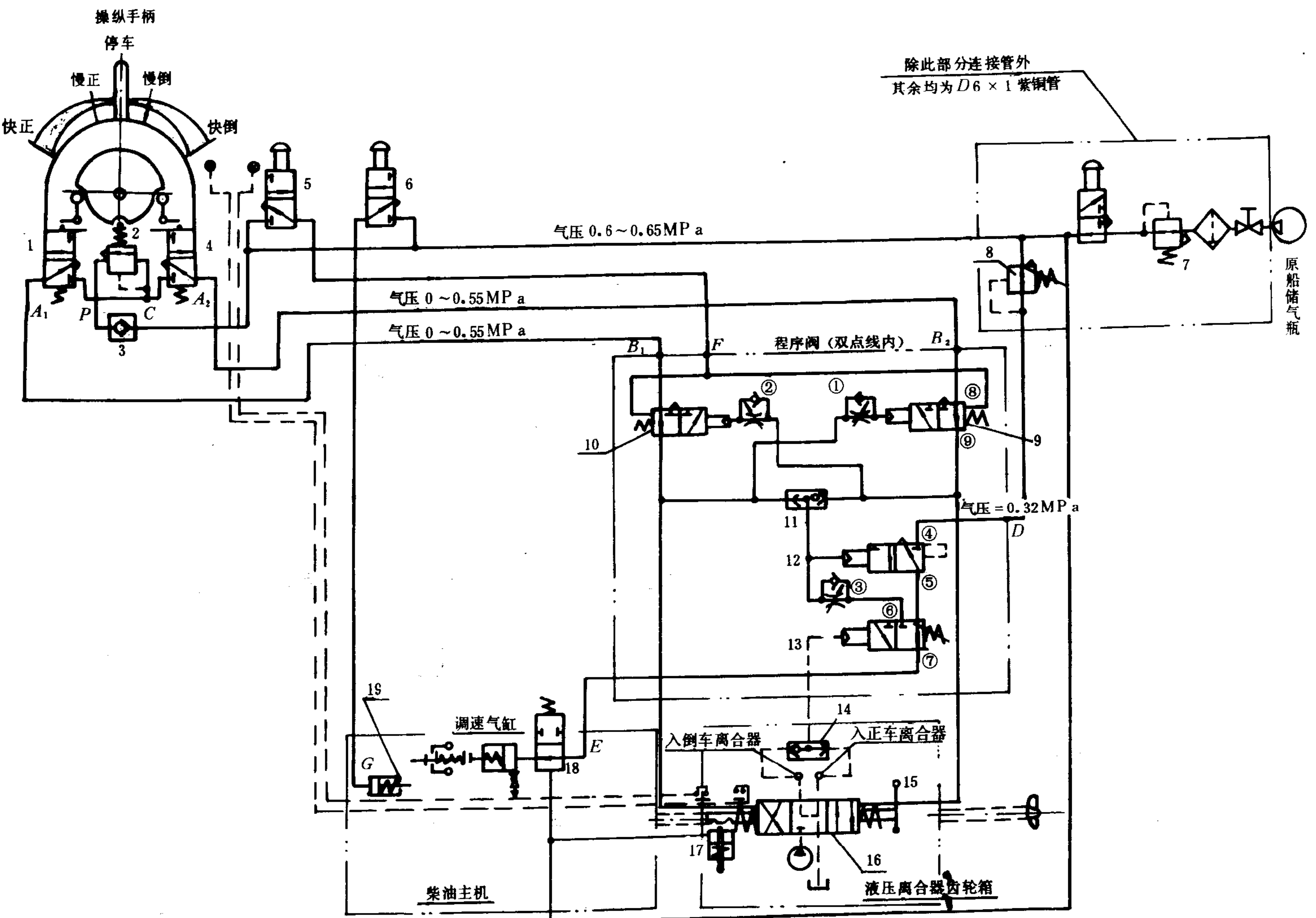


图 9.4.6 5 CQY—A 型遥控装置工作原理示意图

1—正车阀；2—定值器；3—单向阀；4—倒车阀；5—应急换向阀；6—应急停车阀；7—调压阀；8—预增油调压阀；9—倒车延时阀；10—正车延时阀；11—梭阀；12—气控阀；13—液控二位四通阀；14—液控梭阀；15—手柄；16—换向阀；17—定位缸；18—二位二通阀；19—应急停车气缸；

3.1.1 主要技术性能及参数

1)驾驶室直接操纵主机,原机旁操纵装置不变,通过手—自动转换装置可直接进行手—自动状态转换。装置转换时间不大于 2s。

2)手柄共有 11 档(包括停车、正、倒车 5 档调速,各档转速 可按 8、4、2、1 编码方式任选。

3)具有启动、顶升、换向、调速的自动程序联锁功能。

在不需要换向时,启动时间:

停车→正车 1(或倒车 1) ≯4s。

在需要换向时,启动时间:停车→正车 1(或倒车:) ≯8s。

4)具有应急停车及避开临界转速功能。

5)具有启动失败、滑油低压、电网失电、错车、空气低压、超速报警功能。

6)在控制系统 (包括电和气)动力源失效时,具有保持主机原有运转状态的功能。

7)电流

交流 380V±10% $50H_z$±5%

直流蓄电瓶 $24V+{30\% \atop -25\%}$,应急电源自动投入。

8)控制气源

气压:0.5MPa±20% 过滤精度 50μm

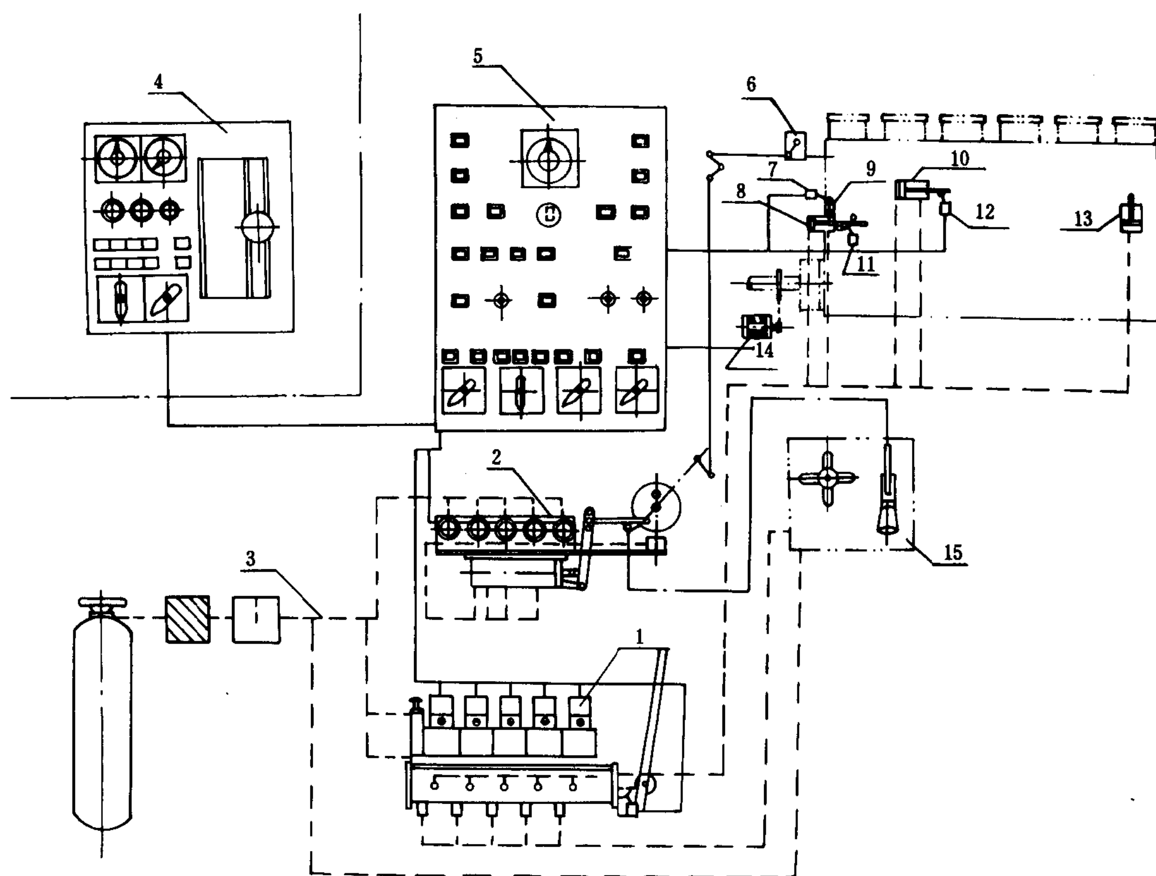


图 9.4.6—6 CDQY—1 型遥控系统组成原理图

1—操纵阀组件;2—调速 阀组件;3—气源净化装置;4)—驾驶室操纵台;5—机舱 控制 箱;6 调速器;7—限位开关 2EK;8 换 向缸;9—拔销缸;10—停车启动缸;11、12—限位开关 1EK 和 4EK ;13—顶升缸;14 测速发电机;15 手动操纵器

空气导管：φ16×1.5 或 φ16×1 紫铜管

3.1.2 组成

本装置主要由驾驶室操纵台、机舱控制箱、控制阀组件、调速阀组件、气源净化五大部分组成。见图 9.4.6—6 系统组成原理图。

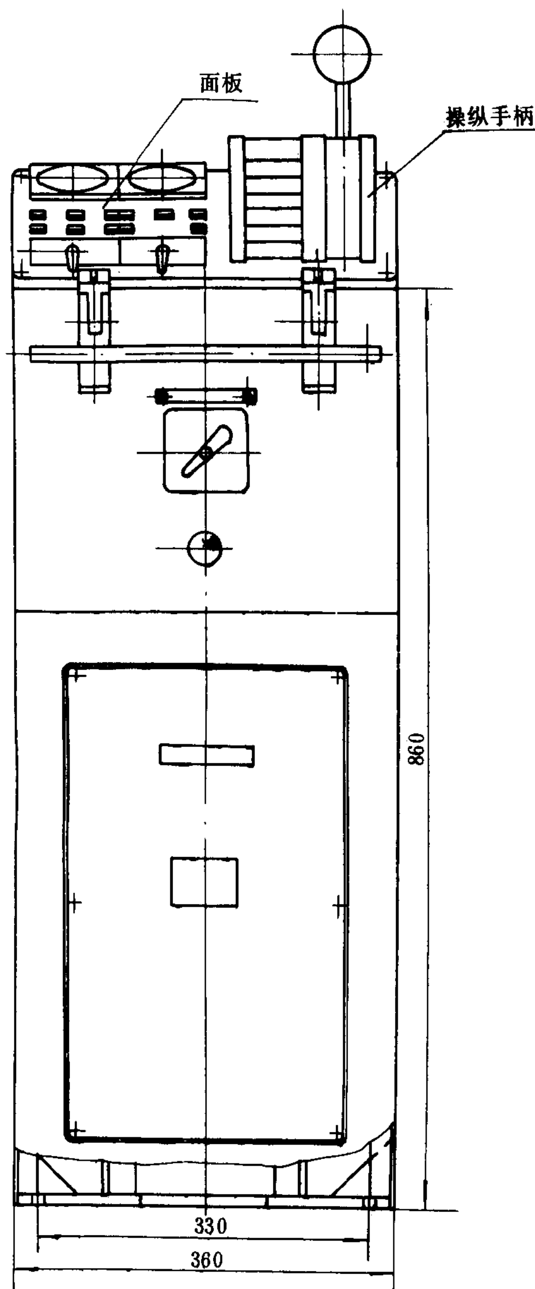


图 9.4.6—7 驾驶室操纵台

1)驾驶室操纵台(图 9.4.6—7)

驾驶室操纵台主要包括供驾驶人员直接操纵主机用的车钟和指示操作面板二大部分。

车钟是一个由单手柄操作并通过专门齿轮机构带动开关发讯的指令装置。它发出包括停车 1 档、正车和倒车各 5 档的指令车速。

指示操作面板上装有转速、启动空气压力表和电网失电、启动失败、错车、超速、应急停车报警指示及状态选择、联系讯号、应急停车等操作开关。

此外，在操纵台内部，还装有用于报警音响的蜂鸣器和用于隔离指令的二极管电路(4EB)。

2)机舱控制箱

机舱控制箱是本遥控 装置的控制核心，其内部设置 5 块控制线路板：

(1)稳压电源板(1EB)

输入：～380V 或～220V

输出：12V、24V 直流稳压

(2)测速线路板(2EB)

零转速(J_{h0})、启动转速(J_{n80})、超速($J_{n超}$)检测。

(3)调速线路板(3EB)

整定各档转速（以 8.4.2.1 码整定步进气缸行程)。

(4)报警线路板(5EB)

报警控制。

(5)数码管译码板(6EB)

车令指示的译码。

此外，在机舱控制箱内还设有电源装置和继电器电路等 。

机舱控制箱的面板上，设有车铃、转速、主机状态、故障报警等指示以及应急停车、电源、联系讯号等操作开关，用于对主机遥控装置进行监控。

3)控制阀组件(图 9.4.6—8)

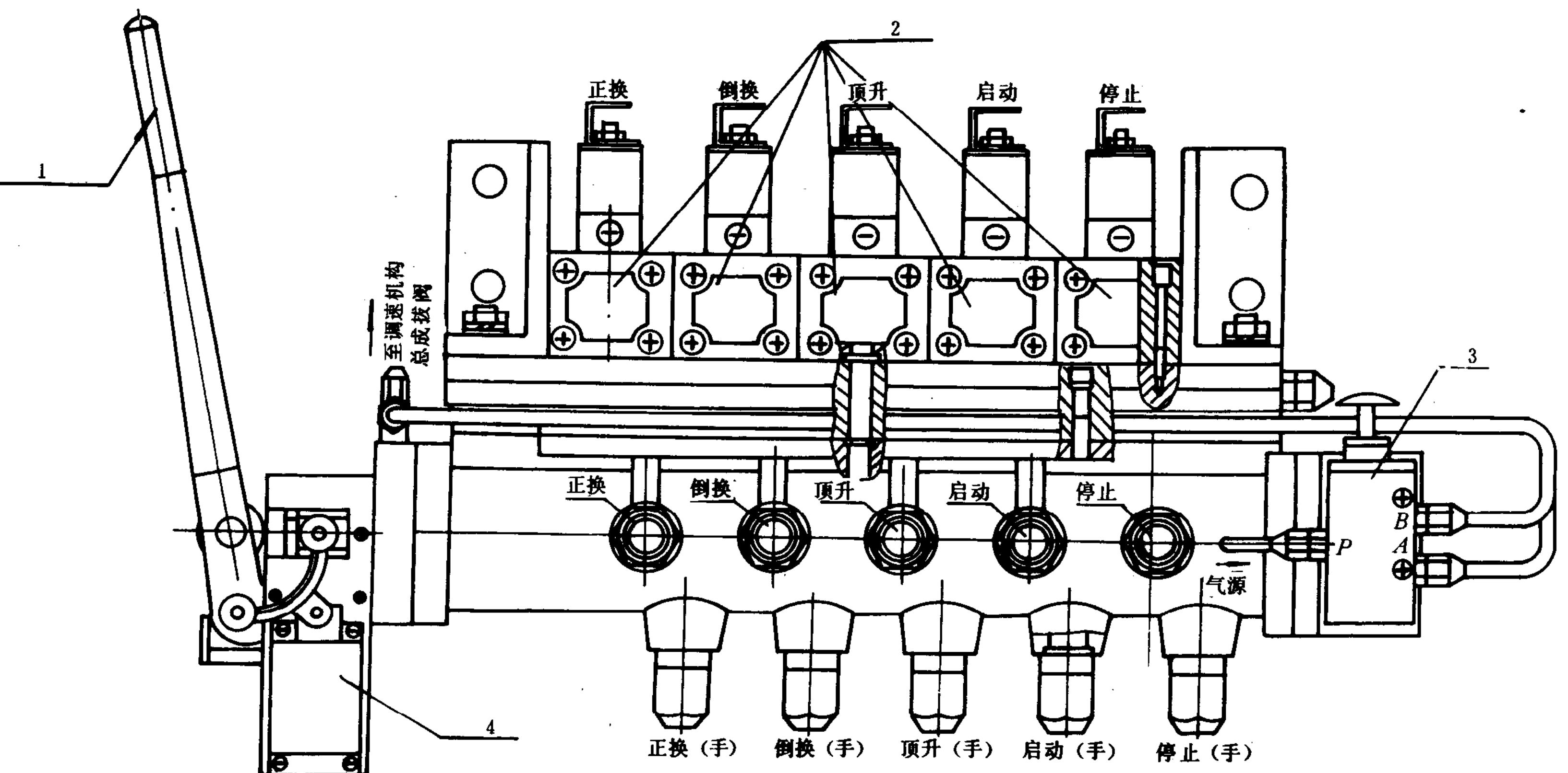


图 9.4.6-8　控制阀组件

1—手动拉杆；2—电控滑阀；3—推拉式二位五通换向阀；4—限位开关；

控制阀组件由电磁滑阀组件和手—自动转换阀组成。

电磁滑阀组件是由 5 只 Q24DH—15—S 电磁滑阀组装在同一块底板上而成。滑阀之间管路的联接以及管路引出均在上述底板中集成，这 5 只滑阀分别用于正车换向、倒车换向、顶升、启动和停车。

手—自动转换阀系本装置为实现快速、可靠地手—自动转换而设计的一个 5 路三通转换专用阀。它通过切换控制阀或操作手柄，可以迅速地以气动或人力实现转换。手—自动转换阀所处的“手动”或“自动”状态，由专设的限位开关(3EK)检测。

4)调速阀组件(图 9.4.6—9)

调速阀组件主要包括步进气缸、先导电磁阀组、锁定气缸、拔销等组成。

步进气缸是一个气动执行元件，它有 4 路空气管路输入，每一路输入分别推动一个活塞，产生一个不同的输出行程(8mm、4mm、2mm、1mm)，而步进气缸的总输出行程为各活塞推动行程之和，因此控制相应的输入气管，采用不同的组合编码即可获得步进气缸 16 档的 0～15mm 行程的输出。步进气缸的输出杆通过推杆、转盘、油门杆摇臂与柴油机油门调速杆相联，从而实现调速。

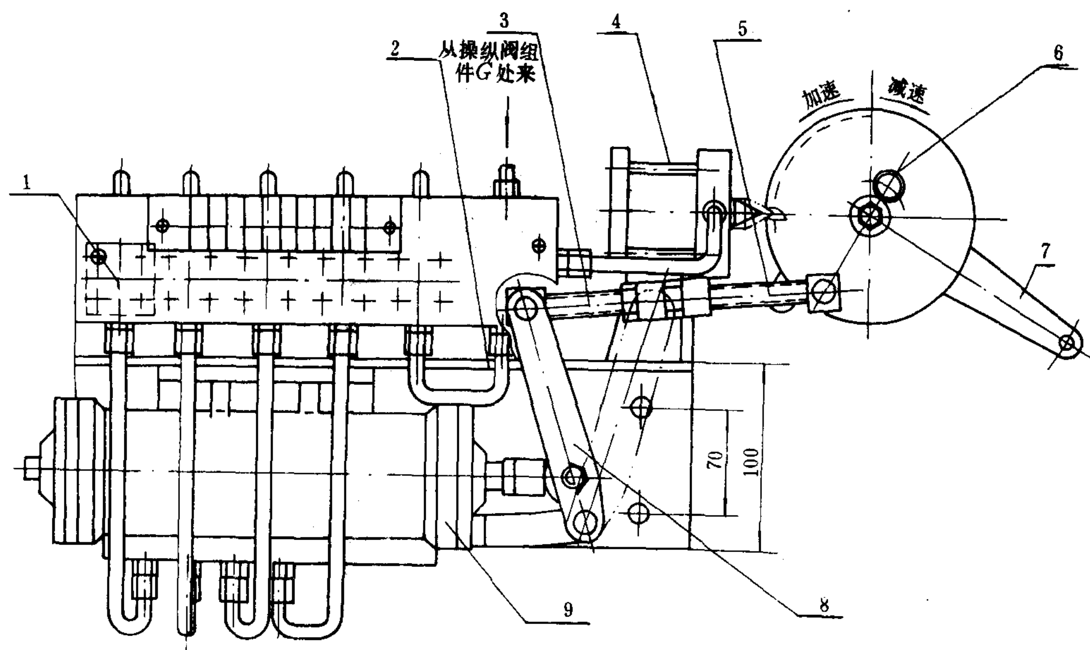


图 9.4.6—9 调速阀组件

1—先导电磁阀；2—底座；3—后推杆；4—锁定气缸；5—前推杆；6—拔销；7—接油门调速杆；8—推架；9—步进气缸

先导电磁阀组共含 5 只电磁阀，其中 4 只用于控制步进气缸的 4 个输入气管，另一只用于控制锁定气缸。

在失电或失气压时，锁定气缸的输出轴在弹簧力的作用下立即伸出并锁住步进气缸输出杆的联动转盘，从而锁定了柴油机的油门，实现控制系统动力源失效时保持主机原有状态的功能。此外，在手—自动转换阀处于手动状态时，锁定气缸亦产生锁定作用，以免此时转盘处于"自由"状态。

在遥控状态下发生步进气缸不能复位等故障时，拔销能使调速杆手动与遥控部分脱离。

5)气源净化

分水滤气器：过滤粗质(50μm)并除去气源中的水份。

油雾器：在气源中加入适量油雾以润滑气动元件。

3.2 工作原理

遥控装置管路系统的原理图见图9.4.6—10，主逻辑及调速环节的电气原理图见图9.4.6—11所示

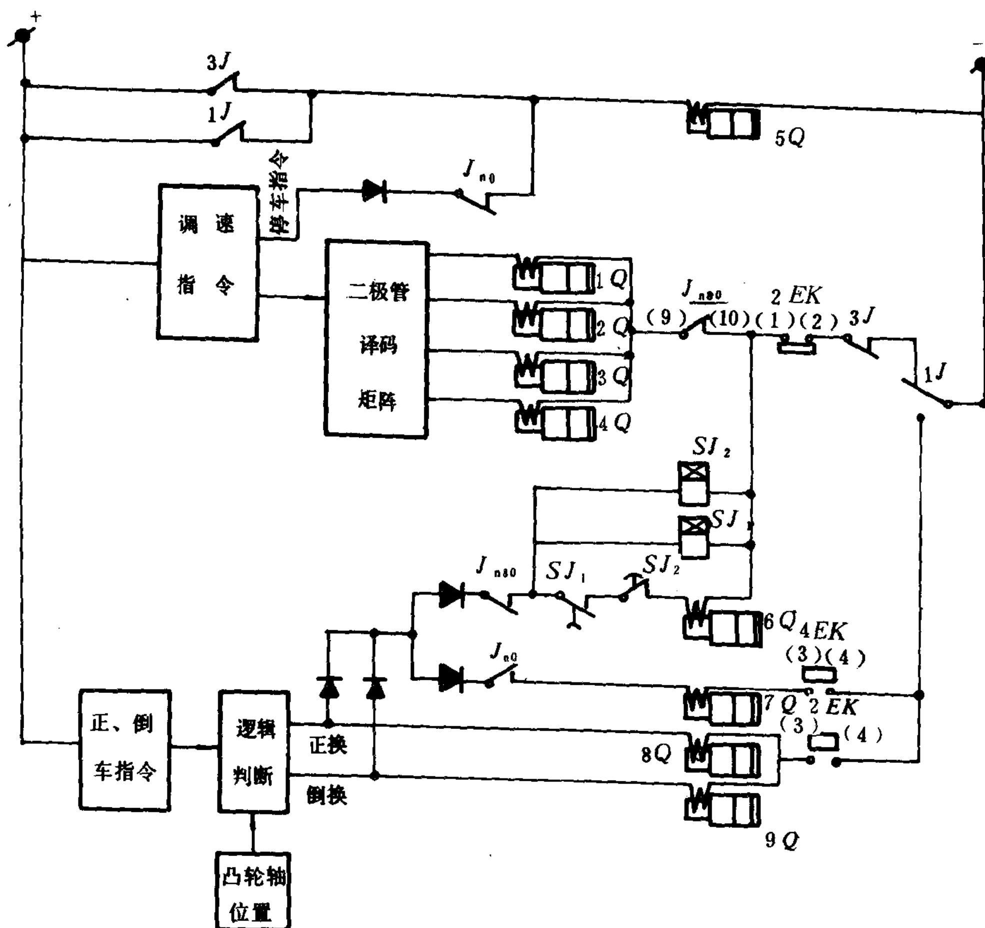


图9.4.6—11 CDQY—1型遥控装置主逻辑及调速环节电原理图

1Q～4Q—步进气缸先导电磁阀；5Q、6Q、7Q—停车、启动、顶升电磁阀；8Q、9Q—换向（正、倒）电磁阀；1J—换向继电器（在指令与凸轮轴位置不符时通电）；3J—应急停车继电器（停车时通电）J_{n0}—停车讯号继电器（转速为零时通电）；J_{n80}—启动讯号继电器（转速为80r/min时通电）；2EK—顶升杆限位开关（顶起时压住、顶升杆落位时放开）；4EK—停油限位开关（燃油杆在"0"位时，压、住）

3.2.1 停车

当车钟手柄置于0位时(停车档)，只要柴油机转速不等于零，停车电磁阀5Q便动作，使停车气缸拉动油门杆至零位，实现停车。

若手动按下"应急停车"按钮，则停车电磁阀 5Q 直接动作，实现应急停车并发出声光报警。

3.2.2 正车(倒车)

将车钟手柄置于正车位置，若此时柴油机换向凸轮轴位置亦在正车位置，则换向继电器 1J 失电切断换向、顶升回路，表示不必换向。若此时主机已在正车状态运行，启动信号继电器(在车转速为 80r/min 时通电)J_{n80}(9)(10)阀合，则车钟手柄的调速指令经译码矩阵后使相应的(1Q～4Q)先导电磁阀通电，通过步进气缸带动油门杆实现调速。若此时主机正处于停车状态，则启动电磁阀 6Q 得电，控制启动气缸使柴油机启动，启动成功后 J_{n80}(9)(10)闭合，即可自动进行调速。

若车钟手柄发出正车指令时，换向凸轮轴处于倒车位置，则 1J 得电，切断启动电路而接通顶升、换向电路，于是顶升电磁阀 7Q 先得电，接通顶升缸气路实现顶升。当顶升杆在高位时，$2EK_{(3)(4)}$闭合便换向(正)电磁阀 8Q 得电，接通换向缸气路实现换向。换向结束时，1J 失电使 7Q、8Q 断电，顶升杆即自行下落，到落位时 $2_{EK(1)(2)}$闭合，接通启动电磁阀 6Q 回路，即可进行换向。SJ_2 时间继电器用于控制顶升杆落位后到启动前有一个停顿时间，SJ_1 用于控制启动的持续时间。

倒车时的工作原理与正车时类似，此处不再赘述。

3.3 使用和维护

3.3.1 操纵注意

1)驾驶室操纵台及机舱控制箱面板，均设有运行状态联络开关(备车、运行、完车三个位置)和手—自动讯号联系开关各一只，用于驾驶室和机舱的联系。在开关位置不一致时自动发出声光讯号。

2)装置在启动时，允许作快速直接启动操作，但一般情况下应以先将操纵台车钟手柄置于"1"(即正车 1 或倒车 1)位置，然后再按需要逐级加速为宜。在不换向的前提下，从启动到启动成功的时间不大于 4s，若柴油机此时未能启动，则遥控装置发出"启动失败"声光报警。若需重新启动，可将手柄退回"0"位重新操作。

3)装置在换向时，允许作快速直接换向操作，此时各动作程序间的配合由装置自动实现。但在通常情况下，以先将操作车钟手柄退回"0"位，待柴油机停车后再作反向启动操作为宜。

在换向未完成的整个换向过程中，装置始终发出"错车"声光报警。

4)遥控转成手控

(1)驾驶室或机舱值班人员，认为需要将装置由遥控状态转成手控状态时，一般应先通过联络开关相互取得联系，在应急情况下在机舱亦可先进行转换操作，然后再进行联络。

(2)由机舱值班人员，按下装在控制阀组件上的切换控制阀，即可实现从遥控到手控的转换，此时在驾驶室操纵台及机舱控制箱面板上的状态指示灯自动由"自动"转换为"手动"。

(3)若按下切换控制阀时，手—自动转换阀未能动作，则可再人工扳动装在控制阀组件上的操作手柄(注意此时仍应先按下切换控制阀)，使之实现"遥控(自动)—"手控"的转换。

5)应急停车

在驾驶室操纵台、机舱控制箱(以及设有集控室的集控台)上，按下"应急停车"按钮，可使柴油机在任何工况下直接关闭油门实现停车，并同时发出声光信号。应急停车后，除非按下设在机舱控制箱上的"应急复位"按钮，否则驾驶室操纵台上的任何车钟手柄指令均无效。

3.3.2 调整

1)电源

调整 1EB 印刷电路板上的电位器 W_1,使 105、102 二端电压为 DC24 V。调整电位器 W_2,使 211、206 二端电压为 DC12V。

2)气源

调整减压阀,使操纵空气压力为 0.5MPa。开油雾器;使 其开度约为 1/4～1/2 圈。

3)测速板(2EB)

J_{na}:调整 W_3,使 J_{n0}继电器在柴油机允许换向转速以内接近零转速时吸合。

J_n超:调整 W_5,使 J_n超继电器在柴油机规定的最高转速时吸合。

4)调速

(1)在调速线路板(3EB)上,有选择地将二极管 D_{33}～D_{52}的阳极与相应的横母线(121～125)相连后。可在不同的车钟指令下,得到不同的柴油机油门(转速)。先导电磁阀 1Q～4Q 通电后,分别实现油门杆 1mm、2mm、4mm 和 8mm 的行程。

(2)在上述各档油门整定时,要注意使它避开柴油机的临界转速(可实测确定)。在正车 1(或倒车 1)时,其油门(转速)应高于柴油机最低稳定运转油门(转速)。

(3)若 3EB 板整定后,柴油机的最高档转速(即正车 5 或倒车 5)偏 高或偏低,可将装在调速 阀组件上的推杆和推架联接拔销拔出,然后转动推架,使拔销重新置入推 架上部孔或下部孔内,以改变杠杆比来改变行程,之后再按(1)(2)重新调整。

5)位置开关

(1)换向位置开关 1EK 及 1EK′

调整 1EK 及 1EK 底座的位置,使柴油机换 向缸撞块在正车、倒车的终端位置时,分别压住 1EK′及 1EK。

(2)顶升杆位置开关 2EK

调整 2EK 底座的位置,使顶升杆在顶起位置时 2EK 被压住,当顶升杆落位时 2Ek 被放开。

(3)停油位置开关 4EK

调整 4EK 撞块上的定位螺母,使得在停车气缸动作后,将燃油控制拉杆拉到零位,位置开关 4EK 被压住。

6)其它

滑油高压压力调整器 1UK,整定为 0.3～0.35MPa。

滑油低压压力调节器 2UK,整定为 0.15MPa。

空气低压压力调节器 3UK,整定为 1.8MPa。

失气压锁定压力调节器 4UK,整定为 0.3～0.35MPa。

时间继电器 SJ_1,整 定为 3s。

时间继电器 SJ_2,整定为 1.5s。

电位器 W_6,用于空压表 3V 调整 ,电位器 W_7 用于 3V 调整量程。

3.3.3 常见故障及原因(见表 9.4.6—3)

表 9.1.6 3　　电一气系统常见故障及原因

故　　障	主要原因或易发生部位
电气接触不良	1. 机舱控制箱内印刷电路板接插件 2. 位置开关 1EK～4EK 3. 车钟发讯用的 LW 95 开关
顶升后换向不到位,拔销不能落位,使柴油机不能启动	1EK 或 1Ek′位置 开关与撞块 位置未调整好
顶升后凸轮轴不换向	2EK 位置开关与撞块位置未调整好
空气泄漏	1. 管接头松动 2. 阀内密封件磨耗 3. 密封件、密封 面有脏物沾污(严重时需捡查气源系统)
电控阀不动作	1. 密封件损坏 2. 气源压力太低 3. 电磁阀线圈坏或接线端断

4　柴油机电一气遥控系统实例

4.1　NVD48 型柴油机电一气遥控系统

4.1.1　主要技术参数及组成

1)额定电压及频率:220 或 110V±10%,50Hz

2)额定功耗 :420VA

3)遥控手柄转角范围 :±75°

4)执行机构输出轴转角范围 :±150°

5)车钟收讯器指针转角范围 :±150°

6)遥控操纵器的自整角变压器发讯机及执行机构的自整角变压器收讯机转子转角范围:±88°

7)遥控系统角度跟踪误差:±1°

本装置广泛用于我国长江等内河及沿海中型客货船 、拖(推)船 、工作船,实现驾驶室对NVD48 型柴油主机的遥控。因柴油机已具有单 手轮气动程序自动操纵系统,故本装置仅对柴油机的操纵 手轮进行角度跟踪控制 。本装置有遥控和电车钟双功能作用,遥控电路仅在“遥控”状态起作用,车钟电路则在“手动”和“遥控”两种状态都起作用。

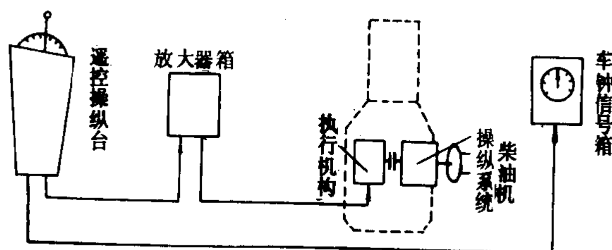


图 9.4.6 12　NVD48 遥控系统装置连接关系图

本装置由遥控操纵台,电子、磁放大器箱,执行机构,车钟收讯器及声光信

号等组成。装置连接关系如图 9.4.6—12，电路原理如图 9.4.6—13。

4.1.1.1 遥控操纵台(见图 9.4.6—13)

由本体和发令组合单元(操纵器)组成。本体内有电源分路开关 71～78，车钟子系统电源变压器 70，手动、遥控转换继电器 88，失步报警继电器 80，主令监控(遥控失灵保护)继电器 90 及其执行继电器 92 等。本体正面有电源总开关 69，度盘照明调光电阻 83；正面中部有一吊门，开启后可操作各分路开关，且检修照明开关 84 接通、灯 85 亮。操纵器组件上段位于操纵台面板之上，透明罩壳内有度盘、车钟回令收讯自整角机 35 及指针；下段在本体内，有遥控发令自整角机 39，车钟发令自整角机 37，正、倒车 12 档定位盘，主令监控计时触发开关 46，正倒停三位置凸轮开关 41 等，它们受操纵手柄带动的扇齿和双啮合齿轮机构传动或控制。

4.1.1.2 放大器箱

为一密封金属箱。电源整流电路、相敏整流电路、晶体管前置放大电路等电子元器件均装在一块印刷板上，印刷板装于箱内最外层并有互换性，通过 20 个接线柱与遥控电路的电源变压器 70 和磁放大器 151～154 等相连接。印刷板后面箱内上段又分三层，外层为测试铜排 M_1、M_2(测伺服电机工作电流)及 M_3、M_4(测磁放大器控制电流)，中层及底层为磁放大器的输出整流二极管 139～146；下段装磁放大元件 151～154 及电源变压器 70。

4.1.1.3 遥控执行机构

其本体借助法兰安装于柴油机操纵系统后面的凸缘上，内有串激伺服电机 18、遥控电路反馈元件—自整角变压器 21、车钟电路回令发讯自整角机 19。后二者由前者通过双啮合齿轮系的最后一级所传动，并经输出轴的镶嵌联轴器与柴油机操纵系统的手轮轴联接，最后一级齿轮与前级不是固定啮合，而由输出轴上方的手动遥控转换手柄控制，通过摆动式中间齿轮机构使其与前级在遥控时啮合、手控时脱开。因最后一级齿轮传动的器件 19、21 经输出轴始终与柴油机手轮相联系，故 19、21 任何时候都与主机手轮的转角保持对应关系，不因手动、遥控转换而发生变化。手动遥控转换手柄还控制联锁开关 23，在遥控时闭合使遥控台的继电器 88 通电，遥控系统电路投入工作；在手控时断开，遥控电路不参与工作。执行机构内电阻 29 与伺服电机的电枢并联以提高电机的工作可靠性；电机出轴上有弹簧压紧的二块闸瓦，用以提高串激电机的运转平稳性。

4.1.1.4 车钟收讯器

它指示驾驶室的用车情况。在遥控时仅作为记轮机日志用，手控时轮机人员则按其指示开车。收讯器内装有车钟发令系统的收讯自整角机 52 等。

4.1.1.5 辅助设备

在柴油机的凸轮轴换向机上装有正倒车位置检测开关 1，作为错车报警用。装置出厂时还配有柴油机工作参数遥测仪表板及油、水等的温度、压力越限报警继电器箱。

4.1.2 系统运行原理

本遥控装置电路分为遥控和车钟两个相对独立的子系统，电路原理总图如图 9.4.6—13 所示。由两套电源变压器分别供电(件号 70 相同而电气参数不同)，遥控台内的 70 供车钟系统，放大器箱内的 70 供遥控系统。

4.1.2.1 车钟电路系统运行原理

由发令、回令自整角机系统及失步报警电路组成，如图 9.4.6—13(II)。发令系统的发送机 37(驾)和接收机 52(机)，回令系统的发送机 19(执)和接收机 35(驾)组成两套自整机同步指示运行系统。

图 9.4.6 13(Ⅰ)NVD43遥控系统电路子系统原理图

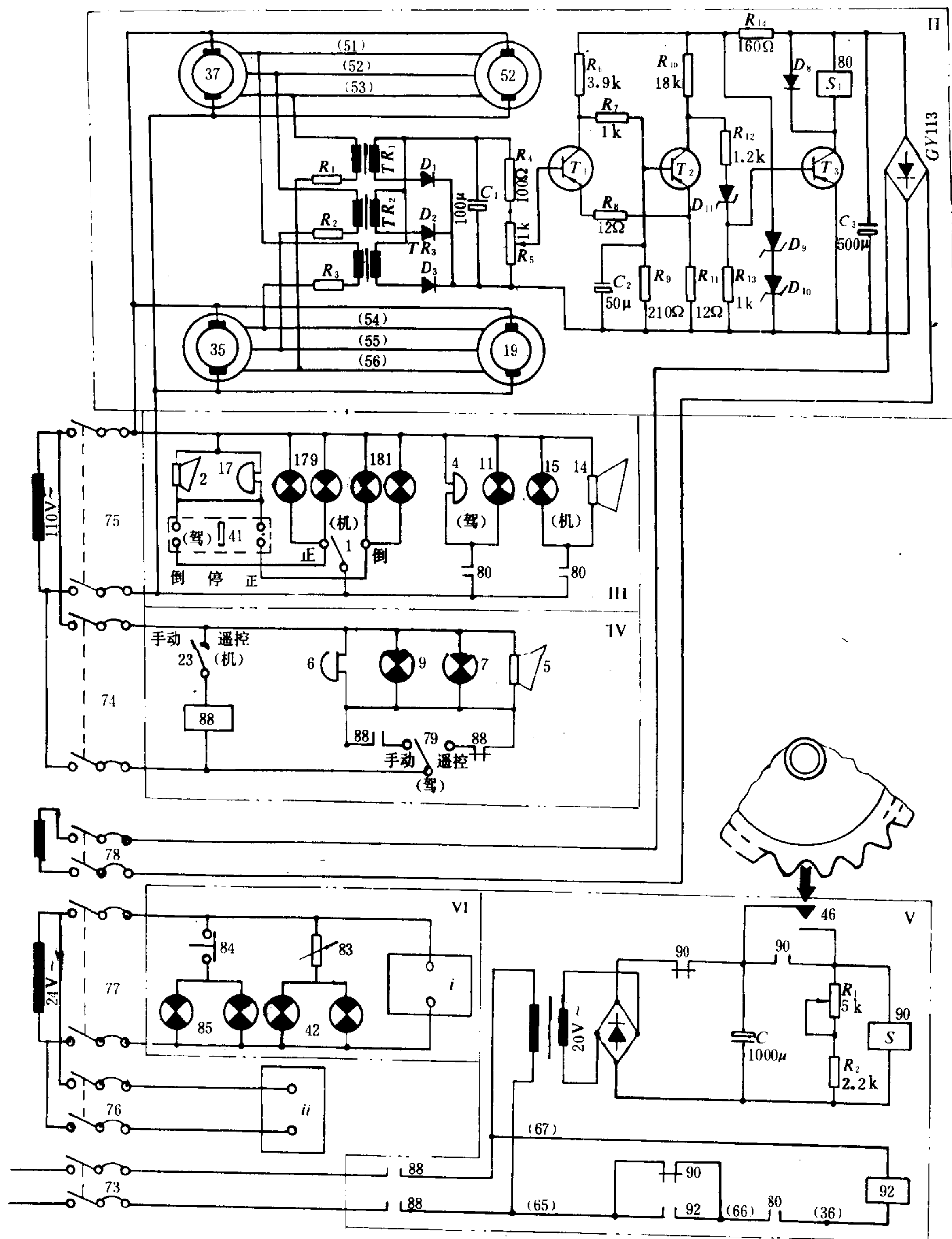


图 9.4.6—13 (Ⅱ)、(Ⅱ)、(Ⅲ)、(Ⅳ)、(Ⅴ)、(Ⅵ)NVD48遥控系统电路原理图

失步报警电路又称车钟继电器，由跨接在两套自整角机同步指示运行系统的各对应相整步绕组间的微型检测变压器作失步信号检测、经整流、相加、滤波等处理和灵敏度电位器调节后，加至施密特触发器 T_1、T_2 及反相放大器 T_3，驱动继电器 80(S_1)去控制声光信号(见图9.4.6—13(Ⅲ)。失步报警电路装在一个盒中构成车钟继电器 80。失步信号产生原理是，在驾驶室发令和机舱柴油机操纵执行过程中，可以认为车钟发令系统的 52 与 37、手轮回令系统的 35 与 19 是迅速同步的，但两套整步系统的发送机 37 和 19 不会迅速同步，它们的三相整步绕组的对应相之间有角差电压产生，用检测变压器耦合输出即得失步信号。失步报警动作灵敏度用电位器 R_5 调整，并调整在两套整步系统的角差为±2°内。并联于 R_9 的电容器使施密特触发器有延时动作的作用，有助于主令监控电路的可靠工作和遥控系统小角度操纵时有足够的声光时间；T_3 基极前的稳压管起抗干扰作用。特别指出，车钟继电器 80 的动作还是遥控失灵保护装置的一个重要组成环节。

4.1.2.2　遥控电路子系统运行原理

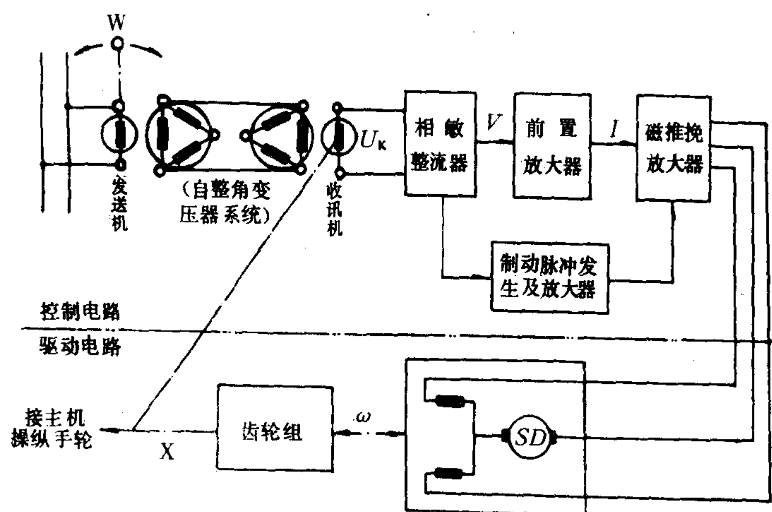


图 9.4.6—14　遥控电路方框原理图

遥控电路子系统见图9.4.6—13(Ⅰ)，方框原理图如图9.4.6—14。由自整角机变压器式运行系统、相敏整流器、晶体管前置放大器、磁放大器、伺服电机、主令监控单元(图9.4.6—13(Ⅴ))组成。

1)自整角机变压器运行系统

它们构成遥控指令收发讯电路，通过执行机构中的齿轮传动实现角度跟踪和反馈比较。39 为发讯机，21 为收讯机。发讯机单相绕组接电源变压器 70 之 60V 副边。发讯机单相绕组输出角差电压信号 U_K。根据自整角机变压器原理，在驾驶室遥控手柄和机舱柴油机操纵手轮均处于“停车”协调位置时，应使收讯机转子相对于发讯机转子在自同步的基础上转过±90°的空间预失调角，预失调方向以执行机构能正确跟踪遥控指令方向为准。在预失调90°情况下，收讯机的输出信号 U_K 与两自整角机转子对定子的偏转角有如下关系：

$$U_k = U_{km}\sin(\beta-\alpha) = U_{km}\sin\theta \text{（有效值）}$$

$$\text{或}\quad U_k = \sqrt{2}\,U_{km}\sin\theta\sin\omega t \text{（瞬时值）}$$

式中β和α分别为发讯机转子和收讯机转子的偏转角，θ为两机的失调角，U_{km}为两机未预失调前的自同步位置(亦即预失调后 $\theta=90°$)时收讯机输出电压的最大有效值。由上式可知，U_k 的大小和极性仅与两机间的失调角θ有关，而与各机自身的偏转角无关。显然在系统完成跟踪后的任何同步位置上都有 $\beta=\alpha$，$\theta=0$ 及 $U_k=0$，因而系统能够稳定在新的转角位置上。

因 U_k 是与电源同频率的交变信号，故θ的正负对 U_k 极性的描述是指其对参考信号(如电源)的相位相同或相差180°电角度，θ的大小则描述 U_k 的有效值或振幅的大小。这种信号须经相敏电路解调成有极性的直流信号，才能送至后级直流放大电路。

2)相敏整流器

由电源变压器 70 副边的两个 20V 参考电压源 U_z，两组二极管整流桥 71、76，平衡电阻 77、78(以下用 R_1、R_2 表示)组成。须注意二个参考电压源 U_z 和信号 U_k 对相敏电路的接线方向，正确的接法是：在(12)、(13)接点处要以两个 U_z 的同名端与 U_k 信号两端相连，否则不能正常工作。在两组桥路元件参数对称时，相敏整流器具有对称的输出特性，(82)、(89)两端输出直流信号 V_{ab} 的平均值可用下列关系式表示：

(1)当 $0 \leqslant U_k \leqslant \frac{R_L}{R+R_L} U_Z$ 时，　$V_{ab}=0.9U_k$；

(2)当 $\frac{R_L}{R+R_L}U_z \leqslant U_k \leqslant U_z$ 时，　$V_{ab}=0.9\frac{R_L}{R+R_L}U_z$；

(3)当 $U_z \leqslant U_k \leqslant \frac{R+R_L}{R_L}U_z$ 时，$V_{ab}=0.9\frac{R_L}{R+R_L}U_k$；

(4)当 $U_k \geqslant \frac{R+R_L}{R_L}U_Z$ 时，　$V_{ab}=0.9U_Z$。

式中 R 为平衡电阻且 $R_1=R_2=R$，R_L 为输出端等效负载电阻。由上述分析可知，输出 V_{ab} 对输入 U_k 为非线性关系，即本相敏电路具有所谓三段输出特性。当输出端开路即 $R_L=\infty$ 时，在 $0 \leqslant U_k \leqslant U_z$ 区间，V_{ab} 随 U_k 呈线性关系，而在 $U_k \geqslant U_z$ 时，V_{ab} 则被限幅在 $0.9U_z$ 左右。遥控电路中，前置放大器对相敏整流器的等效负载电阻 R_L 约为(0.1～0.2)R。由于本相敏电路的结构及工作特性有独特之处，故国内新研制的有关主机遥控系统也引用了它。通过对平衡电阻 R_1 与 R_2 的不同配置和负载 R_L 的不同变化，得到多种输出特性。

3)前置放大器

由两个结构相同的对称通道组成。三极管 91、92 为驱动跟踪前置放大，90、93 为跟踪同步时的反接制动脉冲前置放大，它们的集电极分别接磁放大元件 151～154 的各控制绕组。二极管 113、114 和电阻 118、119 为前置放大器工作稳定性补偿电路，三极管 87～89、94～96 及脉冲变压器 112、138 为制动脉冲发生电路。

设在某操纵下相敏整流器输出为(82)负、(89)正，此时反向通道三极管 92 截止，正向通道三极管 91 随 V_{ab} 的增加而很快由放大进入饱和(M_3 和 M_4 处电流在截止时约 0.015A，饱和时约 0.22A)，91 集电极电流就是磁放大器 151、152 的正向运控电流及 153、154 的反向联锁电流，于是磁放大器 151、152 的工作绕组(中电机回路上)有电流输出，驱动伺服电机使柴油机手轮正向转动。当跟踪到设定位置 $\theta \rightarrow 0$ 时，驱动前置三极管 91 截止而同时 87～89 及 112 发出制动脉冲，经 93 及磁放大元件放大，使伺服电机受一瞬时强力反接制动电流作用而迅速停止。

制动脉冲电路中，脉冲变压器 112(138)的偏移绕组 A_2E_2 长通电，有助于提高脉冲变压器的工作效率和脉冲幅度。当输入绕组 E_3A_3 由无电突变为有电时，变压器磁通突然减少，输出绕组产生极性为 E_1 正 A_1 负的负脉冲；当 E_3A_3 由有电突变为无电时，磁通增加，则 A_1E_1 产生 E_1 负 A_1 正的正脉冲。系统运行中，当角差 θ 由零增大时，V_{ab} 信号使施密特触发器翻转、反相器 87 导通，112 的 E_3A_3 突变为通电，A_1E_1 输出负脉冲，三极管 93 受此脉冲作用仍截止，无制动脉冲电流输出，故对伺服电机的驱动运行无影响；当执行机构跟踪到位时，施密特触发器翻回，87 由导通变截止，112 的 E_3A_3 突变为失电，A_1E_1 发出 E_1 负 A_1 正的正脉冲，使三极管 93 饱和导通短暂时间，通过 153、154 输出强力制动脉冲电流，使伺服电机迅急停转。制动脉冲的强度由电位器 104(137)调节，制动脉冲的发生角由电位器 108(131)调节在±5°内，但不可过小，否则施密特触发器不能正常工作。

4)磁放大器与伺服电机回路

(1)磁放大器接法:4 个磁放大元件 151～154 的工作绕组 A_1E_1 与二极管 139～146 接成两组全波内反馈推挽输出放大线路。若 151、152 为对电机正转控制，则 153、154 即为对电机反转控制。各磁放大元件的 6 个绕组为:工作绕组 A_1E_1，电流负反馈绕组 A_2E_2，运行、联锁控制绕组 A_3E_3、A_4E_4，制动辅助控制绕组 A_5E_5，负控位移绕组 A_6E_6。注意磁放大元件各绕组同名端在前置放大回路和输出回路中的接线方向。由接线图可知，151、153 有输出时其工作绕组的电流方向为 $E_1 \rightarrow A_1$，152、154 有输出时工作绕组电流方向为 $A_1 \rightarrow E_1$。以各磁放大元件的 A_1E_1 绕组电流方向为准，可确定各控制绕组有电流通过时激磁的控制作用。

(2)磁放大器的工作特性:磁放大器工作绕组采用桥式整流接法，以 151 的 E_1A_1 及 152 的 A_1E_1 为例，二极管 139、141 及 140、142 使每半波内输出电流的方向与控制绕组(151 的 E_4A_4、152 的 A_4E_4)的激磁电流方向一致，从而实现正的全波内反馈。为了减小或消除正反馈引起的零输出电流增大的影响，设置了负控位移绕组 E_6A_6，位移的强度由电位器 79(80)调节。

(3)伺服电机:为串激直流电机，运行时其电枢电流方向不变，由改变两个激磁绕组的磁场方向来改变转向。因此应使二个激磁绕组的异名端与电枢串联，即二激磁绕组以不同绕向与电枢串联来实现随磁场方向的改变而改变转向。

(4)磁放大器的运行输出和制动输出:

运行一设相敏整流器输出为(82)负、(89)正，前放三极管 91 导通，磁放大元件 151～154 的 A_4E_4 控制绕组通电。其中 153、154 是受负控安匝，工作绕组无输出;但 151、152 则受正控安匝故工作绕组 A_1E_1 有电流输出，经二极管 139～142 整流后进入电机的 $C_2 \rightarrow M$ 回路，电机正转。由前述可知，三极管 91 的输出电流受角差 θ 控制，当电机为恒力矩负载时，电机转速亦受 θ 的大小控制，θ 小时电机转速低，θ 大时三极管饱和，磁放大器的控制安匝最大、电机转速最高。在 M_1 或 M_2 处可测得电机工作电流变化范围为 0.2～5A。

制动一随着伺服电机驱动执行机构跟踪和反馈比较，当差角 θ 小至调整值时，驱动前放三极管 91 关断，而制动电路发出制动脉冲并由三极管 93 放大，磁放大器 151～154 的 A_3E_3 绕组及 153、154 的 A_5E_5 绕组有脉冲控制电流通过，其中 151、152 受反向联锁控制安匝，而 153、154 则受运控绕组 A_3E_3 及制动辅助绕组 A_5E_5 的双重激磁，故其 A_1E_1 绕组输出一短而强的脉冲电流至电机的 $C_1 \rightarrow M$ 回路，供电机强力反接制动(制动时在 M_1 或 M_2 处可测得电机电流约 8A)。调整制动脉冲发生角及强度可供柴油机手轮跟踪误差在±2°内，但以系统不振荡或振荡次数最少为限。

5)遥控失灵保护电路

如图 9.4.6—13(V)，由车速档位齿盘控制的触点开关 46 发监控信号，保护继电器电路 90 进行计时监视，继电器 92 执行保护动作。本电路在遥控状态时有电，且装置结构保证了触点开关 46 及 90 电路的 S 继电器先于车钟继电器 $80(S_1)$的动作。保护动作发生的条件是监视时间到而车钟失步信号还存在，即 92 电路上 80 触点和 90 触点都闭合的“与”逻辑关系。保护动作是使伺服电机通过电阻 93 保持原方向的磁场，而电枢则从电源断开并被直接短路，进行强迫能耗制动。监视计时时间由 90 电路中的电容器 C、电阻 R_1、R_2 及继电器 S 诸元件组成回路的放电时间常数决定，可由 R_1 调节在 5～10s 内，通常整定为 8s。

基于上述原理，该保护装置还有下列作用:

(1)若未发出遥控信号而伺服电机因故自行转动时，由于 46 开关未动作而 90 不动作，则 92 在执行机构离开同步位置±2°后，因 80 动作而产生保护作用，使电机停下。

(2)若主机手轮与遥控手柄的位置尚不一致就在机舱从手控转为遥控，则因有车钟失步信号产生及46开关未动作，本保护装置动作使遥控装置不起作用。

(3)若伺服电机正在运转跟踪过程中电源断电，且超过8s再复电，则发生保护动作供电机不再运转跟踪。

后二点于安全运行有利。遇到这种情况，只要将遥控手柄扳到与机舱执行机构一致的位置(可观察遥控台度盘内的回令指针)，即可使遥控系统恢复作用。

4.1.3 安装调整和维护

4.1.3.1 安装

1)电源选择

本装置允许选用交流220V或110V电源。出厂时接成220V。若用110V供电，则应将遥控台内和放大器箱内的两个电源变压器的输入接线从220V移至110V处，外接端子亦相应改接，以免未来检修造成误会。

2)部件安装

(1)执行机构：关键是注意执行机构输出轴联轴器与柴油机手轮轴联轴器的配合方位。若执行机构输出轴错动180°或360°，虽对联轴器安装无影响，但遥控收讯自整角变压器及车钟回令发讯自整角机的初始位置就改变了90°或180°。另外要注意遥控收讯自整角变压器的双啮合齿轮的压紧弹簧必须张紧，手动、遥控转换手柄及联锁开关23的位置必须正确，伺服电机出轴闸瓦应压紧。

(2)遥控操纵台：应注意发令组合单元的装配正确性，特别是各自整角机的位置必须正确对位，双啮合齿轮的压紧弹簧张紧，两个联锁触点开关41、46安装正确。

(3)放大器箱：安装位置附近无应发热设备和强磁场，周围环境温度应不超过+45℃。

4.1.3.2 车钟系统的调整

应在手控方式下进行车钟系统的调整。切除无关电源即断开空气开关72、73、74、76、77，关闭柴油机起动空气及燃油阀。调整分两步进行：

第一步，调整发令和回令系统收讯器的指示正确性。暂先断开车钟继电器电路的电源即断开空气开关78，将遥控手柄及柴油机手轮均置零位，分别校验发令系统和回令系统。系统未调整好或接线错误表现为：(1)定子侧任何二根线交叉或转子侧两根线对电源接反，产生相反的跟踪指示；(2)定子侧三根线循环接错，产生±120°的固定指示误差；(3)回令系统自整角机转子的二根线交叉接错，造成180°指示误差，实际表现为指针卡死；(4)自整角机初始位置未调整好，产生一固定的任意角度误差，一般以调整接收机转子为方便。

车钟继电器零位输入信号调整应与上面工作同时进行，方法是以一个系统为基准，调整另一个系统的发讯机和接收机转子的位置，使在电容器C_1两端测得的电压为最小。

第二步，调整车钟继电器灵敏度。在两系统的零位已调至最小后，合上空气开关78，调整车钟继电器80中的R_5，一般调整在±2°或对应于柴油机操纵手轮角差为±4°时有车钟声光即可。

4.1.3.3 遥控失灵保护装置的调整

调整包括动作可靠性和延时时间两方面。动作可靠性主要取决于遥控台内联锁触点开关46是否先于车钟继电器80的动作。若车钟继电器的动作灵敏度为±2°，则当遥控手柄离开车速档定位位置±1～1.5°时，触点开关46就应可靠闭合，而在各档位之中时又能可靠断开。主令监控延时时间由保护继电器90电路内的可变电阻器R_1来调整，整机出厂时整定为8s。

4.1.3.4 遥控装置的调整

分为装置的一般调整和系统运行特性调整 两方面。前者指外部接线及机械方面的调整，后者指磁放大器电路的调整 。

1)一般调整

(1)零位调整:遥控台手柄和柴油机手轮均置零位,断开自整角变压器 21 对相敏整流器的两根连线,用交流电压表测量信号电压 U_k 即(62)、(63)端电压。若读数为零则零位正确,若不为零可能是自整角变压器系统零位不对,也可能是外部接线有错,用类似调整车钟系统的方法校核之。如确认零位误差是自整角机转子位置不一致引起,则一般以调整 遥控台内自整角发讯机 39 的转子位置较方便。零位调整 后还可能存在 180°的方向误差即预失调 90°的方向不合适,这只需适当交换外部接线即可。

(2)外部接线校核:零位调整好后,将 U_k 信号线接入相敏整流器,保护柴油机不运转,继续测量自整角变压器 21 的输出电压。当遥控手柄从零位扳至正车或倒车最低档位时,可能有四种情况:

①正常　　执行机构转向与要求一致,且自整角变压器的输出电压 U_k 随着跟随过程逐渐减小至零。

②不正常之一　　执行机构转向与要求一致,但自整角变压器的输出电压随着执行机构的转动而逐渐增大。这时应将自整角变压器定子侧三根 线中的任意二根交换,并同时将其转子侧的两根对相敏整流器的接线交换。

③不正常之二　　执行机构转向与要求相反,但自整角变压器的输出电压随着电机的转动逐渐减小至零。这时应将自整角变压器定子侧三根线中的任意二根交 换。

④不正常之三　　执行机构转向与要求相反,且自整角变压器的输出电压随着转动而增大。这时应将自整角变压器转子侧两根 对相敏整流器的接线交换,或者将伺服电机的磁场绕组接线(编号 38、39)交换。

以上指整机出厂、船上安装后的初次调整且放大器已调整好的情形。如系大修后校核 ,则可按如下两步进行:

第一步,将伺服电机断开,遥控手柄扳向正车一档,自整角变压器将有电压输出,再将柴油机手轮也转至正车第一档,如上述电压减小为零则接线正确,如输出电压反而增大则应将自整角变压器定子侧三根接线(编号 57、58、59)中的两根线交换,并再在倒车方向重复校核 。

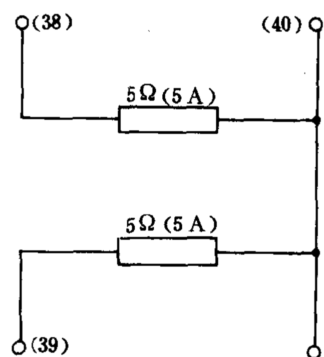


图 9.4.6—15　静特性调整模拟接线图

第二步,在放大器静特性调整好后,按前述方法调试,只可能发生①、④两 种情况并依前述处理。

以上校核均认为伺服电机接线正确,如伺服电机接线不正确也会影响正常 运行,不再细述。

2)运行特性调整

(1)调整用辅助设备及模拟接线:电阻二只(5Ω、5A),交、直流电流表各二只(10A),万用表二只。静特性调整时,用模拟电阻代替伺服电机,接线如图 9.4.6—15。

(2)磁放大器工作点调整:目的是使控制信号为零时磁放大器输出电流最小。方法是将测试铜牌 M_1、M_2 断开,串入交流电流表,调节位移绕组 E_6A_6 上串联的电位器 79、80,使磁放大器

输出电流最小(约为0.2A)。为此先要查明负反馈绕组E_2A_2是否接对;此外要注意位移绕组本身接线方向是否正确。

(3)相敏整流器检查:断开M_1、M_2、M_3、M_4测试牌,用0～60V直流电压表分别接至M_9、M_{10}(平衡电阻)的两端。在遥控系统处于零位时,测点电压均应为17.5V左右。在遥控手柄扳动－75°～＋75°时,测点电压变化范围为2.5～45V。在遥控手柄从零位向正、倒车方向分别扳动相同角度时,M_9、M_{10}的电压值应近似相等。若接线正确而得不到上述结果,应检查相敏整流器的二极管或电阻有否损坏。

(4)前置放大器检查:M_1、M_2保持断开,M_3、M_4串入直流电流表。在遥控系统处于零位时,流经M_3、M_4的电流应约为15mA,当遥控手柄扳动±75°时,电流变化范围为0.015～0.22A。若得不到上述结果,应检查三极管91、92有否损坏,必要时还可测量M_5、M_6处的基极电流,正常变化范围为0～28mA。

(5)制动脉冲观察:M_1、M_2处串联交流电流表,M_3、M_4处串联直流电流表,遥控手柄分别在正、倒车方向0～10°内慢慢扳动。光调整电位器104、137,使制动脉冲能完全加入三极管90、93。若无制动脉冲电流,可调整制动脉冲发生角电位器108、131,当手柄从10°扳回零位时,在脉冲发生角范围内可从M_2、M_4处(另一操纵方向在M_1、M_3处)量出制动脉冲电流。设最小脉冲发生角为θ_0,则调整电位器108、131可使θ_0在5°范围内。如果得不到上述结果,应检查磁放大器的辅助制动绕组接线、制动脉冲发生电路及制动脉冲放大三极管有否故障。

以上是在模拟负载下进行静特性调整,静特性调整正常后即可接入伺服电机作动特性调整。

(6)遥控系统的动特性调整:分三方面。

①跟踪情况　遥控手柄在±75°各档位扳动时,柴油机手轮应在±150°内相应转动。若制动脉冲未调好,可能有振荡现象。

②灵敏度调整　为使遥控系统能在±1°内动作,可调整电位器79、80来适当减小磁放大器的负控位移安匝,使灵敏度提高。一般当M_3、M_4处电流达40～50mA时,伺服电机开始动作,通过调整位移安匝是能达到±1°灵敏度的。如达不到,可检查电机的机械负载是否过重或三极管91、93参数有无变化。

③制动脉冲调整　将遥控手柄连续多次由零位扳至最慢速位,再扳回,对一个方向调整电位器108、104,对另一个方向调整131、137,即调整制动脉冲的发生角与强度,以保证伺服机构准确停在要求位置上,又不发生振荡。如振荡不能消除,进一步检查电机输出轴闸瓦弹簧是否压紧。

图9.4.6—16示出放大器内印刷电路板上调整元件位置示意图。图中138为脉冲变压器(之一,另一个112在反面),R(79)、R(80)为磁放大器工作点位移负控安匝调整电位器,108、131为制动脉冲发生角调整电位器,104、137为制动脉冲强度调整电位器。

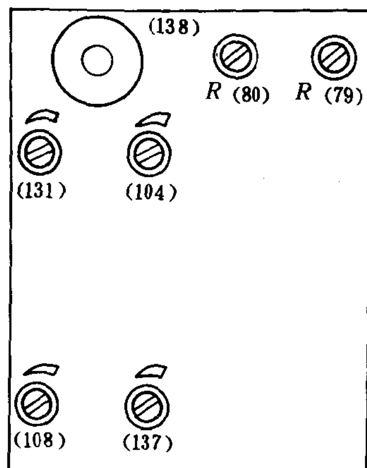


图9.4.6　16　NVD48遥控系统放大器印刷板调整元件位置图

4.1.3.5　维护

本遥控系统的维护较简单。一般每工作一万小时检查一次。维护内容主要是电气触头如自整角机集电器、接线端

子等的清洁及机械机构的加油。

1)遥控操纵台维护

重点是发令组合单元及接线端子的保养,如接线有无松动,自整角机集电器清洁及加接触油,齿轮、齿扇、联锁圆盘的加油等。

2)执行机构维护

打开上部小盖及后盖,检查接线有无松动,清洁自整角机集电器及加接触油,清洁伺服电机的换向器、电刷,或调换修磨电刷,齿轮及传动机件加注滑油。

3)放大器及车钟收讯器维护

检查接线有无松动,必要时清洁车钟收讯自整角机的集电器及加接触油。

4.2 CDY 型柴油机电一气遥控系统

在 CDY 型柴油机电一气遥控系统中,CDY—1 为基本型,其它为变型 ,可配用以下规格的柴油机:

CDY—1 型　　配用 8NVD48A、G300ZC、200GZC;

CDY—1B 型　配用 G6300ZCB;

CDY—2 型　　配用 6300;

CDY—3 型　　配用 NVD36。

4.2.1 主要技术参数及组成

1)额定电压及频率:AC220V、50Hz、DC24V

2)额定功耗:500VA

3)操纵档数:CDY—1 型正、倒车各 12 档,

CDY—2、3 型 正、倒车各 10 档

4)执行机构转角范围 :CDY—1 型 ±150°,CDY—2 型 ±162°,

CDY—3 型±155°。

5)跟踪精度:±1.5°

6)全行程跟踪时间:CDY—1 型 6～8s,CDY—2、3 型 8～10s

本装置由遥控操纵台、执行机构、机舱信号箱三大部件组成,下面以应用较多的 CDY—1 型为主进行介绍。

遥控台包括操纵器组件、遥控台本体、操纵盘电气面板、本体内的电子放大器和执行电路印刷板、电源组件等。执行机构包括伺服电机、传动齿轮、自整角机、手动遥控转换机构。机舱车钟信号箱包括自整角同步指示接收机、备车、完车联络、手动遥控转换联络开关及声光信号。以上部件中,遥控台的操纵器组件、机舱 的执行机构和信号箱,结构与 NVD48 系统基本相同。但以下几个方面与 NVD48 系统相比有较大改变:

(1)电气放大和制动电路作了较大改变,并将印刷板设置在遥控台本体内,使遥控电路较为简化 。

(2)操纵器组件和执行机构中,将自整角变压器运行系统的两个整角机位置作了交换,使角差电压信号至相敏整流器的连线最短。

(3)执行机构的伺服电机采用分激电机,执行电路采用可控硅元件。

4.2.2 系统原理

本遥控系统电气原理如图 9.4.6—17。由遥控电路、车钟电路、信号报警电路等部分组成。

4.2.2.1 遥控电路原理

由遥控指令收发讯自整角变压器运行系统 ZF、ZB，相敏整流器 D_{11}～D_{18}，电子开关式中间放大器 GT_1～GT_6，可控硅功率放大与伺服电机执行电路 SCR_1～SCR_6、SD 等四大单元组成。前二部分的原理已在 NVD48 系统中介绍过，下面仅简述后二部分电路。

1)中间放大器

由三极管 GT_1、GT_3 和 GT_2、GT_4 组成两个通道的施密特电路，进行正、反方向的 角差直流电平鉴别及前置开关放大，GT_5、1J 和 GT_6、2J 作倒相中间放大，继电器 1J、2J 的触点在伺服电机电路的可控硅控制极回路上。用电阻 R_{35}及二极管 D_{24}来提高倒相放大器的射极电平，增强抗干扰能力。

对于无程序功能的 CDY—1 型 跟踪遥控系统，施密特电路的输出直接与倒相放大级的基极电阻相连，即线号 208 与 211、212 与 215 短接即可。

对于要有程序功能的遥控系统，则视柴油机操作的要求，在施密特触发器的输出与倒相放大器的输入之间，加入用凸轮控制的行程开关和转速 信号联锁开关等，组成换向、启动、增速等程序环节，便成为 CDY—1B 型、2 型、3 型等变型遥控系统，当然执行机构的结构亦根据柴油机机型不同而相应改变。现以 CDY—1B 型为例，其程序环节如图 9.4.6—18 所示，它能在柴油机手动启动后由驾驶室用单手柄对柴油机的变速手轮和减速齿轮箱进行联合控制，实现合排、变速、换向、空车等运行。图中 CK_0 为主机手轮位置开关，在“空车”位置时断开；CK_1 亦为主机手轮位置开关，在“正车合”或“倒车合”位置断开；8J、9J 为减速齿轮箱油压压力继电器，8J 在“正车合”油压建立时 闭合，9J 在“倒车合”油压建立时闭合；ZSC 为转速电平鉴别联锁开关信号，在尾轴转速低于 40～50r/min 时闭合。此程序系统运行原理如下：

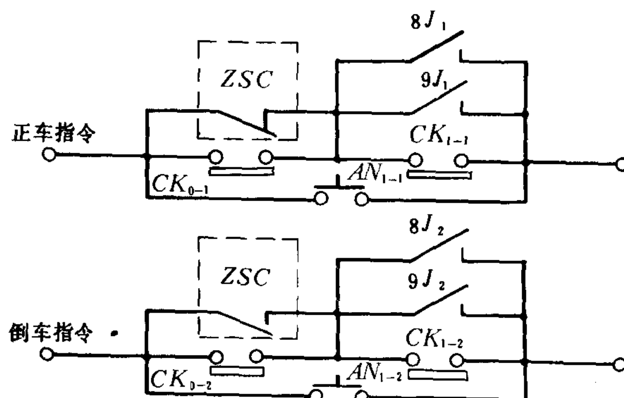


图 9.4.6—18 CDY—IB 程序环节

(1)合排、变速工况：当遥控手柄由空车扳至正车某档，执行机构带动主机手轮从空车转至正车合位置时，因 CK_{1-1}断开而停转，待减速齿轮箱合排油压建立使 $8J_1$ 闭合后，接通程序电路，手轮才再转动跟踪至正车某档同步，此后遥控手柄可在正车各档进行变速控制 。

(2)换向工况：遥控手柄从正车某档扳至倒车某档，当主机手轮从正车转至空车位置时，因 CK_{0-2}及 ZSC 触头断开而暂停转动，待尾轴转速下降至 40～50r/min，ZSC 常闭触头闭合，反转程序环节再次接通，手轮又转动至倒车合位置，因 CK_{1-2}断开而又暂停，待倒车合排油压建立 $9J_2$ 闭合时，手轮再转动跟踪至与倒车某档同步，此后遥控手柄又可对倒车各档进行变速控制。

(3)空车工况：在正车或倒车工况下，因 8J 或 9J 总有一个闭合，又 CK_0 在空车以外位置也总是闭合的，故当遥控手柄从任何方向扳回空车位置时，主机手轮都能跟踪至空车位置，且减速齿轮箱脱排，主机空车怠速运转。

2)执行电路

CDY 遥控系统的执行电路环节由变压器 TB_1 供电，二极管 D_7～D_{10}整流器提供直流励磁电压，可控硅 SCR_1、SCR_2 和 SCR_3、SCR_4 组成电枢正、反转驱动功率放大电路，SCR_5、SCR_6 为能耗制动控制电路，CK_5、CK_6 为执行机构转角极限位置开关，GJ 为执行电路过流保护继电器。中间放大继电器的触点 $1J_1$～$2J_3$ 与电阻 R_8～R_{13}及二极管 D_1～D_6 组成可控制硅的触发控制电路。

以遥控指令角差电压经相敏整流和中间放大使 1J 动作为例，当 1J 通电、执行电路中 $1J_1$、$1J_2$ 触头闭合、$1J_3$ 触头断开时，TB_1 副边的 AC120V 电源经 SCR_1 和 SCR_2 全波整流成脉动直流，由 CK_5、S_2 端点进入 SD，经 S_1、GJ 回到中心头，使电机正转。当执行机构带动柴油机手轮转到同步位置时，角差电压减小、施密特电路翻回、1J 失电，执行电路中 $1J_1$、$1J_2$ 触头断开，SCR_1、SCR_2 在交流电压过零时关断，同时 $1J_3$ 闭合、SCR_5 受电枢反电势触发导通，经电阻 R_7 对电机进行能耗制动。

过流保护继电器 GJ 的作用：当遥控手柄向同一方向断续频繁操作时，可能发生前一过程的制动尚未结束(SCR_5 或 SCR_6 仍导通)，而再次同向扳动遥控手柄致使 SCR_1、SCR_2(或 SCR_3、SCR_4)又导通的情形。这会造成 SCR_5(或 SCR_6)对电枢短路的故障，结果电枢不转动或转动很慢而主回路电流却很大。此时过流继电器 GJ 动作，使制动回路的常闭触点 GJ 断开，关断可控硅 SCR_5(或 SCR_6)，电机恢复正常工作。此外本执行电路的电源侧和可控硅元件侧都设置有阻容吸收电路，保护可控硅不被浪涌电压损坏。

4.2.2.2 车钟电路

本遥控装置的车钟指示发令系统和回令系统都与 NVD48 系统一样，采用两对自整角机同步指示运行系统 ZF_1、ZS_1 和 ZF_1、ZS_2 组成，且它们在遥控操纵器组件和执行机构组件中的安装位置亦与 NVD48 系统相似。但失步报警电路则较 NVD48 系统大为简化，失步信号是从遥控系统中间放大器的两个施密特输出端取出，经二极管“或门”D_{19}、D_{20}加至三极管 GT_7，通过中间继电器 3J 去控制蜂鸣器 MY_1、MY_2 发生声响信号。

4.2.3 安装、调整、维护

CDY 系列遥控装置安装、调整、维护工作的基本内容与 NVD48 系统大致相同，不予重述。但变型产品执行机构的安装、调整是有差别的，主要是有关凸轮控制行程开关的安装和调整，应根据具体型号的使用说明书要求，认真注意其位置的准确性和运行使用的可靠性。

5 Z型推进器遥控系统

5.1 概　　述

Z型推进器的推进轴呈“Z”型，其水平桨轴及导流管可绕垂直轴作360°回转，兼具推进器及舵的功能，故又称导管桨或舵桨。装备双Z轴桨的船舶有操纵灵活、操船简便、前进及后进推力大等特点，广泛用于港口作业船舶。

双Z轴桨的遥控系统现已广泛采用单手柄控制。通过单手柄在操纵台盘面上360°任意方向的倾倒操纵，遥控系统使两台Z轴桨回转至各自的给定位置，实现船舶的前、后进，前(后)进左(右)转弯，定点回转，左、右横移等运动。单手柄的倾倒方向表征了船舶的运动趋向，倾角大小表征了船舶的运动速度，故符合“人类工程学”的要求。

5.2 双Z轴桨单手柄遥控操纵原理

5.2.1 两桨位置与船舶运动的关系

当两台主机的转速相同且恒定时，可以认为两Z轴桨的推力t相等，则如图9.4.6—19所示双桨的合推力T及转船力矩M为：

$$T=t_{左}\cos\psi+t_{右}\cos\psi=2t\cos\psi$$

$$M=T\cdot H=T\cdot\frac{L}{2}\sin\theta$$

式中：ψ—单桨尾流方向与合推力方向的夹角；

θ′——合推力T对船舶纵中线的夹角。

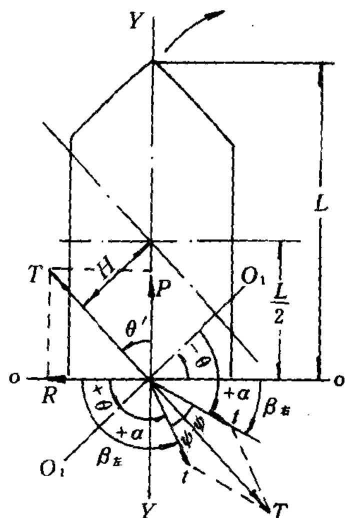


图9.4.6—19　两桨位置与推力及转船力矩的关系

合推力T可分解为船舶的前进分量P和回转分量R，且：

$$P=T\cos\theta'=2t\cos\psi\cdot\cos\theta'$$

$$R=T\sin\theta'=2t\cos\psi\cdot\sin\theta'$$

显然：

1)前进分量决定着船舶的航速

由$P=2t\cos\psi\cdot\cos\theta'$可知，当θ′一定时，航速随ψ减小而增加，图9.4.6—20示出θ′=o情形下航速与两桨位置的关系。称ψ为航速角。

2)船舶运动的趋向(航向)及趋势(回转速度及半径大小)取决于合推力与纵中线的夹角θ′。

由$R=2t\cos\psi\cdot\sin\theta'$及$M=\frac{L}{2}R=\frac{L}{2}2t\cos\psi\sin\theta'$可知，当ψ一定即T大小相同时，转船速度随θ′增加而增加，相应克服转动负载的能力增大，回转半径减小。图9.4.6—21示出ψ=60°(2ψ=120°)情形下航向与两桨位置的关系。称θ′为航向角。

5.2.2 单手柄位置与双桨位置及船舶运动的关系

5.2.2.1 桨回转角与航向角和航速角的关系

1)停船桨轴线OO：如图9.4.6—22a)，当两桨外向相对且垂直于船舶纵中线时，船舶停止

运动，取 OO 线称为停船桨轴线或称原始中立轴（对应遥控手柄处于中立位置而言）。

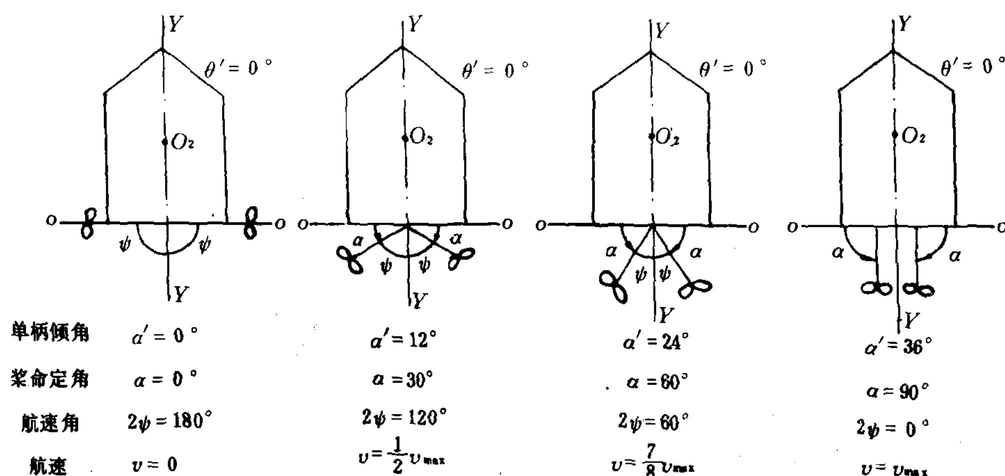


图 9.4.6—20 同航向线下($\theta'=0$)航速与两桨位置(航速角 ψ)的关系

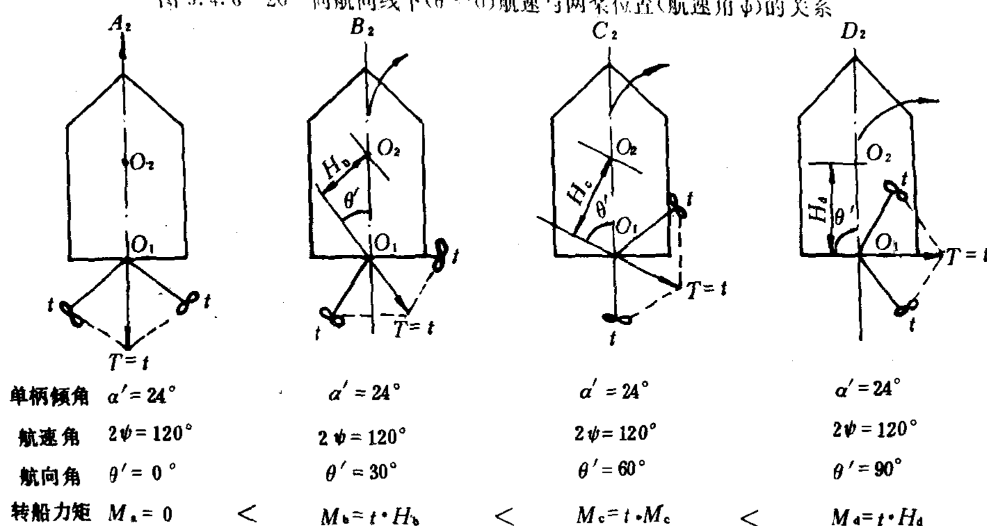


图 9.4.6—21 等航速阀下($\psi=60°$)航向与两桨位置(航向角 θ')的关系

2）航向角 θ：前述合推力 T 与纵中线 YY 的夹角 θ 表征航向，现取 O_1O_1 线与 T 垂直，称 O_1O_1 为原始旋转轴线，它是表明按命定的新位置来进行操船动作的“原始”依据。很明显 O_1O_1 与 OO 之间的夹角 $\theta=\theta'$，以下就取 θ 为航 向角。如图 9.4.6—22b)、c)、d)、e)所示。

3）航速角 α：从 O_1O_1 位置到桨的命定位置所需转过的角度为 α，由 $\alpha_左+\psi=\alpha_右+\psi=90°$ 得 $\alpha_左=\alpha_右=90°-\psi=\alpha$，因此可用 α 角代替 ψ 角来描述航速，故以下取 α 角为航速角。

4）单桨对停船桨轴线 OO 的回转角 β 是航 向角 θ 及航速角 α 的代数和：

$$\beta_左=\pm\theta\pm\alpha$$

$$\beta_右=\pm\theta\pm\alpha$$

此处航向角 θ 和航速角 α 的符号取法规定如下（注：不同的分析方法，对符号的规定有所不同）：

凡船舶前进，α 前取“＋”号，

凡船舶后进，α 前取“—”号。

航向角符号的规定以前进方向为准，当 θ 能使单桨增加前进方向分力时，θ 前取“＋”号，当 θ 能使单 桨减少前进方向的分力时，θ 前取“—”号。β 与 θ、α 间的关系及符号取法举例如图

9.4.6—22所示。

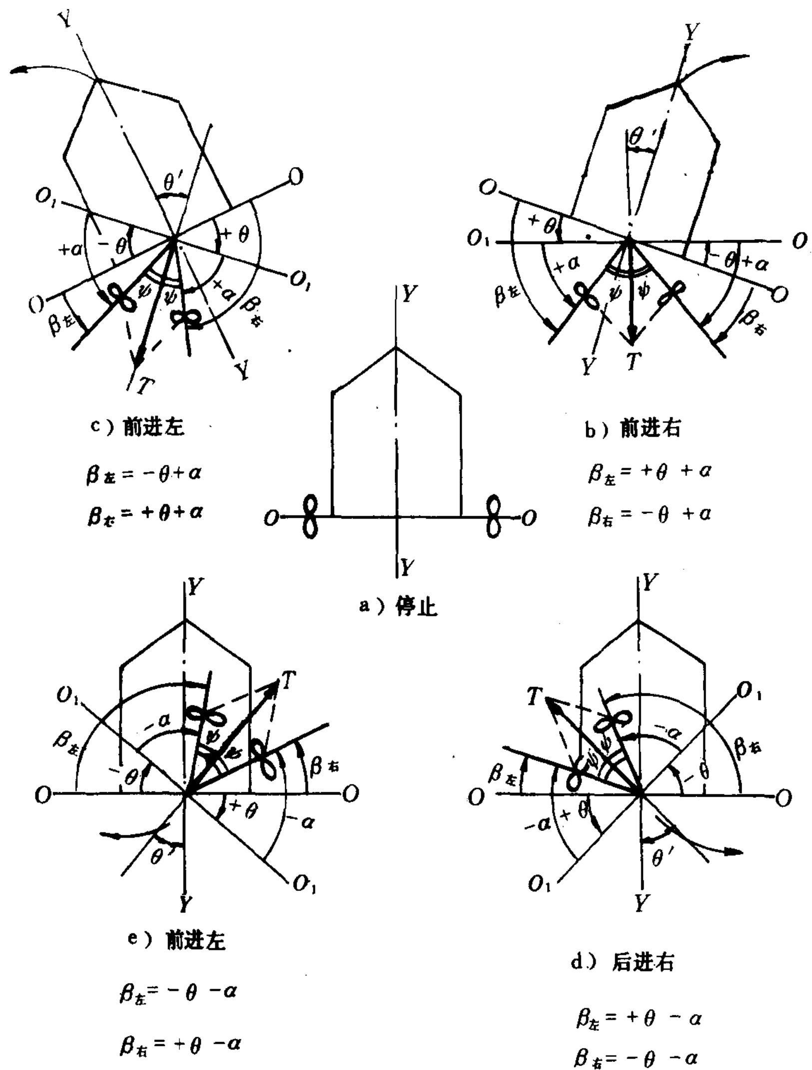


图 9.4.6－22 单桨回转角β是航 向角θ及航速角α的代数和

图 b)前进右：α 皆取“＋”；O_1O_1 逆时针旋转，对左桨为增加前进方向分力，取“$+\theta$”，对右桨为减少前进方向分力，取“$-\theta$”，故 $\beta_{左}=+\theta+\alpha$，$\beta_{右}=-\theta+\alpha$。图 c)前进左：α 皆取“＋”；O_1O_1 顺时针旋转，对左桨为减少前进方向分力，取“$-\theta$”，对右桨为增加前进方向分力，取“$+\theta$”，故 $\beta_{左}=-\theta+\alpha$，$\beta_{右}=+\theta+\alpha$。图 d)后进右：α 皆取“－”；O_1O_1 逆时针旋转，对左桨为增加前进方向分力，取“$+\theta$”，对右桨为减少前进方向分力，取“$-\theta$”，故 $\beta_{左}=+\theta-\alpha$，$\beta_{右}=-\theta-\alpha$。图 e)后进左：α 皆取“－”；O_1O_1 顺时针旋转，对左桨为减 少前进方向分力，取“$-\theta$”，对右桨为增加前进方向分力，取“$+\theta$”，故 $\beta_{左}=-\theta-\alpha$，$\beta_{右}=+\theta-\alpha$。

5.2.2.2 单手柄位置与双桨位置及船舶运动状态的关系

手柄操纵位置与双桨位置及船 舶运动状态的关系综合如图 9.4.6—23 所示，其中心为手柄垂直于操纵台盘面(中立位置)时，两桨位于停船桨轴线的原始位置。诸同心圆为单手柄倾倒角相同而航向角变化 360°时的投影轨迹，称为等航速圆，如 $A_1B_1C_1D_1$………K_1L_1，……，$A_3B_3C_3D_3$……K_3L_3，显然半径大者对应的航速就大。射线 $A_0A_1A_2A_3$，……，$A_0K_1K_2K_3$，$A_0L_1L_2L_3$ 等，为航向角一定而航 速角改变时的手柄投影轨迹，称为同航向线，显然航向线不

同，船舶运动的趋向就不同。诸同心圆与各航向线交点处的两桨位置就表示了手柄在各种不同的操纵位置下，两桨位置与船舶运动状态的关系。从图中还可看出一个特点：手柄沿右阿基米德螺旋线变动时，右舷桨的方向都相同，如 $B_1C_2D_3$ 各点，右舷桨轴线均右向垂直于纵中线 YY；同样手柄沿左阿基米德螺旋线变动时，左舷桨的方向都相同，如 $C_1B_2A_3$ 各点，左桨轴线均与纵中线平行。

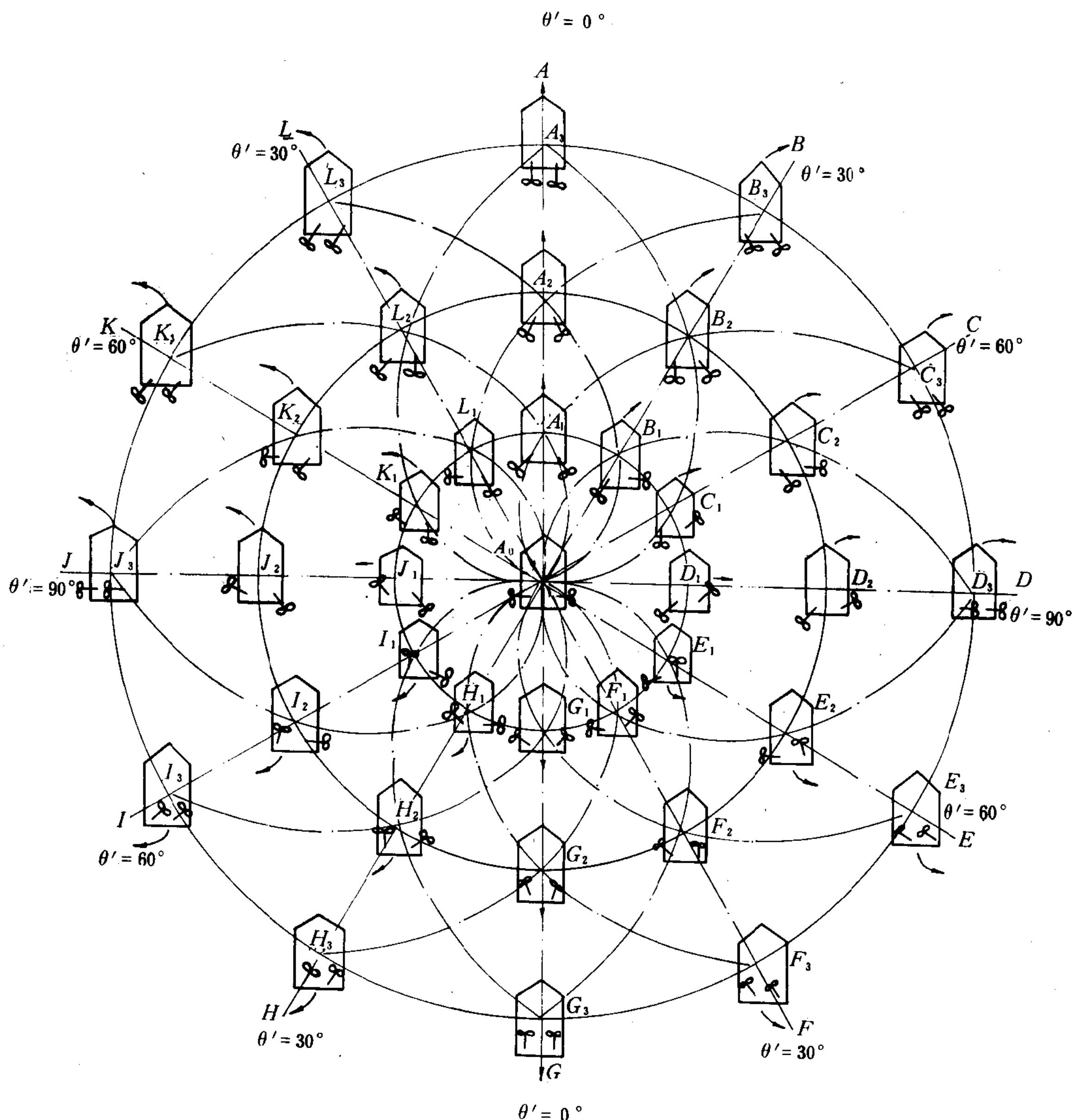


图 9.4.6—23　手柄位置与双桨位置及船舶运动状态的关系

5.2.2.3　手柄操纵机构及对双桨位置命定信号的实现

1）单手柄操纵机构原理

为使手柄能在 360°任意方向倾倒，单手柄操纵头设计成万向机构，如图 9.4.6—24 所示。在 XYZ 空间直角坐标系中，两个摆轴的轴颈中心分别与 X、Y 轴重合，支持在两对轴承上。操纵手柄借助圆柱销与 Y 向摆轴联接，其下端末稍插在 X 向弧形摆轴的槽中。手柄运动轨迹包

容在以 O 为支点、母线 OP 与 Z 轴夹角为 α_{max} 的球顶圆锥体内。当手柄在 XZ 平面以 O 为支点倾倒时，Y 向摆轴颈以 Y 轴线为中心转动。当手柄在 YZ 平面以 O 为支点倾倒时，手柄末稍使 X 向摆轴颈以 X 轴线为中心转动。手柄在此二平面以外任意方向倾倒时，两 对轴颈都转动。在两摆轴轴颈上通过适当的传 动机构和发讯元件，即可产生所需要的航向角和航速角信号，再通过运算控制 电路及反馈回路形成闭环系统，就能实现单手柄对双桨命定位置的控制。

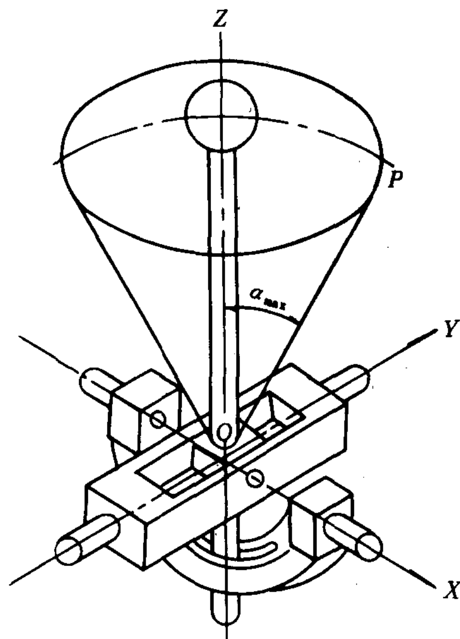


图 9.4.6—24　单手柄操纵机构

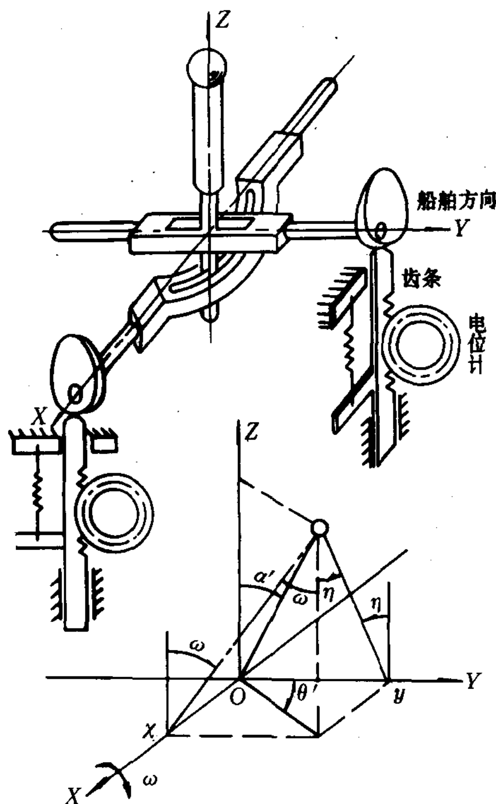


图 9.4.6—25　正切曲线凸轮电位计发讯机构

2)单手柄运动对双桨命定位置信号的实现

因设计制造 厂家不同，单手柄操纵机构摆轴轴颈上的传动机构形式和发讯元件有所不同，控制电路亦相应不同，以下简介两种。

(1)正切曲线凸轮一电位计式：日本 IHI 公司采用了此种形式，原理如图 9.4.6—25。由图可知，航向发送角 $\theta=\sin^{-1}\frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}}$，航速发送角 $\alpha=tg^{-1}\frac{\sqrt{x^2+y^2}}{1}$(图中取手柄为单位长度 1)。令 x 及 y 轴的轴颈转角为 ω 及 η，按图示得 $tg\omega=y/1=y$，$tg\eta=x/1=x$。代入 θ 及 α 关系式中，则方向发送角信号和速度发送角信号可表示为：

$$\theta=\sin^{-1}\frac{tg\eta}{\sqrt{tg^2\eta+tg^2\omega}},$$

$$\alpha=tg^{-1}\sqrt{tg^2\eta+tg^2\omega}。$$

按 $x=tg\eta$ 和 $y=tg\omega$ 规律来设计制造凸轮，传动电位计，经运算电路处理以及手柄所在坐标象限检测、正负符号判别处理等，即可发出使双桨按手柄所给命定位置回转 β 角的控制信号，图 9.4.6—26 就是 IHI 公司采用这种机构、利用运算放大器组成的控制系统模拟计算机逻辑方

块图。图中手柄的倾倒通过 X 轴和 Y 轴电位计发出信号 x 和 y，经平方模拟运算放大器和加法器得到 $x^2+y^2=s^2$，一方面通过开方器和反相器得到相当于航速大小的±s 信号；另一方面经除法器、开方反三角函数器、反相器得到航向模拟量 $\pm\theta=\sin^{-1}\frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}}$。±s 和±θ 信号经过比例运算放大器得到左舵及右舵设定位置的设定信号电压 $V_{\beta左}=5V\pm V_\theta\pm V_\alpha$ 和 $V_{\beta右}=5V\pm V_\theta\pm V_\alpha$。

为了简化复杂的运算电路，也可将 θ 和 α 表达式改写为如下形式

$$\sin^2\theta=\frac{x^2}{x^2+y^2}=\frac{tg^2\eta}{tg^2\eta+tg^2\omega}$$

$$tg^2\alpha=x^2+y^2=tg^2\eta+tg^2\omega$$

并按这种规律设计制造所谓正切平方凸轮，把单手柄的 X 轴和 Y 轴的旋转动作，经齿轮、电位计直接转化成 X^2 和 Y^2 的信号输出，亦可获取双桨命定位置的控制信号。

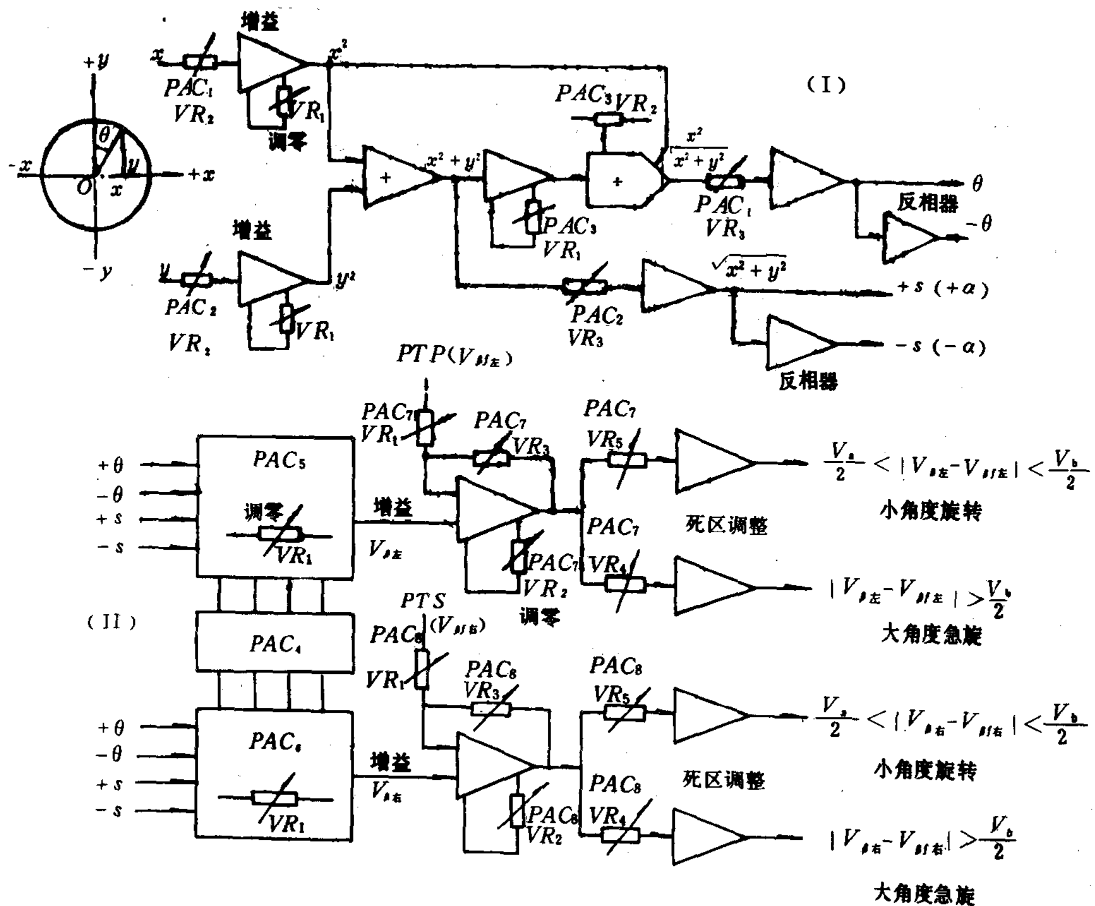


图 9.4.6—26 模拟计算机逻辑 运算方块图

(2)差动发送自整角机式：我国设计制造的 PR360D 系统是这种形式。操纵头的上半部结构如前述图 9.4.6—24，但下半部是在 xy 坐标平面下距离为 A 的平面上按图 9.4.6—27b)布置 4 只自整角机 1KB、2KCF、3KB、4KCF(KB 为自整角变压器、KCF 为差动发送自整角机)，它们的轴线分别与 x、y 摆轴轴线投影重合，由摆轴颈上的扇形齿块与自整角机轴伸上的小齿轮啮合传动，如图 9.4.6—27a)。单手柄的倾倒运动变为 4 只自整角机转子的转动，并按图 9.4.6—27c)定义的直角坐标系，设手柄 OP 按方向角 θ 倾倒 φ 角，则手柄在 x、y 轴上的设影矢量为

$$x=OP\sin\varphi\cdot\cos\theta$$

$$y=OP\sin\varphi\cdot\sin\theta$$

经齿轮传动变为自整角机转子的转角 α,有如下关系

$$x=OP\cos\varphi tg(i_1\alpha_2)=OP\cos\varphi tg(i_1\alpha_4)$$

$$y=OP\cos\varphi tg(i_1\alpha_1)=OP\cos\varphi tg(i_1\alpha_3)$$

将后一组关系式代入前组,并规定自整角机转子转角符号为:面对自整角机轴,逆时针方向为“+”,顺时针方向为“—”,则自整角机转子转角 α 与手柄操纵角∅及 θ 的关系为

$$\alpha_1=\frac{1}{i_1}tg^{-1}(tg\varnothing\sin\theta) \qquad \alpha_3=-\frac{1}{i_1}tg^{-1}(tg\varphi\sin\theta)$$

$$\alpha_2=-\frac{1}{i_1}tg^{-1}(tg\varphi\cos\theta) \qquad \alpha_4=\frac{1}{i_1}tg^{-1}(tg\varnothing\cos\theta)$$

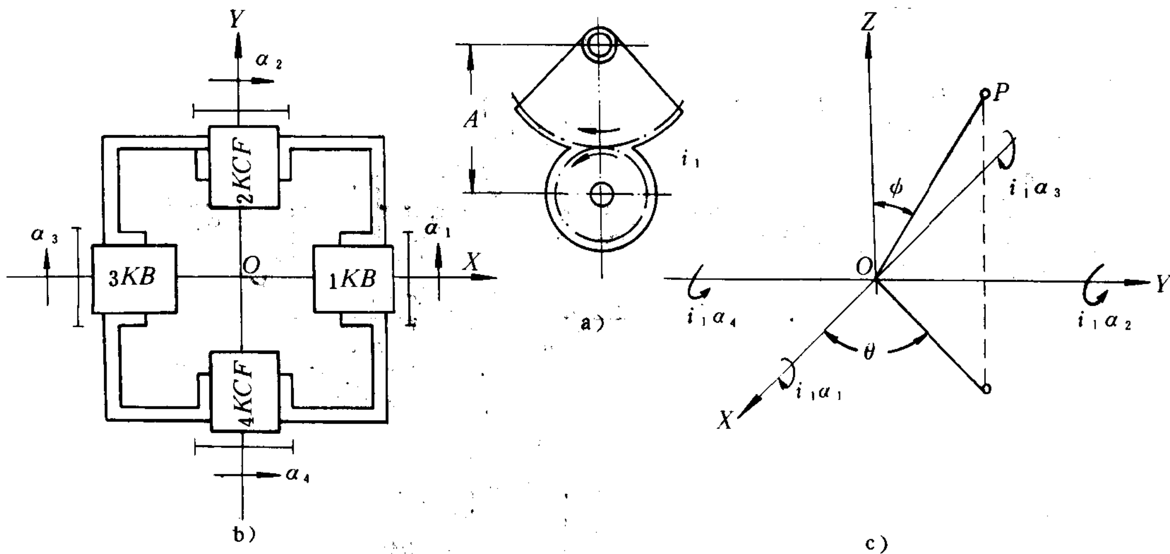


图 9.4.6—27 PR360D 系统差动自整角机发送机构及坐标定义

差动发送自整角机接线如图 9.4.6—28。其中 KB 和 KCF 的转子由单 手柄机构操纵作为发讯元件,KF 为 Z 轴桨四转角 β 的跟踪测量反馈元件。由于操纵头的结构特点及图 9.4.6—28 接线情况下(3KB 和 4KCF 之间交换了二根整 步绕组连线)的差动自整角机运行方式,做到了跟踪测量机 KF 的反馈角与二发送机 KB、KCF 的转角必须达到下列关系,才能使自整角机系统 的输出回零:右舷桨系统 $\alpha_5=\alpha_2+\alpha_1$ 左舷桨系统 $\alpha_6=\alpha_4-\alpha_3$ 再考虑到跟踪测量机转角 α 与 Z 轴桨回转角 β 间的传动比 i_2(参见图 9.4.6—35),最后得两桨命定位置与手柄操纵角之关系为:

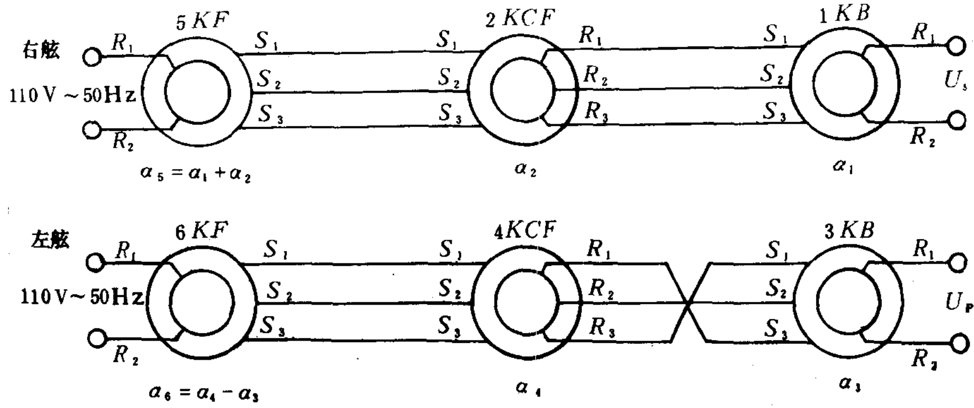
$$\beta_s=\frac{i_2}{i_1}[tg^{-1}(tg\varphi\cos\theta)-tg^{-1}(tg\varnothing\sin\theta)]$$

$$\beta_p=\frac{i_2}{i_1}[tg^{-1}(tg\varphi\cos\theta)+tg^{-1}(tg\varnothing\sin\theta)]$$

本装置选取单手柄在前进方向($\theta=90°$)及最大倾倒角($\varnothing_{max}=30°$)时,左桨逆时针回转 90°(即 $\beta_{左}=+90°$),右桨顺时针回转 90°(即 $\beta_{右}=-90°$),取传动比为 $i_1=1:2$、$i_2=90:60$,使自整角变压器的输出大部分在线性范围内。

根据 β 与 φ、θ 的函数关系式,可计算出当 φ 为 10°、20°、30°及 θ 由 0°、15°、30°……变化至 345°等各种手柄状态下的 β 值,从而可画出双桨推力方向图如图 9.4.6—29 所示(注:因对坐

标规定及发讯元件不同，故与图 9.4.6—23 有一定差异）。



前进$\theta=90°$

图 9.4.6—28　PR360D 系统 差动发送自整角机接线图

$\beta_{左}=90°$ $\beta_{右}=-90°$

$\beta_{左}=60°$ $\beta_{右}=-60°$

$\beta_{左}=30°$ $\beta_{右}=-30°$

$\phi=30°$

$\phi=20°$

$\phi=10°$

$\theta=180°$

$\theta=0°$

$\beta=-90°$　$\beta=-60°$　$\beta=-30°$　$\beta=0°$　$\beta=30°$　$\beta=60°$　$\beta=90°$

$\beta_{左}=-30°$ $\beta_{右}=30°$

$\beta_{左}=-60°$ $\beta_{右}=60°$

$\beta_{左}=-90°$ $\beta_{右}=90°$

后退 $\theta=270°$

图 9.4.6—29　PR360DZ 桨推力方向图

5.3 Z型推进器遥控系统实例简介

5.3.1 IHI双Z轴桨单手柄遥控系统简介

该系统 在我国沪、连等海港的2354kW港作拖轮上使用，为电液伺服系统，其装置布置和系统方框原理分别如图9.4.6—30和图9.4.6—31所示

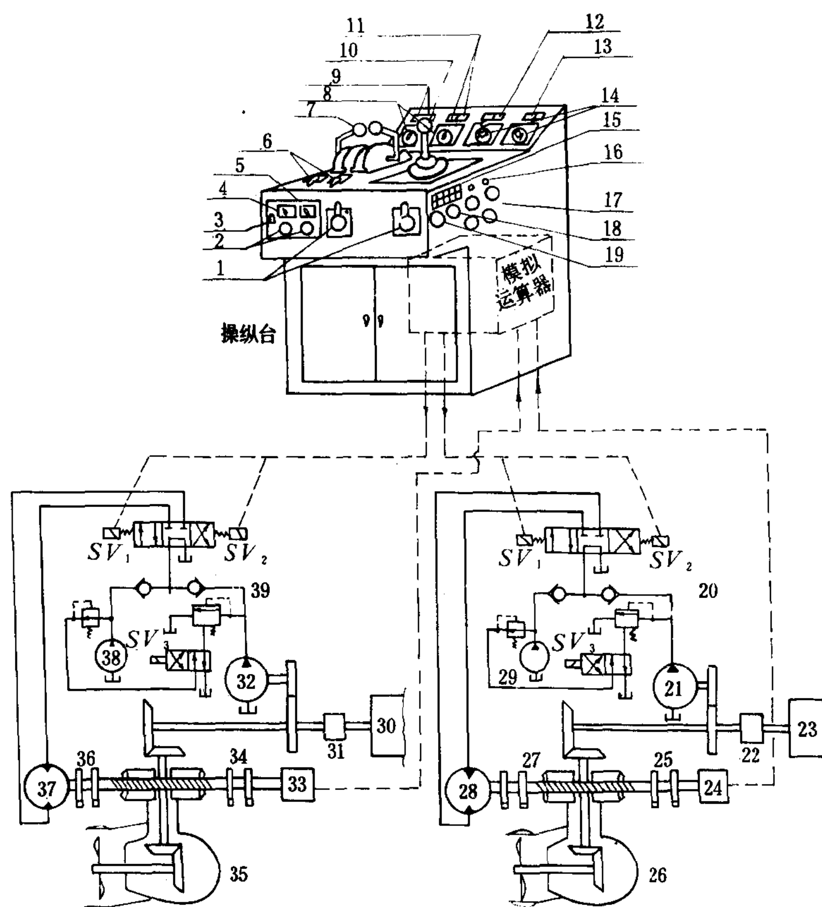


图9.4.6—30 IHIZ轴桨遥控系统装置布置图

1—应急操纵手柄；2—调光器开关；3—电源开关；4—手柄转换开关；5—主副操纵台转换开关；6—主机启一停开关；7—主机调速手柄；8—主机转速表；9—左舷推进机组离合器指示灯；10—单手柄；11—右舷推进机组离合器指示灯；12—舵机运转指示灯；13—操纵位置指示灯；14—推进方向指示器；15—报警指示灯；16—舵机电源指示灯；17—舵机启停指示灯；18—蜂鸣器停止按钮；19—灯光蜂鸣器停止按钮；20、39—主泵溢流阀；21、32—主泵；22、31—离合器；23、30—柴油机；24、33—反馈装置；25、34—超一转开关；26—右舷导管桨；27、36—向心联锁开关；28、37—油马达；29、38—副泵；35—左舷导管桨

5.3.1.1 装置功能

该装置操纵简单灵活、安全可靠。在两台主机的转向、转速(额定值)不变条件下，操纵单手柄可实现下列主要功能：

1)一根单手柄能同时操纵左、右舷两台Z轴桨导管(下称导管桨)的运动，手柄倾倒方向表征船的运动趋向和趋势，倾角大小模拟船的航速。

2)在360°范围内的所有方向，能对船以O～V_{max}的任意航向(包括定点回转、横移)、航速作连续控制，导管桨回转360°可在15～20s内完成。

3)导管桨回转超过一转时由限位开关限止。

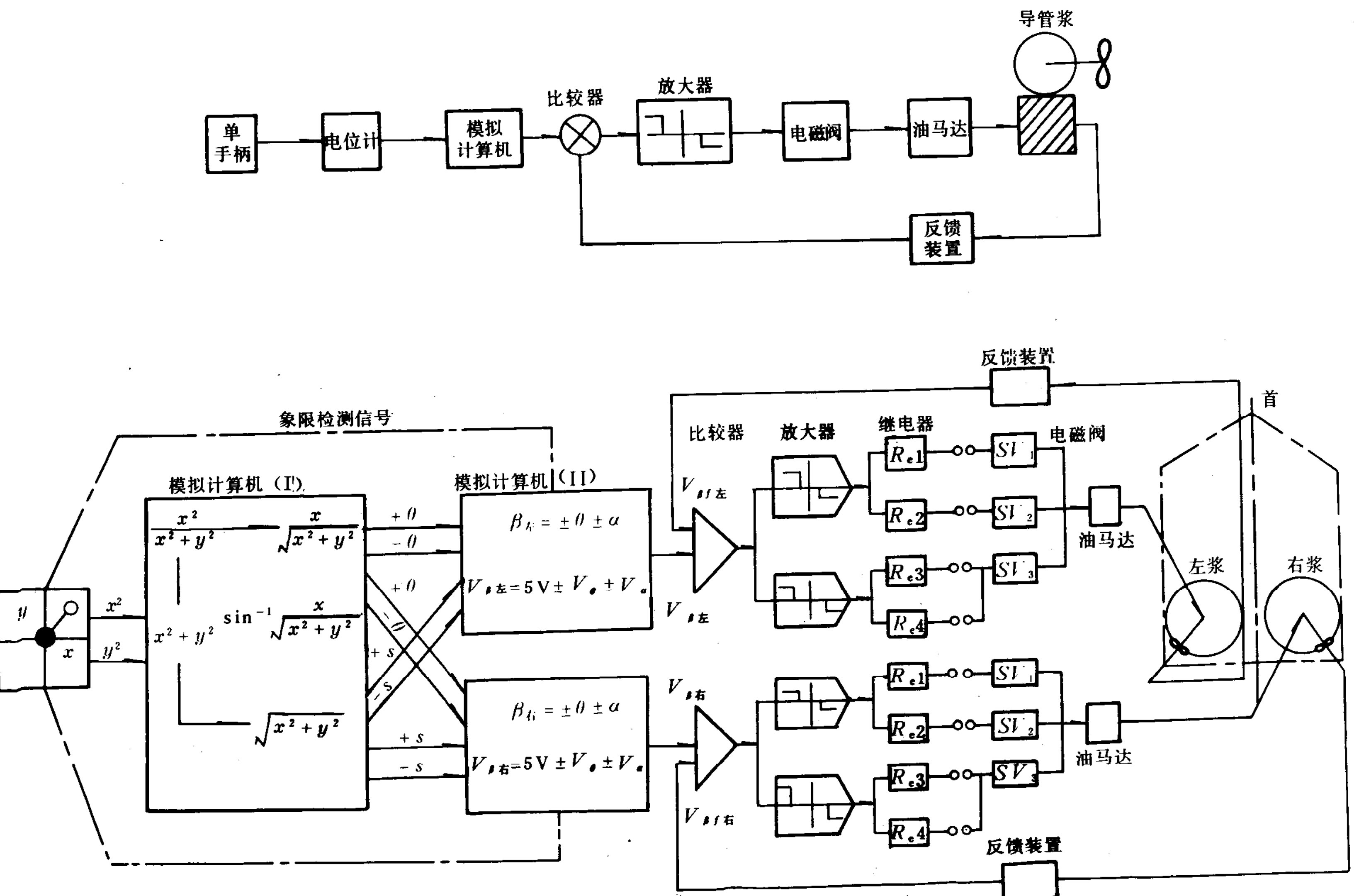


图 9.4.6—31 IHIZ 桨遥控系统方框原理图

4)单手柄操纵时，由外旋电气线路自动防止双桨进入内侧禁区（±35°内）；用两个应急手柄操纵时，由向心联锁开关防止双桨进入内侧禁区。从而防止双桨尾流对撞产生的对Z轴桨及船体的有害振动。

5)在不能使用单手柄时，可用两个应急手柄直接控制 油泵加载或卸荷 的电磁阀，从而直接操纵双Z轴桨，且应急手柄向左或右的倒向正好控制Z轴桨向左或右回转的旋向。松开手柄时，由弹簧使手柄回到原位，Z轴桨停止旋转，就象开环系统的操舵装置一样。

6)有两个主机转速控制手柄，可分别调节两台主机的转速，也可一只手同时握住两个手柄操纵。手柄内部装有两个控制离合器"接合"或"脱开"的微动开关，当手柄充分扳向人体方向时，离合器脱开，主机空转；手柄向前推时，离合器接合，且手柄越向前推，主机转速越大。还可用开关在操纵台上启、停主机。

5.3.1.2 装置组成

由操纵台、单手柄操纵机构、导 管螺旋桨液压传动机械装置、反馈装置等组成。操纵台上设有各种控制手柄、开关和指示仪表、灯亮。单手柄机构设在操纵 台上，机构内部 装有将手柄的倾倒运动变为电气信号的二个电位器和决定航向的二个微动开关（象限检测）。液压伺服装置通过油马达、蜗杆蜗轮机构驱动导流管，可围绕Z轴桨的直轴作360°"公转"，油马达的正反转和速 度控制，是由电液换向阀和卸荷电磁阀对主、副油泵进行适时的加载或卸荷 并配合旁油路节流调速系统来实现的。反馈装置在油马达驱动的蜗杆轴端，其内装有检测 导管桨位置的反馈电位器，它将桨的位置信号送回计算机的比较器，还有二个螺旋桨向心联锁极限开关和二个防止导管桨超过360°的极限开关。

5.3.1.3 系统基本工作原理

如图9.4.6—31系统方框图所示，由单手柄操纵两个电位器发讯，通过运算放大器组成的模拟计算机(I)产生航向角信号$\pm\theta$和航速 角信号s（即α），再由模拟计算机(II)对θ、s以及手柄位置象限信号进行综合运算，得出Z轴桨的命定位置回转角$\beta=\pm\theta\pm\alpha$，同时变换为对应β角的设定电压信号$V_{\beta左}$、$V_{\beta右}$。V_β信号与Z轴桨的实际位置反馈信号$V_{\beta f}$通过比较器得出偏差信号，$(V_\beta-V_{\beta f})$并形成闭环。偏 差信号通过死区放大器判别是大角度指令、小角度指令或零信号（参见图9.4.6—26），以自动选 通程序继电器R_e，从而产生大角度急回转或小角度慢回转的"舵 "指令，再通过电磁阀SV控制 油泵的加、卸载，驱动油马达及蜗轮机构使Z轴桨按命定位置回转。

5.3.1.4 伺服系统电磁阀程序控制电路

如前所述，偏差信号经由死区放大器处理后选通和控制程序继电器，使油泵加载、卸荷 电磁阀动作，进而控制油马达的转向和转速 。图9.4.6—32示出左桨机组的继电器程序控制电磁阀电路原理 。

1)小角度、大角度回旋继电器控制程序：模拟计算机运算发出的左舵小角度指令，是经过继电器R_e1进而控制继电器M_c1传送的，通过防止超一转极限开关i_sB，使 左舵电磁阀SV_1激磁，副油泵加载，推动油马达，使导管桨慢速向左旋转至命定位置。同理，右舵小角度指令则经$R_e2\rightarrow M_c2$和i_sA，使右舵电磁阀SV_2通电动作，副油泵加载，油马达反向旋转，使导管桨 慢速右旋至命定位置。

当计算机发出左舵大角度指令时，则继电器R_e1和R_e3同时通电，进而控制M_c1和M_c3，使电磁阀SV_1和SV_3同时得电动作，主、副油泵都加载并联运行，使油马达推动导管桨快速左旋。同理，右舵大角度指令经R_e2、$R_e4\rightarrow M_c2$、M_c3，使SV_2和SV_3同时得电，双泵并联供油，导

管桨快速右旋。

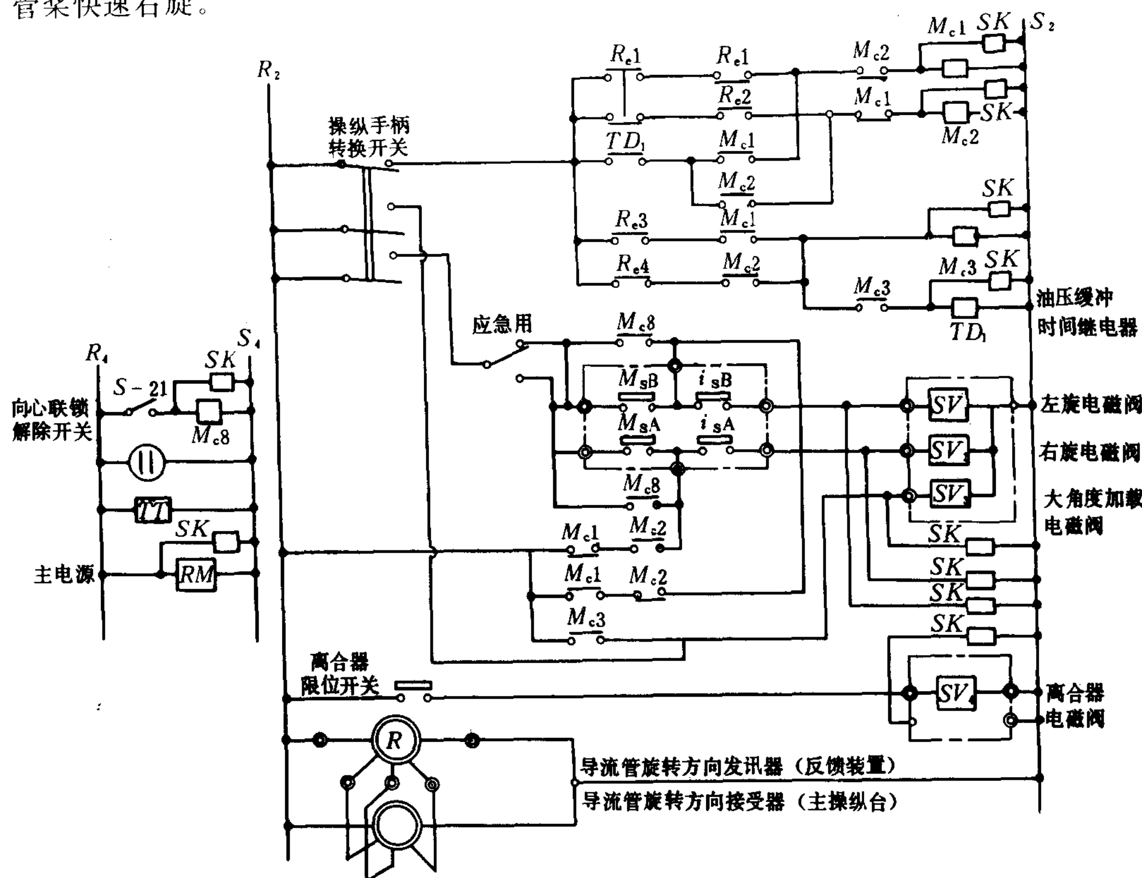


图 9.4.6—32　左桨机组继电器程序控制电路

由于采用双桨供油，油马达有快慢两档速度，因此随着导管桨接近命定位置，偏差信号（$V_\beta-V_{\beta f}$）变小，死区控制放大器使电磁阀 SV_3 失电，主泵卸荷，油马达以慢速驱动导管桨转至命定位置，使 Z 轴桨回转跟踪精度控制在 ±2°内，以尽量防止超调振荡现象。一旦超调，则用小角度旋回动作把桨拉回到控制精度以内。

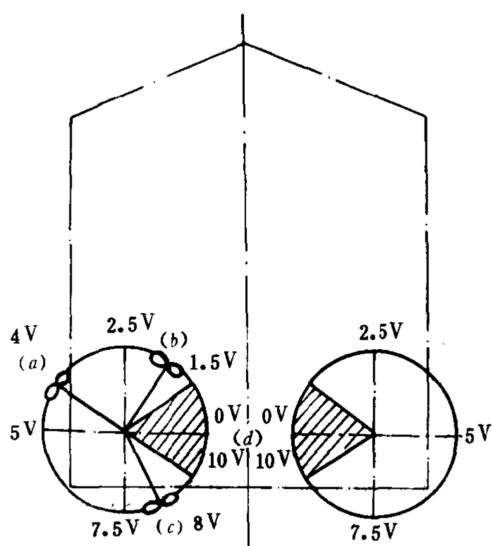


图 9.4.6—33　左桨自动外旋原理

2）自动外旋电路：为了使用安全和操作方便，该装置在电气上采用了外旋线路，使单手柄操纵时能自动防止双桨进入"内侧禁区"。

图 9.4.6—33 示出双桨位置与 V_β 电压信号的对应关系。设某时刻左桨在位置(a)，$V_\beta=4V$，设定信号 V_β 与反馈信号 $V_{\beta f}$ 相等，导管桨停止回转。若操纵单柄使设定信号 V_β 到位置(b)即 $V_\beta=1.5V$，此瞬时反馈信号仍为 $V_{\beta f}=4V$，则出现 $V_\beta-V_{\beta f}=-2.5V<0$ 的情况，发出向左旋转的指令，这正好是左桨外旋，自动避开内侧禁区。而若从原来平衡位置(a)瞬时向位置(c)改变设定信号，则会出现 $V_\beta-V_{\beta f}=8V-4V=+4V>0$ 的情况，发出向右旋转的指令（与 $V_\beta-V_{\beta f}<0$ 时的方向相反）即向外旋转。从而保证导管桨绝不会经过 ±35°的禁区而越过位置(d)。

3)向心联锁开关限位:使用应急手柄操纵时,通过设置在油马达输出轴侧的向心联锁开关MSA和MSB,防止双桨进入“内侧禁区”。当导管桨转至内侧±35°时,MSA或MSB之一被强迫顶开,切断控制电路。但如特殊需要,硬要导管桨在±35°内旋转,则可将控电盘上的向心联锁解除开关S—21接通,使继电器M_c8动作,绕过向心联锁开关。

4)超一转联锁开关:当导管桨旋转至360°位置时,装在蜗杆轴侧的限位开关i_sA和i_sB之一被机械强迫顶开,切断程序控制电路,使桨停止旋转。

5)防止大角度换向时的液压冲击:当导管桨由快速左急旋改为快速右急旋(或相反)时,为了避免电液换向阀产生很大的冲击和振动,在程序控制 电路中设置了断电延时释放的时间继电器TD_1(左右 舷各一个),整定在1~2s内。使上述转换经历快速—低速—再换向快速的时间过程。此方法实质是,在换 向阀主阀换 位之前,先使主泵卸荷 。流过换向主阀的流量降低,从而减轻换向时的液压冲击和振动。

此外本装置在液压系统中,除采用主副双泵供油、程序加载卸荷外,还利用旁油路节流调速,使油马达驱动导管桨能在15~20s内完成转舵360°的速度要求;使用M型电液换向阀和油马达配油轴隔墙的密封性来使油马达定位闭锁;采用安全阀来进行系统过载保护等。

5.3.2 PR360D双Z桨单手柄遥控系统简介

该系统亦称ZP150,为我国自行设计制造,在长江、黑龙江等内河的2×110kW港口和航道工程作业拖轮上使用。该系统具有电路原理简单易懂、安装调整容易、船员易于接受、造价低、工作可靠等特点,符合我国内河实情,颇受用户欢迎。

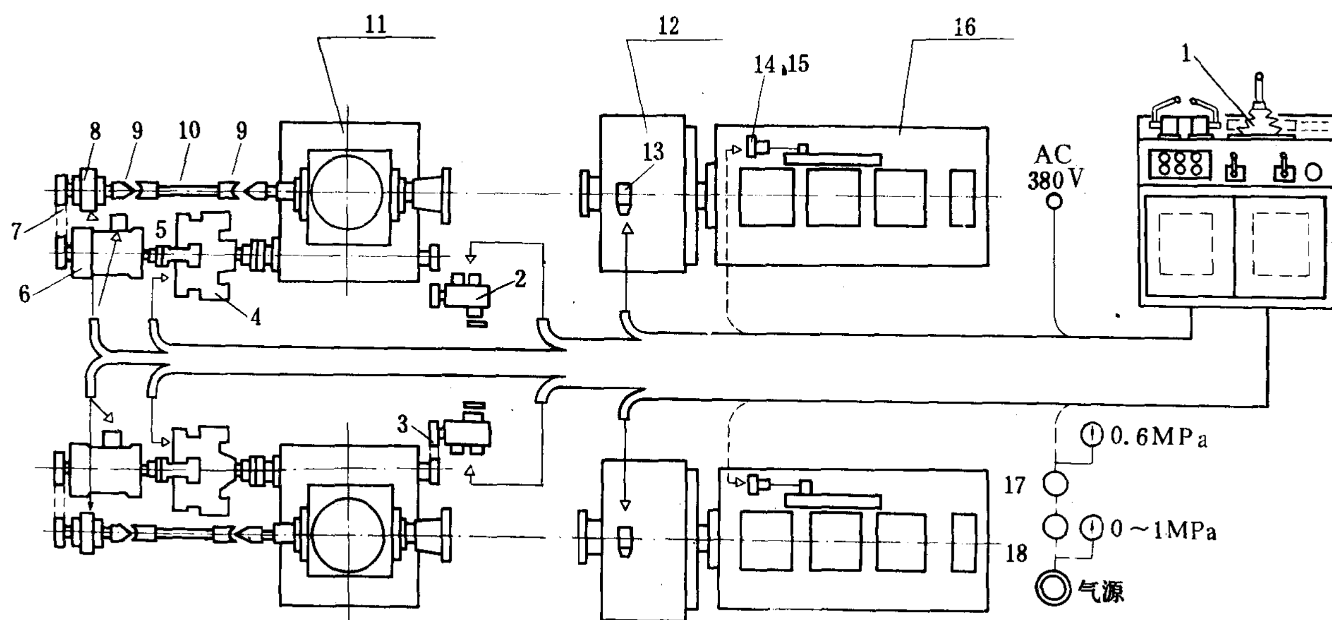


图9.4.6—34 PR360DZ轴桨遥控系统

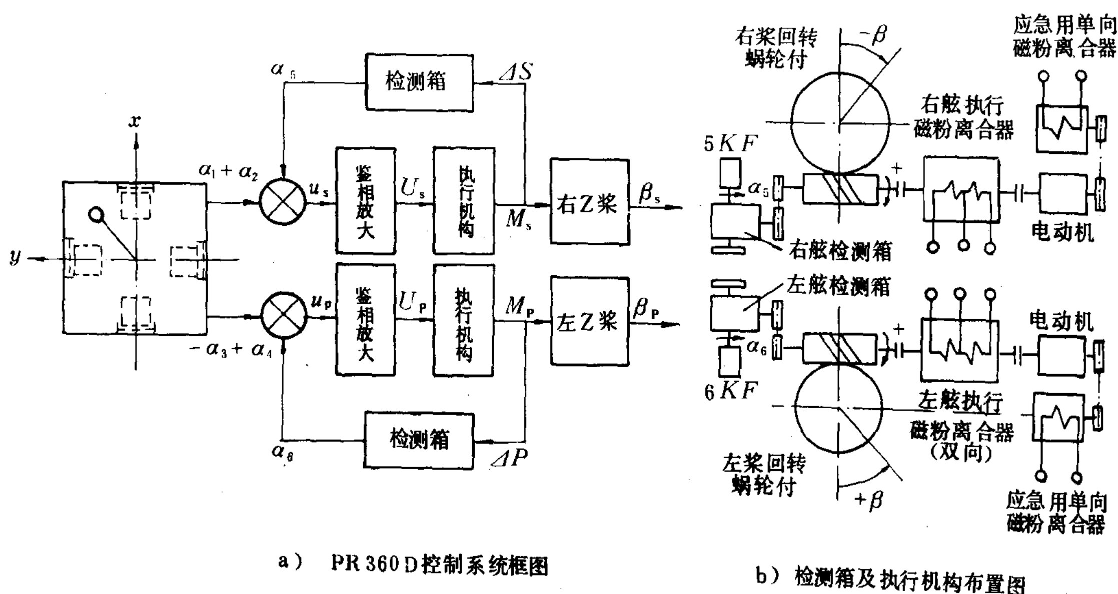
1—操纵台;2—检测齿轮箱;3、7—齿形带传动装置;4—双向磁粉离合器;5—弹性联轴节;6—电动机;8—单向磁粉离合器;9—万向接头;10—传动轴;11—Z桨装置;12—离合减速箱;13—电磁阀;14、15—单向节流阀与膜片气缸;16—柴油机;17、18—气源处理装置

5.3.2.1 装置组成

装置组成如图9.4.6—34所示。由驾驶室操纵台、机舱的气动式柴油机调速执行机构、推进轴减速箱离合器电磁阀、舵舱的桨回转原动机选择磁粉离合器、桨回转用交流电动机、转桨

驱动双向磁粉离合器和控制 系统反馈检测箱等组成。

5.3.2.2 遥控电路原理



a) PR 360 D控制系统框图

b) 检测箱及执行机构布置图

图 9.4.6—35 PR360D 系统框图和检测箱、执行机构布置图

本遥控系统的方框图和电路原理图分别如图 9.4.6—35 和图 9.4.6—36 所示，由功能及结构完全相同对称的左、右舵两套控制电路组成。各有稳压电源、鉴相放大、可控硅功放三块印刷电路板。现以左舵桨机组控制电路为例：当手柄作某种操纵后，左舵桨电路的差动发送自整角机系统的自整角变压器 3KB 产生相应于$(\alpha_4-\alpha_3)$的指令信号电压 u_p，通过 RC 移相环节输入双桥形相敏整流器(与 NVD 系统中的相敏电路相同)作回转方向鉴别，经 $2\times A_1$、$2\times A_2$、$2\times T_1T_2$ 等集成和分立元件作开关放大后，触发两个 SCR 可控硅之一，可控硅输出功率电流使双向磁粉离合器绕组 $1DLH_1$ 和 $1DLH_2$ 之一激磁。于是执行机构中恒速常运转的交流电动机 YD_1 便经磁粉离合器驱动蜗轮副，使左舵 Z 轴桨导管正向或反向回转跟踪，同时检测箱中的反馈自整角机 6KF 被蜗杆轴上的齿形带传动，当桨回转跟踪到 β_p 命定位置即 6KF 的转角达到 $\alpha_6=\alpha_4-\alpha_3$ 时，3KB 输出的信号电压 u_p 回零，各电路环节输出亦为零，磁粉离合器失磁，桨停在新的命定位置上。为了防止 Z 轴桨回转跟踪至命定位置时产生超调振荡现象，图中通过左上方的 A_1 放大器引反馈信号至鉴相器后面的 A_1 放大器输入端进行加、减，使鉴相器后的 A_1 放大器在 u_p 信号接近零时提早关断，使回转跟踪精度在±2°内。

本系统除单手柄跟踪操纵外，在交流电源失电时，可在直流电源支持下，用应急手柄分别操纵左、右舵的 Z 轴桨导管回转。回转动力由柴油机提供，由手控开关 HZ_2 使单 向磁粉离合器 DLH_1 激磁，柴油主机动力经齿形带、电动机转子至双向磁粉离合器。由操纵台正面的应急手柄控制 WH_1 开关，经 JC_1 或 JC_2 继电器使双向磁粉离合器激磁，驱动 Z 轴桨回转，并由行程 开关 LH 进行手操限位保护，以及 LF、LJ 自整角机同步指示系统进桨回转过程的角度指示。WH_2 为手动、随动、舵舱分别操纵的选择开关。

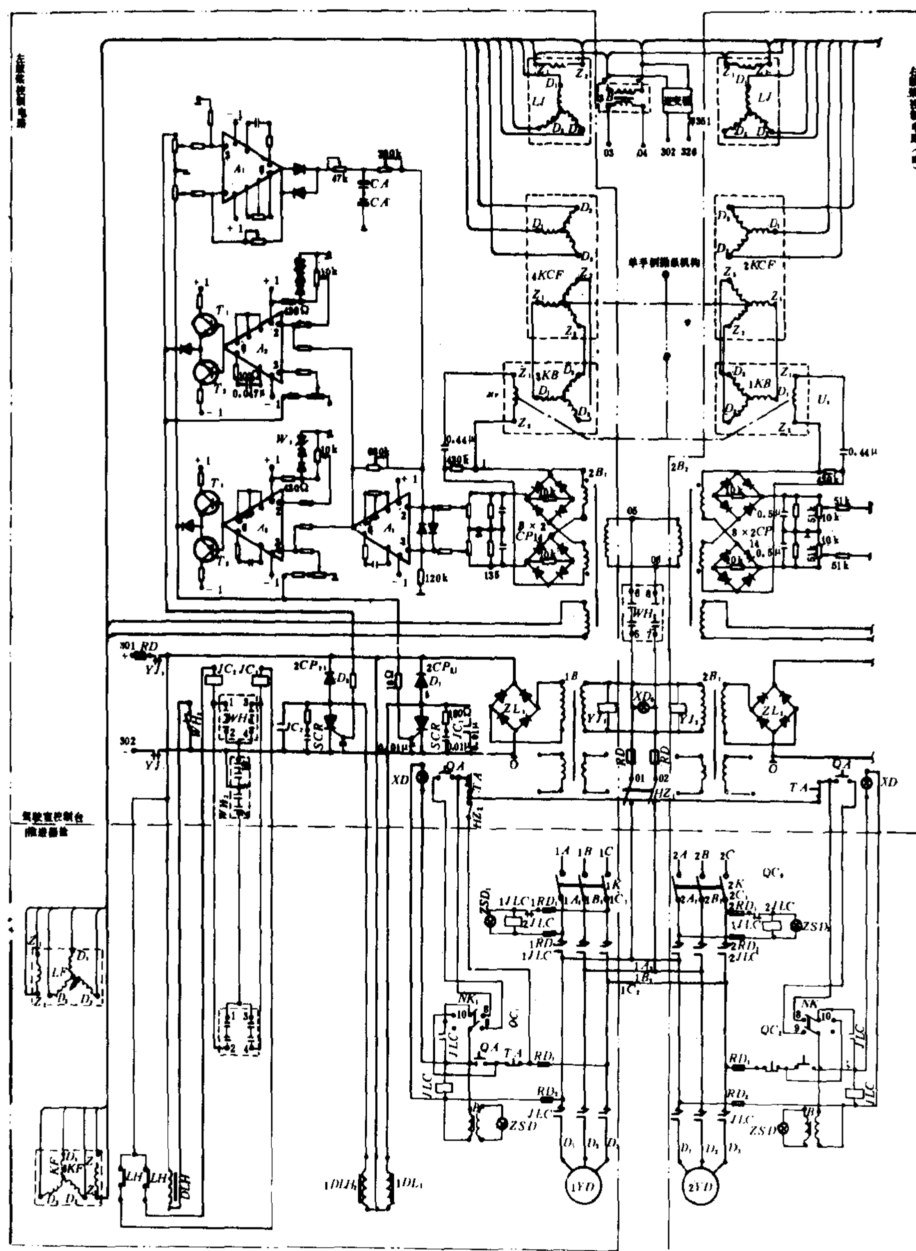


图 9.4.6 36 PR360D遥控系统电路原理图

第 7 章　LM2500 船用燃气轮机控制

LM2500 型船用燃气轮机是美国通用电气公司(简称 GE 公司)航空发动机部设计制造的。它以 TF—39(CF6)航空涡轮风扇发动机为原型经船用化改装,既保持航空型的可靠、轻小等特点,又大大节约研制费用、缩短研制周期。实践证明,这是发展船 用燃气轮机的有效途径。1969 年底,研制的第一台 LM2500 船用燃气轮机装于美国海军海上试验船“卡拉汉”号滚装货船上作为左舷推进装置。在取得改进经验后,1972 年开始大量用于各种水面舰艇。目前,LM2500 燃气轮机已成为世界名牌大功率舰用燃气轮机中装舰总功率最大、装舰台数最多的机型 。

1　燃气轮机机组的控制

图 9.4.7—1 是单轴燃气轮机工作示意图。

LM2500 燃气轮机机组在箱装体内运行,不可能在机旁直接手动操纵。为了保证机组正常地投入工作和可靠、稳定地运行,其全部操纵由控制系统完成。

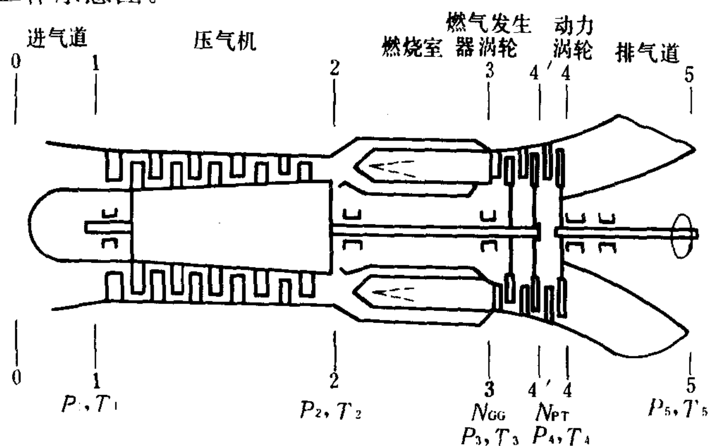


图 9.4.7—1　单轴燃气轮机工作示意图

P_1—压气机进口空气压力;T_1—压气机进口空气温度;P_2—压气机出口空气压力;T_2—压气机出口空气温度;P_3—燃气发生器涡轮进口燃气压力;T_3—燃气发生器涡轮进口燃气温度;P_4—动力涡轮进口燃气压力;T_4—动力涡轮进口燃气温度;P_5—动力涡轮出口燃气压力;T_5—动力涡轮出口燃气温度;N_{GG}—燃气发生器涡轮转速;N_{PT}—动力涡轮转速

主要内容有:

1)启动、停机控制

2)功率控制

机组控制单元(分系统)接受推进控制系统功率指令,调节分配到燃气发生器燃烧室的燃油量,控制燃气轮机功率。并在供油过程中,根据机组各传感器检测信号,确定最佳供油程序和最佳导叶位置,保持机组按指令要求、可靠而又经济地运行。

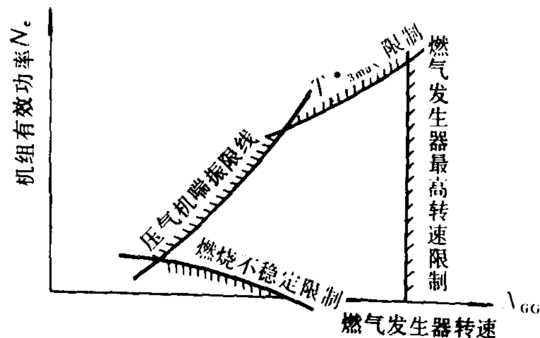


图 9.4.7—2　燃气轮机机组功率控制范围限制

3)安全保护控制

燃气轮机的控制 必须符合燃气轮机本身结构、性能和工作特性的要求。功率变化应该受到如图 9.4.7—2 所示的各种限制,即压气机喘振限制、燃烧不稳定限制、燃气发生器涡轮进口温度 T_3 限制和燃气发生器最高转速限制等。这样才能按合理的调节规律控制机组运行。据此控制系统应该设置:

①燃气发生器最高转速限制；

②机组加速速率限制；

机组加速既要尽量缩短加速时间，提高加速性能，又要防止加速过猛，造成空气量的增加滞后于燃油量的增加，导致过剩空气系数 α 下降，T_3 超温，甚至因空气严重不足而出现富油熄火。

③机组减速速率限制；

防止因油量减小过多、过猛而使燃烧不稳定或贫油熄火，并避免在减速过程中进入压气机喘振区。

对于燃气轮推进装置，应保护机组、传动齿轮箱、离合器、轴系、螺旋桨等安全运行，需设置：

④动力涡轮转速限制；

⑤动力涡轮加速度限制；

⑥动力涡轮扭矩限制；

⑦动力涡轮超速保护；

为了确保船舶航行安全，还要设置：

⑧应急停车；

⑨应急(越控)操纵；

⑩控制系统故障时的应急手动油门控制等。

下面分别叙述燃气轮机机组的控制。

1.1 启动、停机控制

燃气轮机用专门的启动机启 动，把燃气发生器带动到它自已能够维持运转的转速。除启动外，启动机还用于燃气发生器的盘车。常用的启动机有液压式启动机、气动式启动机、电动机和 专用小燃气轮机等。LM2500 用液压启动机和气动式启动机。下面介绍气动式启动及控制。

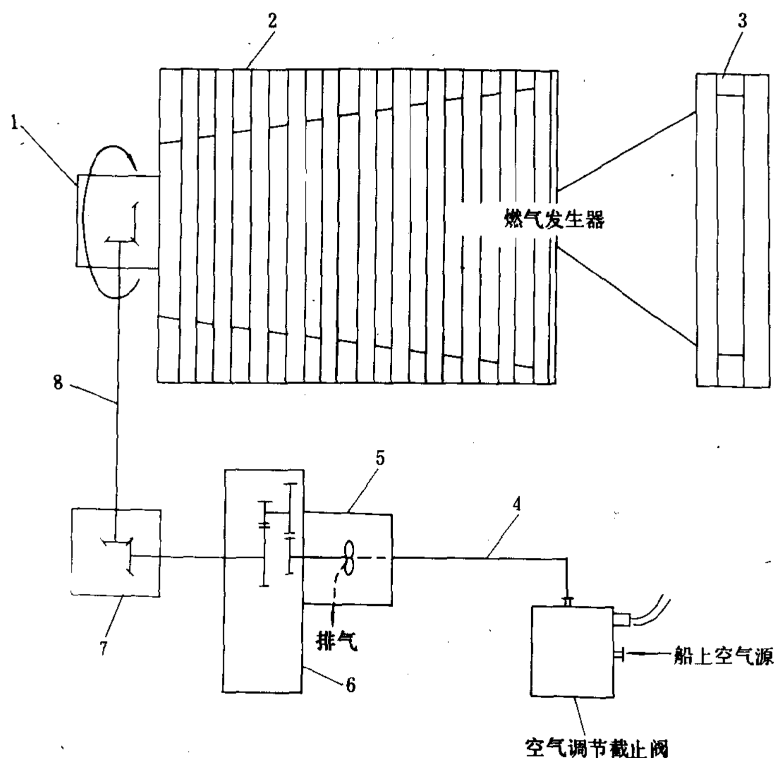


图 9.4.7—3 LM2500 燃气轮机气动启动系统

1—输入齿轮箱；2—压气机转子；3—高压涡轮转子；4—空气管路；5—气动式启动机；6—附件齿轮箱；7—转换齿轮箱；8—径向传动轴

气动启动系统包括空气调节截止阀、气动式启动机和空气管路等。气动式启动机由空气涡轮、减 速齿轮和超速离合器组成，见图 9.4.7—3 。

启动机及减速齿轮安装在附件齿轮箱上。在接到启动指令信号后，空气调节截止阀自动开启，经稳压后的启动空气沿进气管道进入空气涡轮机，产生一定的扭矩，通过减速齿轮、转换齿轮箱、径向传动轴和输入齿轮箱，把燃气发生器带动到允许点火并能持续运行的转速 。当达到预设启动转速时，启动指令信号撤除，调节截止阀关闭，截断启动气源。燃气发生器继续加速

时、启动机的超速离合器自动脱开，启动结束。

超速离合器为棘爪—棘轮型，(图 9.4.7—4)在启动期间它能保证可靠啮合。当输出轴转速大于输入轴时，它能自动脱开。

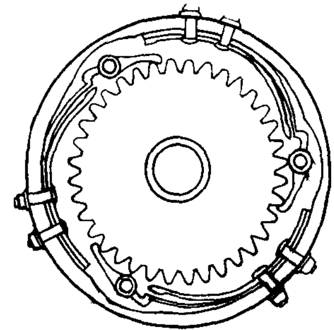


图 9.4.7—4 棘爪—棘轮型离合器

空气调节截止阀(图 9.4.7—5)的作用是根据启动指令开启和截断启动空气通路并调节气压稳定。它由抽气调节器、电磁转换开关、气动转换开关、止回阀、执行器和蝶阀等组成。设有电气机械式阀位指示器。平时因弹簧力和气动力的作用，使阀处于关闭位置。启动时电磁线圈通电，电磁转换阀关断大气通路，抽气调节器的压力空气一方面进入气动转换开关的活塞上方，使执行器的"关闭"腔室 B 与蝶阀出口相通；另一方面经止回阀传至执行器的"开启"腔室 A，如果蝶阀出口空气压力低于抽气调节器的调节压力。即 B 腔室压力低于 A 腔室压力，则执行器向下作用使蝶阀开大。当出口压力增至要求的调节值时，执行器 A、B 腔室达到压力平衡，蝶阀保持该位置不变。出口压力的任何微小变化，都会引起蝶阀位置的相应修正，以保持稳定的出口空气压力。启动信号撤除，电磁线圈断电，电磁转换开关打开大气通路，使气动转换开关的活塞上方和执行器 A 腔室通大气，B 腔室与抽气调节器的压力空气相通，执行器向上的作用力使蝶阀迅速关闭。

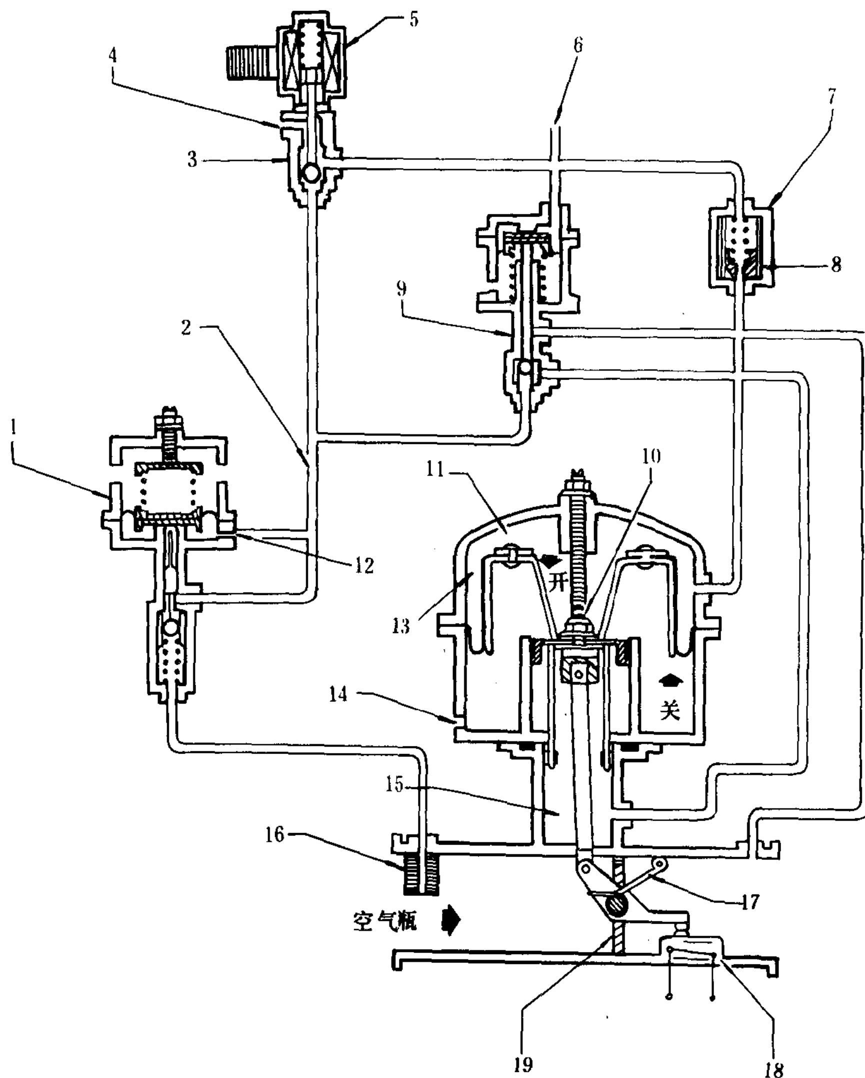


图 9.4.7—5 空气调节截止阀

1—抽气调节器；2—节流孔；3—电磁转换开关；4—大气通路；5—电磁线圈；6—排气孔；7—止回阀；8—标定孔；9—气动转换开关；10—关闭位置止档；11—腔室"A"(开)；12—小孔；13—执行器；14—大气通路；15—腔室"B"(闭)；16—滤器；17—扭力弹簧；18—指示器开关；19—蝶形阀

燃气轮机机组起动程序流程图，如图 9.4.7—6所示。

启动系统特性参数：

启动空气压力	～0.27MPa
启动空气温度	－50～＋230℃
启动机功率	100kW
空气涡轮转速	75000r/min
减速齿轮传动比	16∶1
空气瓶容量	至少供单机连续启动5～6次。

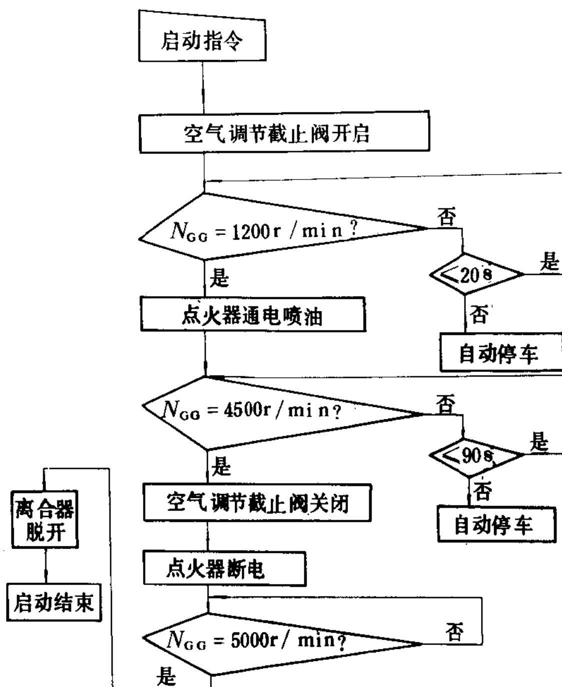


图 9.4.7 6 启动程序流程图

燃气轮机机组正常停车是根据停车指令，使油门处在最小位置（微速位置），让燃气发生器在微速处运行约5min（此时离合器已使动力涡轮轴与螺旋桨脱开），然后切断燃油停车开关。燃气轮机由惯性转动到停车，历时3到4min。

应急停车时，直接切断燃油开关，使燃气轮机停车。非紧急情况不要采用这种方式，因为快速瞬变过程会降低发动机的使用寿命。

燃油停车开关，接受停车指令而处于关闭位置时，能够把通到燃烧室去的燃油总管内的燃油旁通返回至燃油泵。这样，燃气轮机停车而作惯性运转时，便不会涨坏燃油管路。

燃油停车开关见图 9.4.7—17。

1.2 燃气轮机的推进特性及控制方式选择

1.2.1 燃气轮机与柴油机的外特性比较

燃气轮机动力涡轮轴与燃气发生器轴是分开的。两者只有气流参数上的联系而无机械联系。当螺旋桨负荷改变引起动力涡轮转速 N_{PT}变化时，只要燃油供油量 G_T 不变，大气压力 P_1 和大气温度 T_1 不变，则燃气发生器涡轮进口燃气压力 P_3、温度 T_3 不变。这样，动力涡轮进口燃气压力和温度 P_4、T_4 也就变化不大。动力涡轮可看作是一级自由涡轮，其转速 变化对气流参数和焓降影响不明显，因此，对机组的输出功率也就没有显著影响。但动力涡轮的转速变化若和气流量配合不当，会使涡轮内效率下降，导致输出功率低于设计点。

与燃气轮机不同，柴油机推进装置即使供油位置不变，螺旋桨负荷改变引起转速变化时，将直接影响单位时间内的喷油量，因而明显地影响柴油机的输出功率。

上述分析可从它们的外特性曲线上看出。（见图 9.4.7—7）

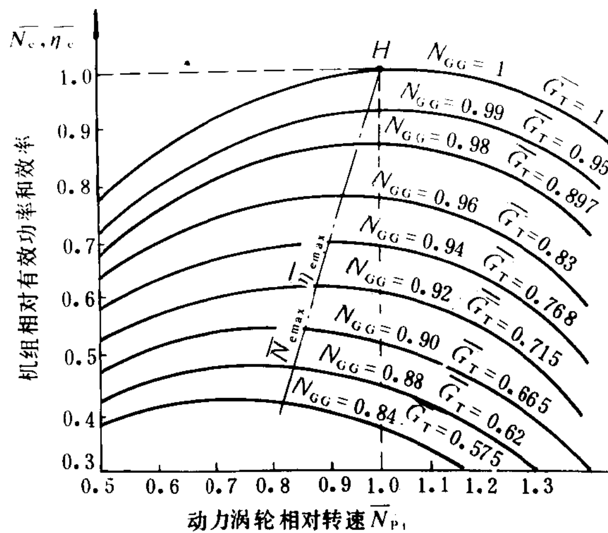
外特性是指机组在供油量位置不变时，有效功率 N_e、有效效率 η_e、输出扭矩 M 与输出轴转速 N_{PT}（柴油机 n）之间的函数关系 $N_e=f(N_{PT})$、$\eta_e=f(N_{PT})$、$M=f(N_{PT})$。

比较图 9.4.7—7 示出的 a)、b)两组曲线，燃气轮机机组的外特性曲线比较平坦，即动力涡轮转速的变化对有效功率、有效效率的影响不大。从油门角度在不同位置时的一组曲线比较看出：随着燃气发生器转速$\overline{N_{GG}}$和给油量$\overline{G_T}$的增加，外特性曲线$\overline{N_e}=f(\overline{N_{PT}})$、$\overline{\eta_e}=f(\overline{N_{PT}})$更趋平坦。即随着机组供油量 G_T 的增加、越接近全工况，动力涡轮转速 N_{PT}可以在很大范围内变化，因它对功率和效率的影响越来越小。

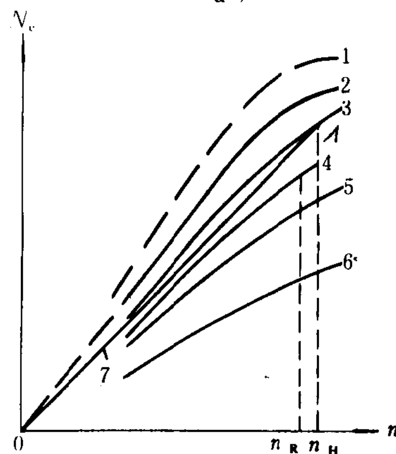
从公式：$\overline{M}=716\cdot 20\dfrac{\overline{N_e}}{\overline{N_{PT}}}\dfrac{1}{\overline{\eta_e}}$当$\overline{N_e}\approx$常数；$\eta_e\approx$常数 则 $\overline{M}\propto\dfrac{1}{\overline{N_{PT}}}$ 即当动力涡轮转速 N_{PT}下降时，输出扭矩 M 增加。燃气轮机的这一特点，很适合船舶推进的需要，当螺旋桨因外界负荷增加而下降时，传至桨轴上的驱动力矩增大，反之则减小，使螺旋桨在负荷波动时，仍能稳定运转。

选择控制方式的标准应是：能使机组维持较大的功率；能使机组可靠和稳定地运行；能使机组有较高的经济性；控制简单易行。

综上分析可知：由于燃气轮机的结构特点，使动力涡轮的轴转速变化对机组的机械特性（指磨损、扭振等）影响不大，又因燃气轮机的性能特征，传动力涡轮轴速变化对机组功率和效率的影响也不大，（尤其在全工况时）机组能够一直保持在接近设计功率的条件下运行。因此不难得出，燃气轮机机组可以采用等功率或称等油量（G_T＝常数，亦即油门角度位置不变）的开环控制方式。但需考虑动力涡轮超速保护和机组与传动轴系扭矩的限制。



a）



b）

图 9.4.7—7 燃气轮机与柴油机的外特性
a）燃气轮机机组外特性 b）柴油机外特性

柴油机不同油门位置的外特性曲线是一组具有一定斜率的曲线（图 9.4.7—7b）），外界负荷变化引起转速变化时，主机输出功率也明显地改变，负荷增加转速降低时，输出功率减小。为了维持主机功率接近原来的设计值，柴油机可使用调速器，采用等转速 n＝C（常数）的闭环控制，并需设置负荷限制和扭矩限制环节。另外，柴油机的曲轴（输出轴）通过机械传动装置，直接与螺旋桨相联，组成一个刚体，长时间、较大的转速波动，有损于柴油主机的工作可靠性与使用寿命，此亦柴油机有必要采用转速控制的原因。

1.2.2 燃气轮机与柴油机的推进特性比较

图 9.4.7—8a）、b）分别列出柴油机和燃气轮机与螺旋桨配合的推进曲线。

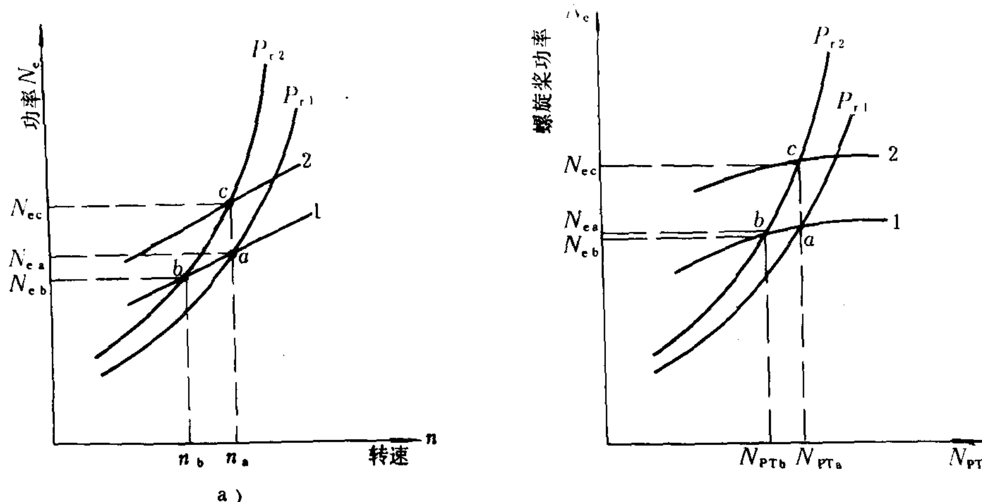


图 9.4.7-8 柴油机和燃气轮机的推进特性

P_{r1}、P_{r2}—螺旋桨特性曲线；1、2—分别是柴油机和燃气轮机的外特性曲线

a)柴油机的推进特性 b)燃气轮机机组推进特性

a 为原来的稳定工作点，当螺旋桨负荷增加，特性曲线由 P_{r1}变为 P_{r2}时，若采用保持油门位置不变的等油量控制方式，则它们分别稳定在 b 点工作。b 点转速 低于 a 点。当螺旋桨特性曲线回到 P_{r1}时，它们都能重新回复到 a 点工作。因此，两类主机都具有自平衡能力。柴油机在 b 点，转速 $n_b<n_a$、功率 $N_{eb}<N_{ea}$，转速 降低时输出功率明显减小。燃气轮机在 b 点，转速 $N_{PTb}<N_{PTa}$、功率 $N_{eb}\approx N_{ea}$，转速 变化时输出功率接近原设计值。

如果调整油门位置，采用等转速控制，保持螺旋桨转速不变，则它们将分别稳定在 c 点工作。柴油机在 c 点，$N_{cc}>N_{ea}$，因此需增设负荷限制和扭矩限制。若调速器输出未超过限制值，则柴油机保持原转速、稳定在 c 点运行。若超过限制值，则需对转速控制加以校正，使柴油机在不超过限制值 的条件下，转速下降最少。

燃气轮机在 c 点，$N_{ec}>N_{ea}$，可能出现超负荷及燃气发生器超温的情况。扭矩 $M_c>M_a$，存在超扭矩危险。如果设置超温和超扭等保护，则燃气轮机新的稳定工作点有可能与工作点 b（等油量控制点）相接近。因此，燃气轮机采用 $N_{PT}=C$ 等转速控制方式，虽然可以保持航速较稳定，避免螺旋桨超速，但由此带来的超负荷 、超温、超扭矩问题突出，并且经常存在，所以这种控制方式不宜长期使用。

前面论述了燃气轮机采用等功率（等油量 $G_T=C$）开环控制方式时，外界负荷 变化对燃气轮机输出功率的影响不大。下面分析环境条件变化对燃气轮机输出功率的影响。

当环境温度升高、进气温度 T_1 增加时，压气机进气比容 ν_1 增加，空气重量流量 G_B 下降，燃气流量 $G_Z=G_B+G_T$ 也下降，机组功率 N_e 也随之下降。但因 $G_T=C$，在 G_B 下降时，过剩空气系数 α 减小，燃气发生器涡轮进口温度 T_3 会升高，使功率 N_e 的下降得到补偿，下降幅度不大。因此，大气条件变化时，$G_T=C$ 等油量控制方式能保持机组功率变化比较小。另外，T_1 升高时，因空气流量 G_B 下降，压气机转子负荷 变轻，压气机转速 N_{GG}会有所升高。

除 $G_T=C$ 等油量（等功率）控制 、$N_{PT}=C$ 等转速控制 方式外，还有 $T_3=C$ 等燃气涡轮进口温度控制，这种控制 方式可以维持机组功率稳定，避免超 温。大气条件变化时，也如 $G_T=C$

时一样，能保持机组功率的降低得到补偿。但连续测量有代表性的 T_3 值较为麻烦。因此，燃气轮机多数情况下采用等功率（等燃油量）开环控制方式。

1.3 功率控制

LM2500 机组的功率控制系统 原理见图 9.4.7—9

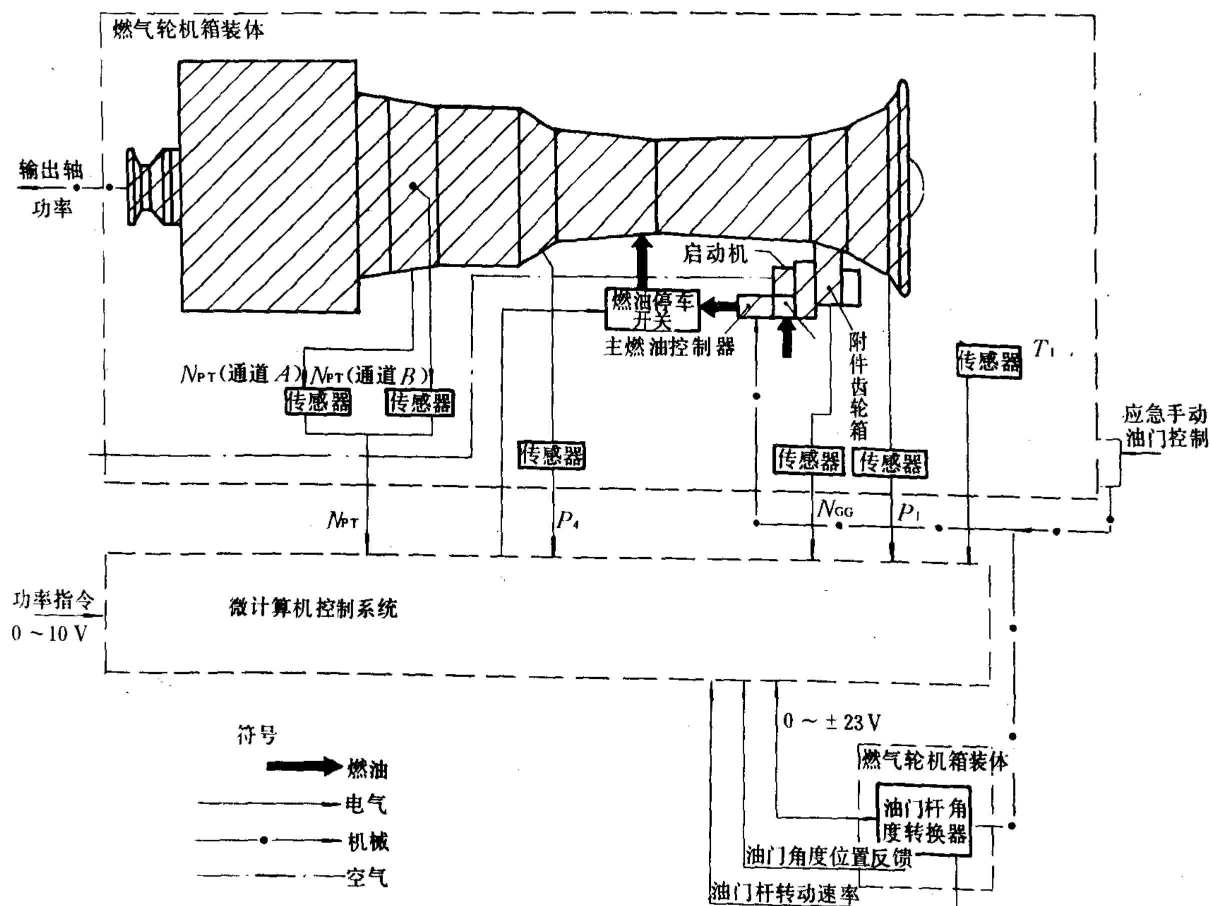


图 9.4.7—9 LM2500 机组功率控制系统原理图

功率控制系统的主要组成部件有：燃油泵系统 、主燃油控制器、电/机转换器—油门杆角度执行器、燃 油停车开关、微计算机控制 系统（电子控制箱）、应急手动油门控制 等。

燃气轮机机组的微计算机控制系统（电控箱）接受推进控制系统发出的功率指令信号（0～10V）。燃气轮机各主要参数，例如动力涡轮转速 N_{PT}、燃气发生器转速 N_{GG}、压气机进口空气温度和压力 T_1、P_1 以及动力涡轮进口燃气压力 P_4 等，也分别通过各自的传感器，将其相应的检测信号输入计算机。同时计算机还接受油门杆转动速率反馈信号和油门 角度位置反馈信号。计算机根据设计程序运算后，输出 0～±23V 直流电压信号到电/机转换 器，转换器按比例将电压信号转换为油门杆角位移机械信号，转动主燃 油控制器油门杆到指令要求的角度，控制燃气轮机机组功率在不超越各种限制的条件下，满足指令功率要求。

1.3.1 燃油泵及燃油系统

图 9.4.7—10 示出燃油系统工作原理。

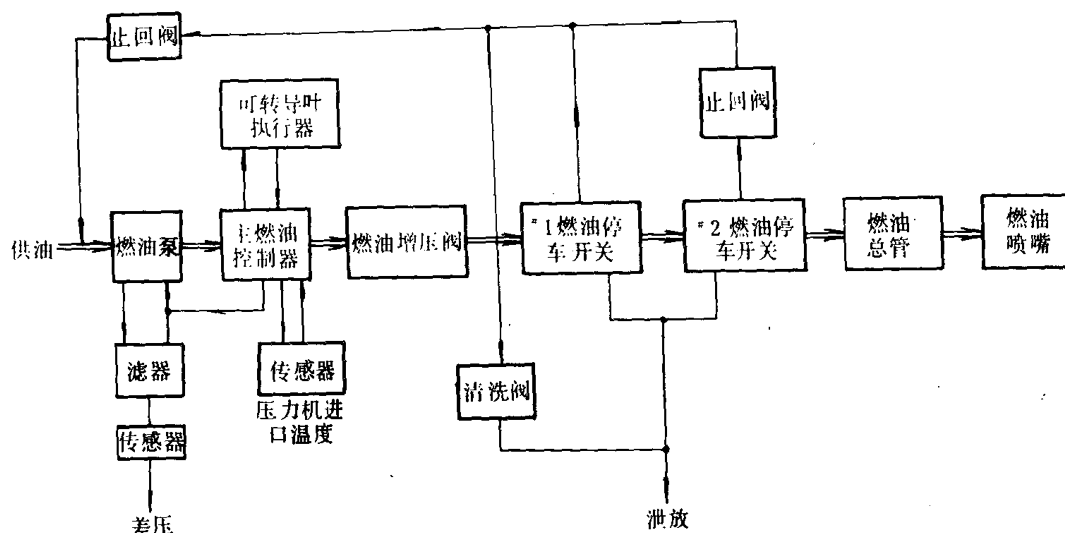


图 9.4.7-10 燃油系统工作原理图

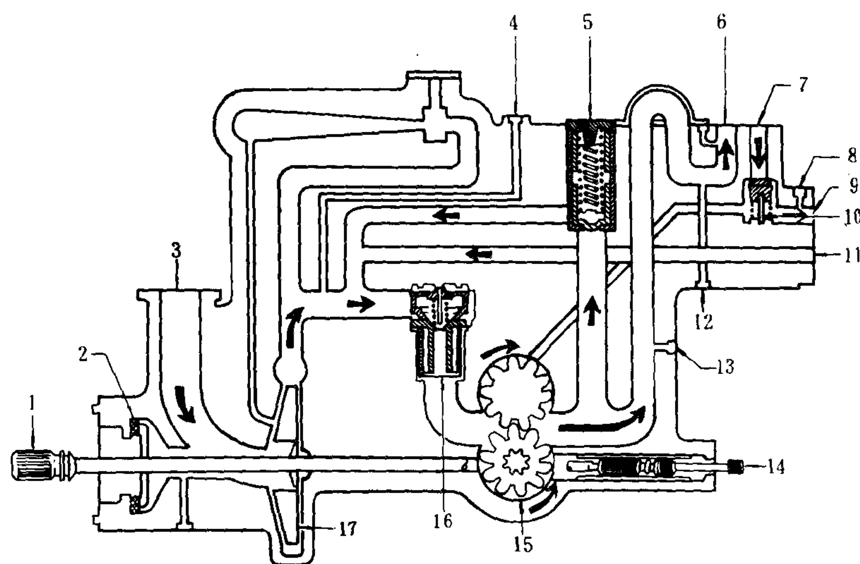


图 9.4.7-11 燃油泵

1—主传动轴；2—轴封；3—进口；4—压力表接口；5—高压安全阀；6—滤器进口；7—滤器出口；8—出口压力表接口；9—排入主燃油控制器；10—轴承流量调节器；11—燃油旁通；12—滤器进口，压力表接口；13—齿轮泵出口压力；14—主燃油控制器传动轴；15—高压齿轮泵；16—粗滤器；17—离心增压泵

燃油自船上供油管路进入燃油泵，再经装在泵上的滤器到主燃油控制器。燃油在主燃油控制器内，按输入指令（功率手柄角度）调节计量油量和旁通油量。旁通的燃油进入燃油泵高压部分进口滤网。供燃气轮机运行的计量燃油从主燃油控制器流出，经增压阀、燃油停车开关、燃油总管、而后到燃油喷咀。

用增压阀对燃油系统进行增压，因为主燃油控制器靠燃油泵压力油工作，增压阀则保证燃气发生器在低转速运行时，能提供给主燃油控制器适当的工作油压。

两个燃油停车开关串联在燃油管路上，其电气接线是关联的。这样，两个燃油停车开关必须都接通电源，才能允许燃油流入总管，但只要切断任一开关的电源，就能截止到总管的燃油，

保证了燃油可靠地切断。燃油停车开关关闭时，将计量燃油旁通至燃油泵进口，并开启停车开关的燃油泄放口，泄放燃油总管、喷咀及管路中的残油。

前已述及燃油泵安装在附件齿轮箱上，由燃气轮机自身驱动。结构原理见图 9.4.7—11

1.3.2 主燃油控制器

主燃油控制器由美国“伍德沃德”调速器公司(Wood Ward Governor Co)生产，是液压机械式调速器，用燃油泵的压力燃油作液压源，安装在附件齿轮箱上，燃油泵为它提供了安装凸台和法兰。它主要完成以下功能：

1)自动检测燃气发生器转速 N_{GG}，比较油门杆角度输入指令，自动调节燃油计量阀小孔的燃油通道截面，保持设定的燃气发生器转速，控制燃气轮机机组功率。

2)运用液压机械式机构，自动检测压气机出口压力 P_2、压气机进口温度 T_1、燃气发生器转速 N_{GG}等，并标定其极限值，确定加速和减速过程的最佳燃油供油程序。在供油过程中，燃油不得超越标定的极限值。

3)能根据检测的压气机进口温度 T_1 和燃气发生器转速 N_{GG}，自动控制可转导叶的位置，使压气机前几级的出口与后几级的出口相匹配，不致因后几级超负荷，导致气流停止或倒流(即失速)的故障出现。

主燃油控制器功能框图示于图 9.4.7—12。

图中第一部分标注的指令功率就是到主燃油控制器油门杆转动角度。每一油门角度对应一个 N_{GG}指令值，N_{GG}指令值与 N_{GG}测量值经比较、经调节环节，控制燃油计量阀开度。

第二部分示出根据测量压气机出口压力 P_2，对照用计算机算出的 P_2 对应加速、减速限制曲线。此曲线叠加 N_{GG}和 T_1 对加减速的限制，得出综合的加速、减速限制曲线，控制燃油计量阀的供油程序。

第三部分表示自动控制可转导叶位置的功能。由 N_{GG}和 T_1 决定导叶的要求位置(转角)，此位置与导叶实测位置(转角)经比较环节，控制可转导叶伺服阀。伺服阀控制工作油的流向，按控制方向移动执行油缸，使导叶转到要求的位置。

下面分别说明各部分的作用原理：

①燃气发生器转速 N_{GG}调节

对已知的燃气轮机机组来说，燃气发生器的转速 N_{GG}能够确定燃气流的能量级，亦即确定燃气轮机机组的功率。

图 9.4.7—13 示出燃气发生器转速 N_{GG}控制原理。主燃油控制器的功率手柄通过凸轮和给定弹簧给出 N_{GG}设定值，N_{GG}的实际值用飞重检测，两者比较后确定滑阀的位置，调节燃油计量阀的开度，直到 N_{GG}测量值与设定值相等。

②加速、减速最佳供油程序的确定

主燃油控制器有一个三维凸轮(3—D 凸轮)，凸轮的转动与燃气发生器转速 N_{GG}成正比，三维凸轮相对于压气机进口温度作轴向位移。用压气机出口压力 P_2 的变化来转动一个 P_2 凸轮，凸轮的线型由计算机得出。用控制杆将三维凸轮与 P_2 凸轮相联动，得到两个凸轮运动输出的组合，它对每个燃气发生器转速 N_{GG}、压气机进口温度 T_1、压气机出口压力 P_2 是唯一的。用这个组合输出确定瞬时燃油供油量的极限值，也就是确定了加速、减速的最佳速率。

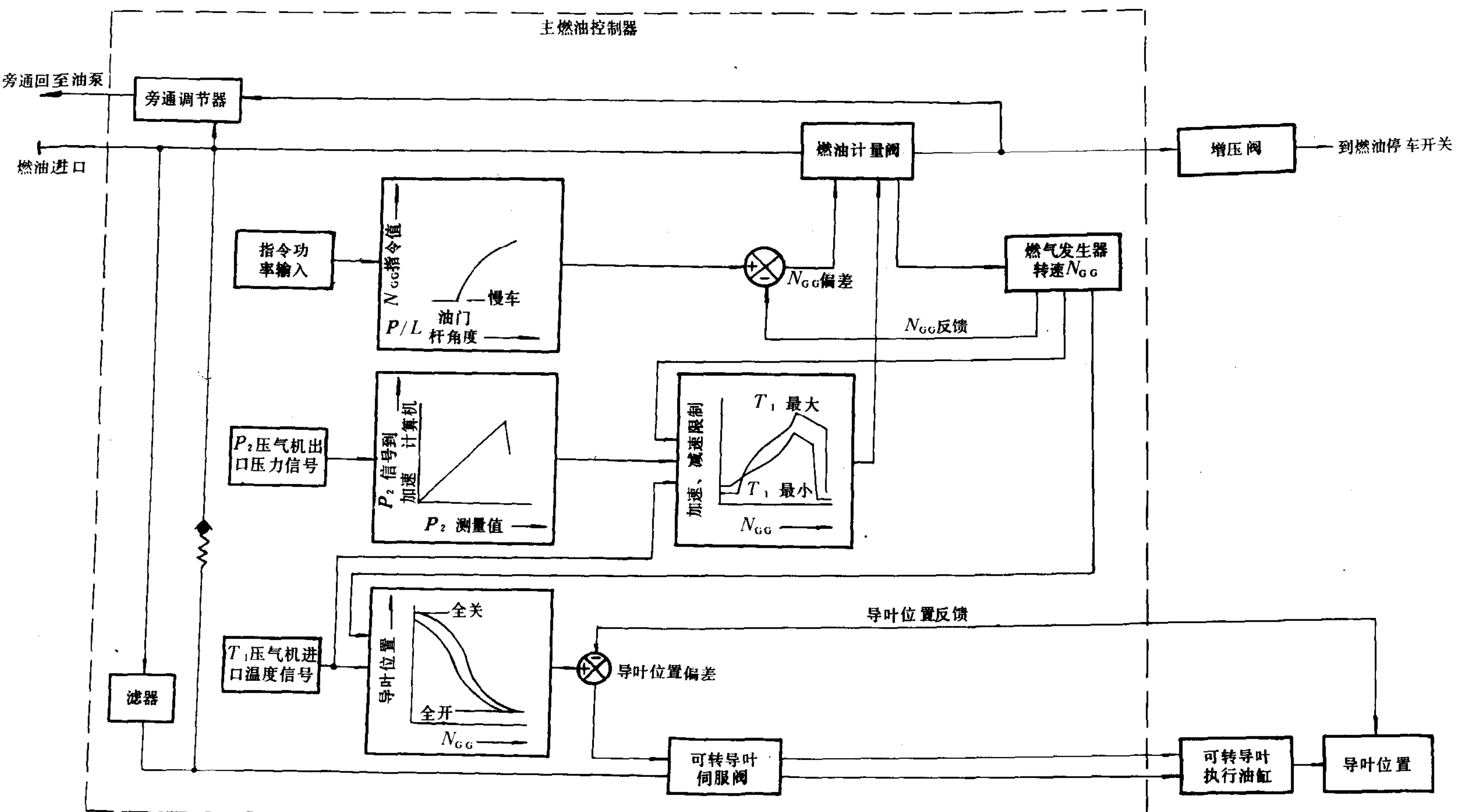


图 9.4.7—12 主燃油控制器功能框图

③静子可转导叶位置的确定

主燃油控制器内设有可转导叶伺服阀，它的位置由三维凸轮（燃气发生器转速 N_{GG} 和压气机进口 温度 T_1 参数）和静子导叶的位置反馈信号决定。三维凸轮设计成底部凸轮曲线是燃油量的供应程序，顶部凸轮曲线是导叶位置 程序。导叶位置反馈信号是从导叶液压执行油缸用钢索传递 到主燃油控制器。执行油缸有两 个，呈 180°安装在压气机静子法兰上，为无缓冲式液压缸，用燃油泵出口高压燃油工作，从油缸两端任一方向进入燃油即可动作。当伺服阀移动时，压力油通向执行油缸的一端，执行油缸的往复运动通过曲柄、连杆机构使导叶转动，导叶转动的反馈信号再令伺服阀重新回零。

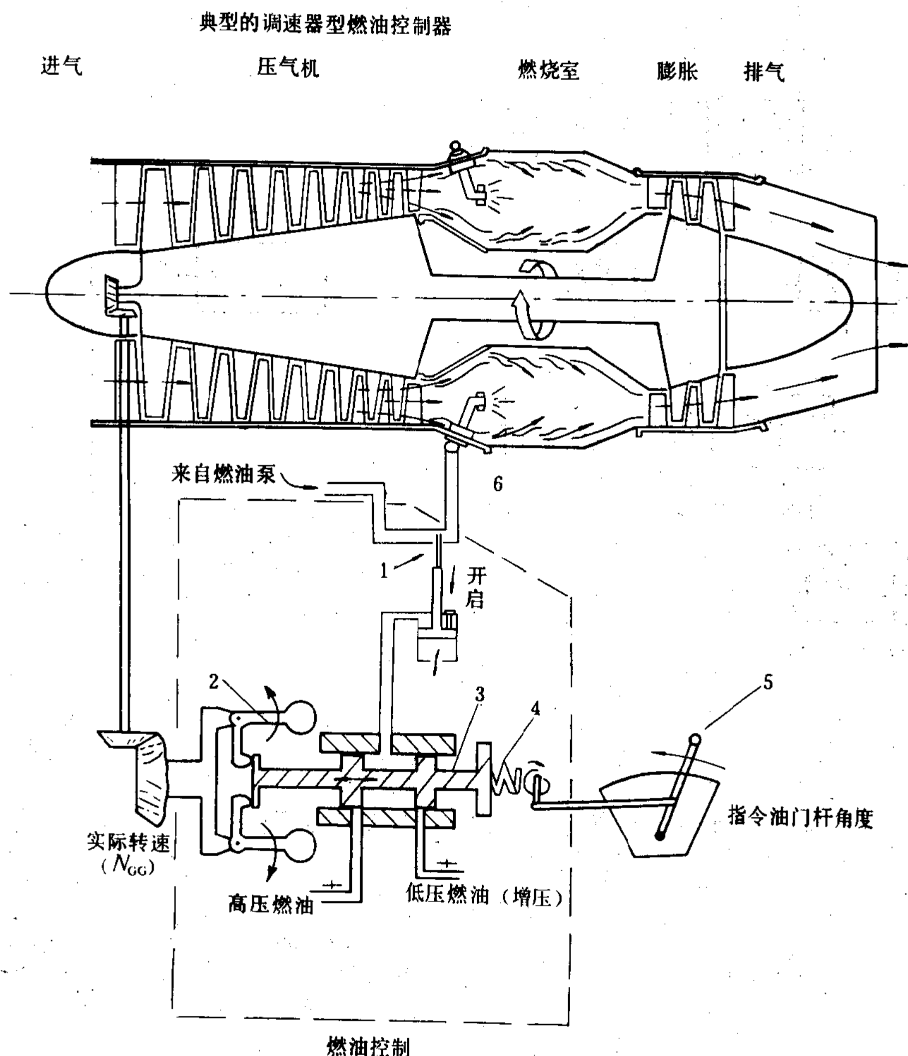


图 9.4.7—13　燃气发生器转速(N_{GG})控制原理

1—燃油计量阀；2—飞重；3—滑阀；4—给定弹簧；5—功率手柄；6—截止阀

1.3.3　电/机转换器—油门杆角度执行器

油门杆角度执行器是 一个电气—机械转换装置，它把机组微计算机控制 系统输出的电信号，按相应的速率转换为主燃油控制器功率手柄的角位移。

油门杆角度执行器由直流力矩电机、线路滤波器、直流测速发电机、电位计及部件与输出轴间的传动 齿轮等组成。安装在燃油泵上，其机械输出与主燃油控制器功率手柄相联。

直流力矩电机根据微计算机控制系统输出的电信号(0～±23V)，按指令速率传动油门杆

执行器，提供转动主燃油控制器功率手柄所需要的扭矩。力矩电机输出轴的转向取决于电信号的极性，转速 与电信号的幅值成正比。电机通过减速齿轮系(包括 4 个齿轮)与输出轴相连，减速比为 1：55.64，相应的力矩电机输出扭矩增加 55.64 倍。输入电信号为 23V 时，油门杆执行器的输出轴转速为 15r/min 即 90°/s。

为防止输入线的射频干扰，设有滤波器。

直流测速发电机是发送油门杆角度执行器输出轴速率反馈信号的传感器。它直接与直流力矩电机轴相连接，输出与电机转速成正比的直流电压，用转速表显示输出轴的速率，极性决定于轴的旋转方向。当输出轴速 率为 0～15r/min 时，测速发电机输出 0～2.7V 直流电压信号。

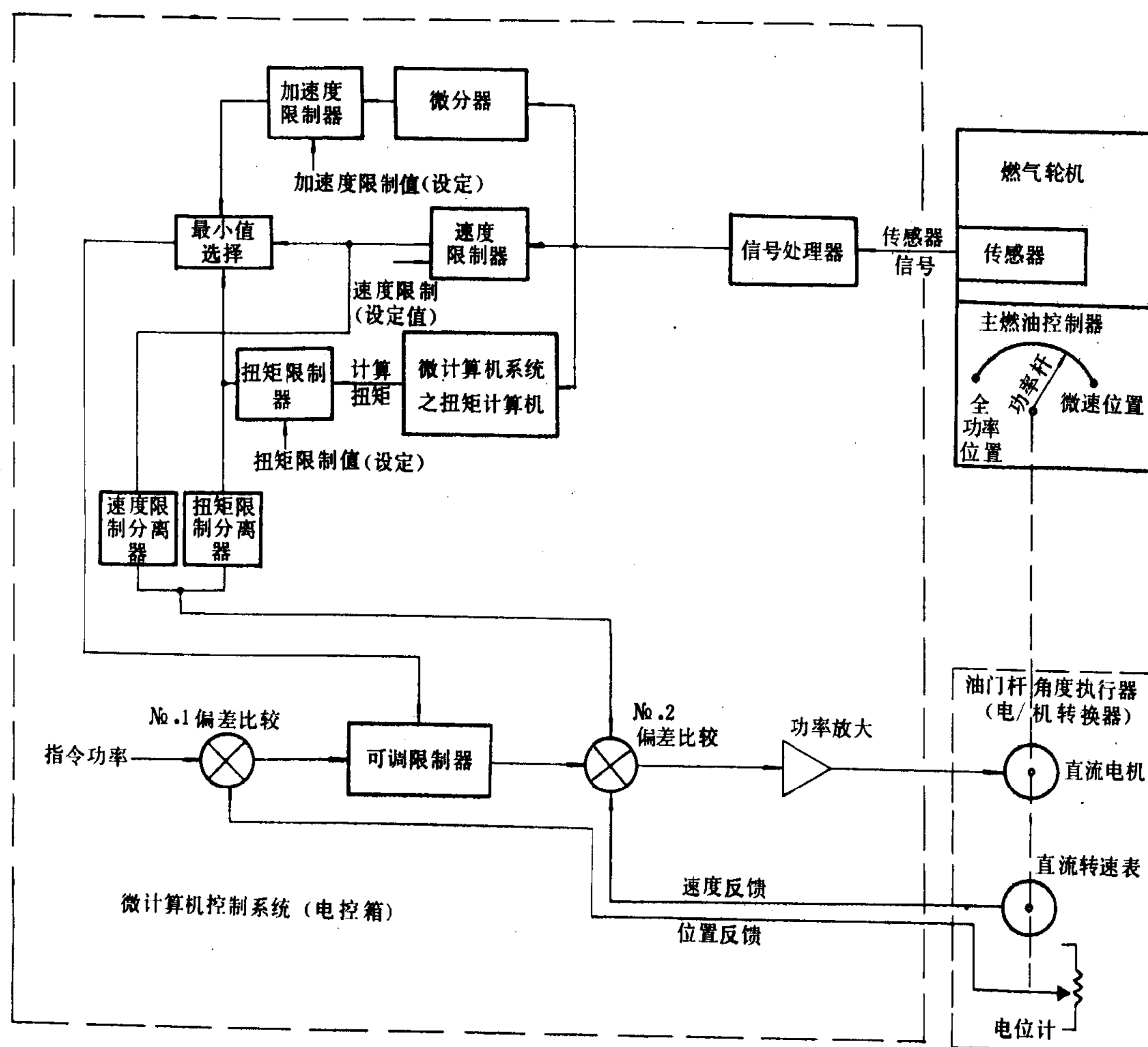


图 9.4.7—14 LM2500 功率控制主要部件功能原理及接口

电位计提供油门杆角度执行器输出轴位置(角度)反馈信号。它是一个可变电阻，其滑动触头的位置由输出轴控制，输出轴与电位计之间齿轮传动增速 2.27 倍。主燃油控制器功率手柄从微速到全功率转动的角度范围大约是 100°，那末电位计滑动触 头就要在可变电阻上移动 227°，从电位计的一端滑动到另一端共 340°。电位计滑动触头处的电压与输出轴角度成正比。

图 9.4.7—14 示出 LM2500 功率控制主要部件功能原理及接口。

1.3.4 微机控制系统(电子控制箱)

电子控制箱位于燃气轮机箱装体外面，安装在船体基座上。燃气轮机微计算机控制装置，有16块印刷线路板、电源装置、维护和诊断板、输入/输出电缆接线端子、冷却风扇等。它接受船舶推进控制系统发出的船速/功率指令、启动/停车指令，根据燃气轮机各传感器检测信号，通过各执行部件控制 燃气轮机的运行。它是LM2500船用燃气轮机与船舶推进控制系统（驾驶室、集控室遥控及机旁操纵台控制）之间的控制接口见图9.4.7—15。

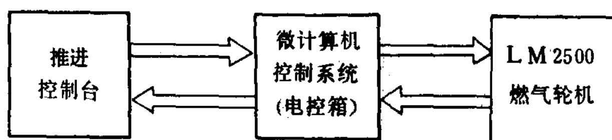


图9.4.7—15 LM2500燃气轮机控制接口示意图

主要具备以下功能：

1）启动/停机程序控制

根据船舶推进控制系统的启动/停车指令和燃气轮机传感器的检测信号，对燃气轮机进行启动/停机自动程序控制，并可提供程序控制显示信号。

2）信号转换

将燃气轮机各传感器输入的检测信号、控制系统的反馈信号等，转换为4～20mA；0～10V等标准信号，用于控制系统的运算与控制。并向外提供动力涡轮转速、燃气发生器转速、动力涡轮进口燃气温度、压气机进口空气温度和压力、功率手柄角度位置、动力涡轮计算扭矩、燃气轮机计算功率等仪表显示值和报警信号。

3）燃油流量—机组功率控制

根据船舶推进控制系统发出的0～10V船速/功率指令，按设计程序确定燃气轮机稳态燃油流量指令—0～±23V直流信号，输出到油门杆角度执行器。

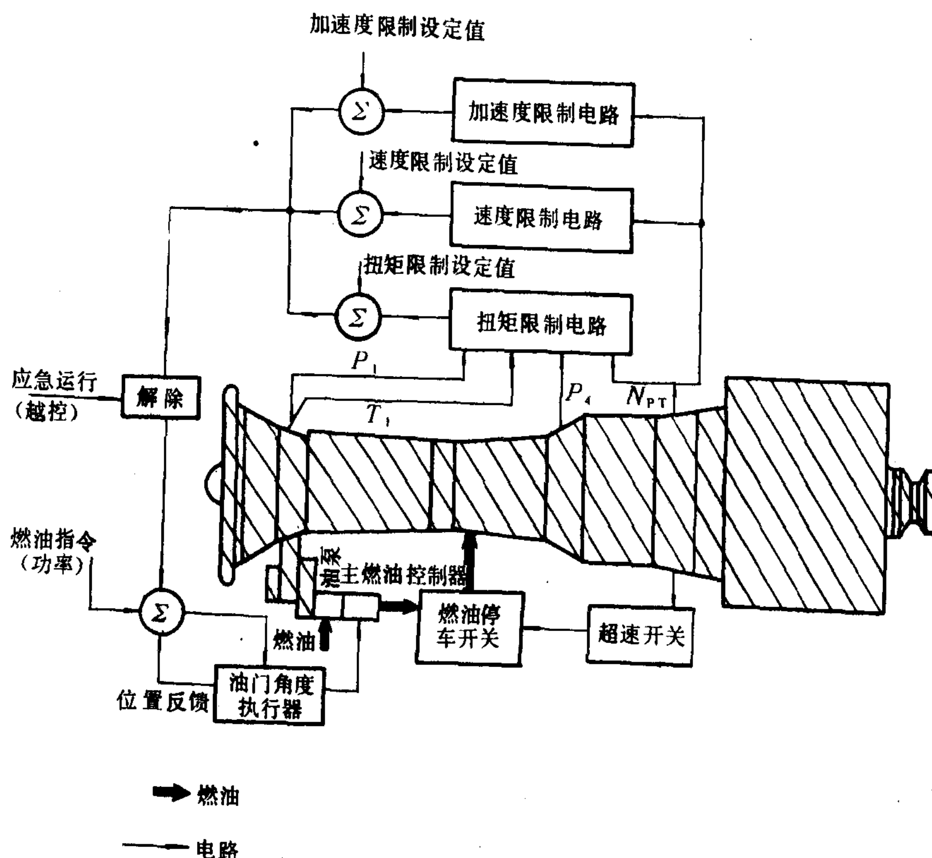


图9.4.7—16 微计算机控制 系统限制功能原理图

4)动力涡轮转速限制

检测动力涡轮转速，与最大允许的动力涡轮转速设定值相比较，如超过设定值，则抑制输出到油门杆角度执行器的功率指令，限制动力涡轮的最大转速。

5)动力涡轮超速保护

当突卸负荷或动力涡轮转速传感器信号丢失时，发生故障停车保护信号，自动切断装在机组上的两个燃 油停车开关，使燃气轮机停车。

6)动力涡轮加速度限制

将检测的动力涡 轮速 度微分后，与设定的加速度限制值比较，用以抑制燃油指令的增长率，限制动力涡轮加速度。

7)动力涡轮扭矩限制

根据燃气轮机各传感器输入的参数信号 T_1、P_1、P_3、N_{PT}等，由微计算机算出动力涡轮扭矩。虽然LM2500船用燃气轮机的允许扭矩极限大大超过扭矩计算值，具有很大的裕量。但为了保护推进装置的传动部件和轴系，仍按推进装置设计的最大允许扭矩，设定动力涡轮扭矩限制值。若扭矩计算值大于限制值，则用抑制燃油指令输出值来限制动力涡轮扭矩。

8)应急操纵(越控)指令可以解除4)、6)、7)各项限制 。

限制功能原理示于图 9.4.7—16

9)电源装置用 24VDC 经变压、稳压后，给出 + 5VDC、+ 15VDC、− 15VDC 等组电源，供控制系统使用。

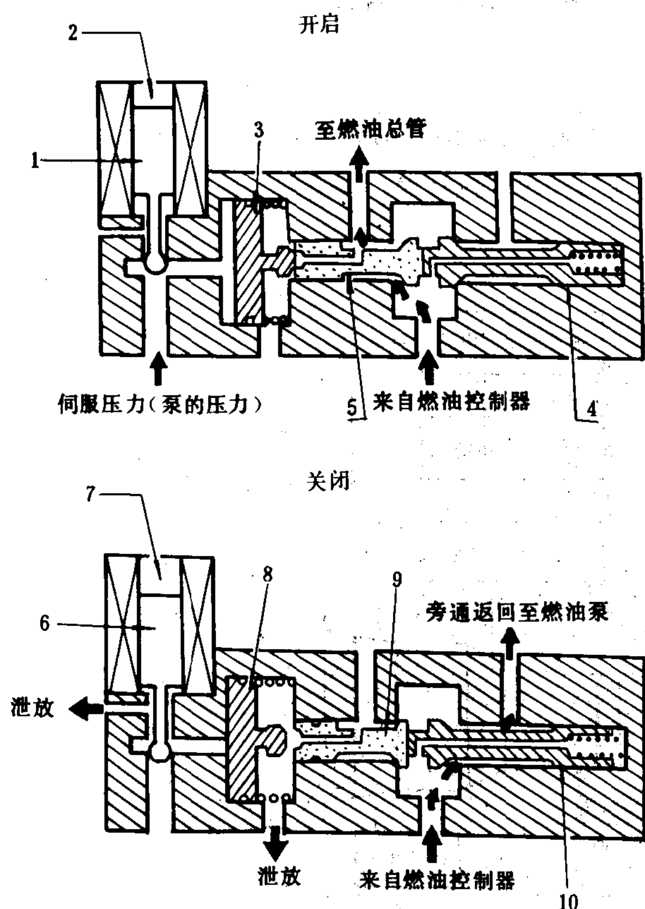


图 9.4.7—17　燃油停车开关

1、6—伺服阀；2、7—电磁线圈；3、8—动力活塞；4、10—旁通提升阀；5、9—总管提升阀

1.3.5　燃油停车开关

两个燃油停车开关串联安装在喷咀前的燃 油总管上，由电磁阀、动力活塞、燃油总管提升阀、旁通提升阀等构成，见图 9.4.7—17。

当燃油停车开关通电开启时，燃油泵提供的伺服油压通过开启的电磁阀，进入动力活塞左侧，使总管提升阀提起，打开主燃油控制器到燃油总管的燃油通路，同时堵塞旁通油路和泄放油路。当燃油停车开关断电关闭时，关断伺服油路，动力活塞 在弹簧力的作用下左移，总管提升阀降下(图中左移)，主燃油控制器输出燃油旁通至燃油泵高压齿轮泵吸入口，燃油总管残油从停车开关泄放口排出。

1.3.6　应急手动油门控制

在燃气轮机箱装体进气端的箱壁上，装有一个应急手动油门控制柄，当控制系统失灵或失电时，通过机械装置可直接作用主燃油控制器功率手柄，操纵燃气轮机运行。应急手柄平时置于收藏位置。

2　燃气轮机推进装置的控制

燃气轮机推进装置由燃气轮机机组、减速传动机构、轴系、螺旋桨和其它附属系统组成。推进控制系统根据船舶航速要求和选定的运行方式，向推进系统的发动机组、传动装置、螺旋桨和其它有关设备，发出控制指令，使各设备按照统一的要求，安全、协调地工作。实现推进装置的自动遥控和集中控制。

目前燃气轮机推进装置主要用于舰艇。为了提高使用性能和低航速的经济性，常采用联合推进的形式。其中用得较多的有：

燃燃联合推进装置（COGAG）用于大中型、高速水面舰艇，两根螺旋桨轴，每轴布置二台燃气轮机机组。低速巡航时，每轴各用一台燃气轮机驱动；高速时每轴用二台燃气轮机并车驱动螺旋桨。

柴燃联合推进装置（CODOG）普遍用于6000t以下的水面舰艇。两根螺旋桨轴，每轴用柴油机或燃气轮机交替驱动：低速巡航时用柴油机；高速时用燃气轮机。这样可以充分发挥两类主机在不同功率范围内的长处，较全面地满足对舰船推进装置战术、技术性能的要求。

燃气轮机不能逆转，当舰船制动或倒航时，需使用倒车传动齿轮或变距桨，目前使用较多的是变距桨。

综上所述，可知燃气轮机装置型式各异，控制要求也各不同，需针对具体舰船进行专门设计。现以装有变距桨的柴燃联合推进装置（CODOG）为例，对推进控制作一概略介绍，其中，当选择燃气轮机推进方式时，便是单一的燃气轮机推进控制。

2.1　CODOG推进装置的布置

CODOG推进装置布置形式很多，图9.4.7—18为其中之一例。（图示为左舷）

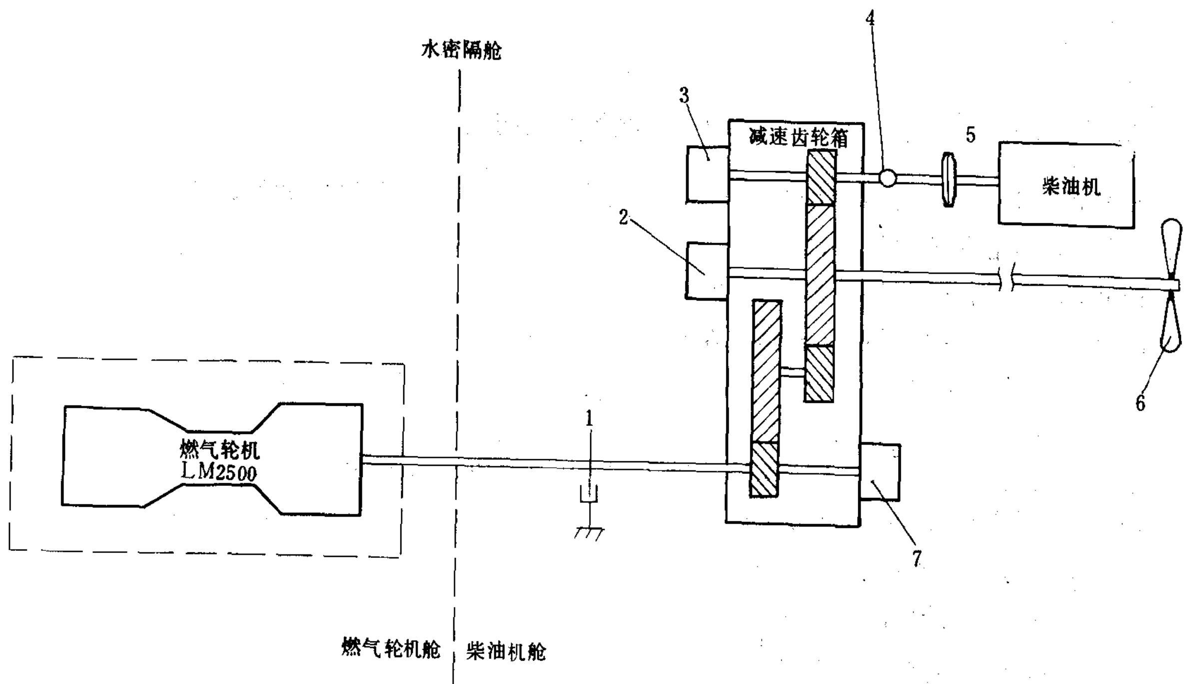
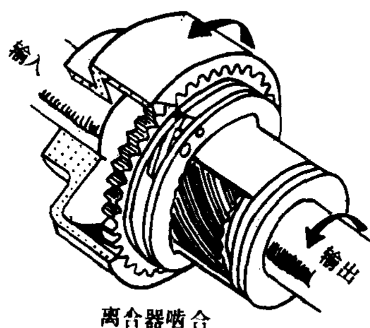


图9.4.7—18　CODOG推进装置布置

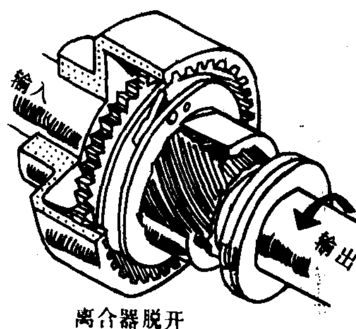
1—燃气轮机制动器；2—燃油分配箱；3—同步自位离合器SSS；4—万向接头；
5—液力偶合器；6—变距桨CPP；7—同步自位离合器SSS

柴油机和燃气轮机到减速箱的输入端，各有一个 3S 同步自位离合器(超速离合器)，该离合器与 CODOG 减速箱成套供应，其主要功能是实现柴、燃交替转换。它采用棘轮、棘爪结构，能够自动移位、自动同步、自动啮合。当输入轴转速大于输出轴时啮合；输入轴转速低于输出轴时自动脱开，见图 9.4.7—19。

柴油机和减速齿轮箱之间，装有液力偶合器和万向接头，一方面用于隔绝扭振、改善整个推进系统的扭振特性，使运转平稳；另一方面可以补偿对中误差。



离合器啮合



离合器脱开

图 9.4.7—19 同步自位离合器

燃气轮机与二级减速齿轮轴系间，装有一台制动器。用压缩空气制动，可以自动、也可以人工操作。其作用是在柴油机运转时，防止动力涡轮空转，并保证燃气轮机稳定、按程序工作，即燃气轮机停车或刚启动完毕保持制动状态，达到空车转速并短暂延时后，制动器释放。此时允许同步自位离合器啮合、允许动力涡轮增速和加载。如果制动器未按程序释放，控制系统将发出报警信号。

在减速齿轮箱前端装有配油箱，其间的压力油输送到变距桨桨毂中枢，还为减低水噪声用的空气喷射装置提供动力源。

减速齿轮箱还带有其它一些辅助泵(图未示出)，例如供自身润滑的滑油泵；油马达驱动的海水冷却泵—冷却滑油和变距桨用液压油；三联泵—供应变距桨液压系统等。

以下用缩写：

柴油机—DE；燃气轮机—GT；变距桨—CPP

2.2 控制系统的组成

柴燃联合推进装置用微计算机控制，常与监测系统、电站控制系统等进行一体化统一设计，并尽可能利用现成的软插件。

控制部位有驾驶室、集控室和机旁，组成三级控制。

图 9.4.7—20 为 CODOG 三级控制系统框图。

它由以下几个主要部分组成：

1)驾驶室控制台

主要装有推进装置自动遥控系统的输入、输出元件和显示组件：

带有微调和显示的遥控操纵手柄；

自动遥控操作板组件，板上装有——

推进方式(DE or GT)选择按钮；

控制部位(驾驶室或集控室)选择按钮；

带保护罩的 DE、GT 应急停车按钮；

应急操纵按钮；

离合器离合按钮；

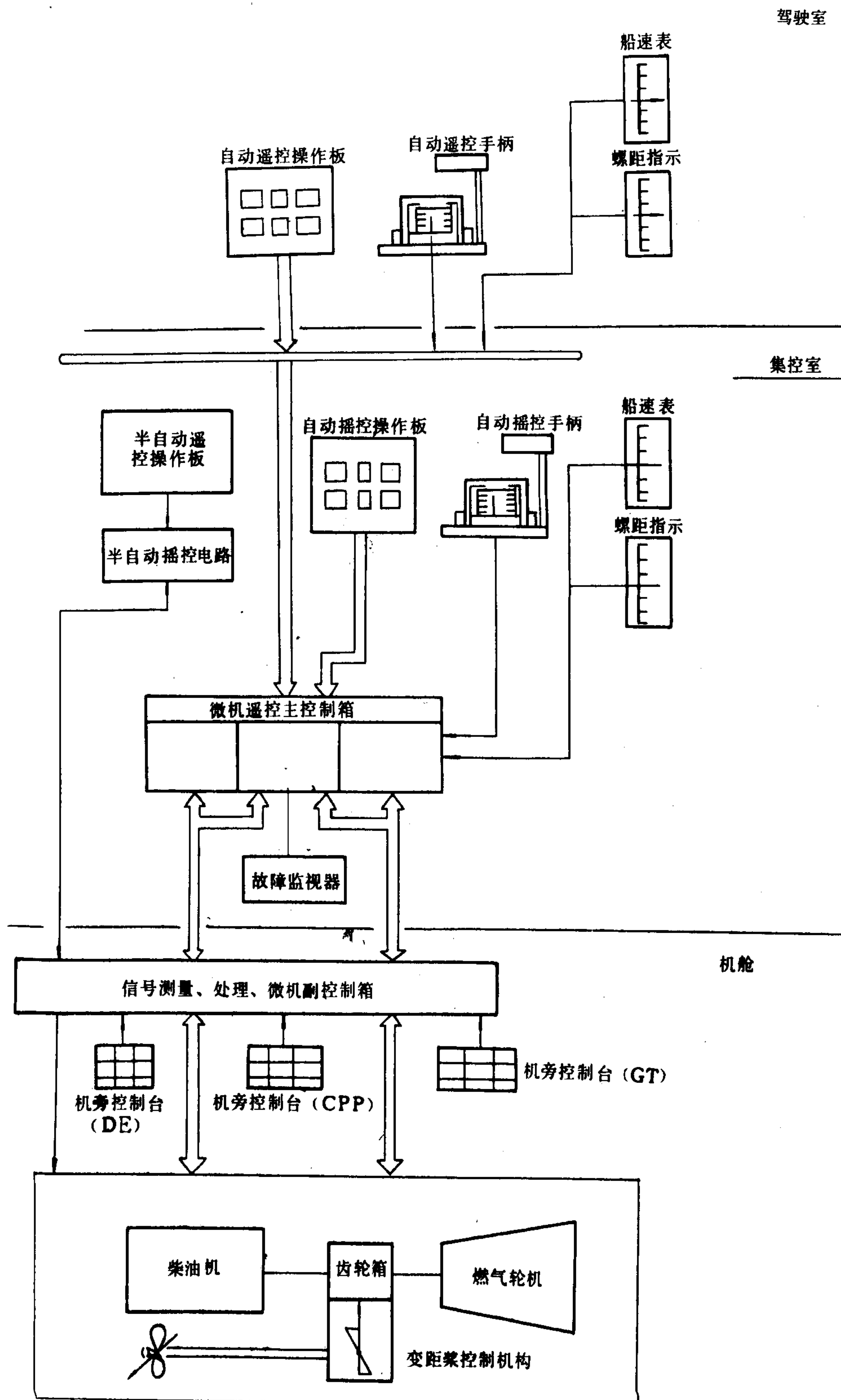


图 9.4.7　20　CODOG 三级控制系统框图

推进轴转速表；

柴油机转速表；

柴油机油门位置指示；

螺距显示器；

燃气轮机燃气发生器转速表；

燃气轮机油门杆角度指示器；

燃气轮机动力涡轮转速表；

DE、GT 启动程序显示板；

监视、报警组合板；

应急车钟。

2)集控室控制台

主要装有推进装置自动遥控系统的输入、输出元件、显示组件、微机遥控主控制箱、故障监视组件等：

带有微调和显示的遥控操纵手柄；

自动遥控操作板组件，板上有——

推进方式(DE or GT)选择按钮；

DE、GT 启动/停车按钮；

离合器离合按钮；

半自动操作板；

带保护罩的 DE、GT 应急停车按钮；

液力偶合器注满/排空按钮；

推进轴转速表；

柴油机转速表；

柴油机油门位置指示；

燃气轮机燃气发生器转速表；

燃气轮机动力涡轮转速表；

燃气轮机动力涡轮进气温度表；

燃气轮机油门杆角度指示器；

齿轮和联轴节工况显示器；

螺距显示器；

DE、GT 启动程序显示板；

故障监测器；

应急车钟接收器；

控制台内装有推进装置微计算机遥控系统主控制箱。

3)机旁控制台

柴油机、燃气轮机和变距桨各有机旁控制台。当自动和半自动遥控系统故障或其它应急需要时，使用机旁控制台，分别单独控制柴油机、燃气轮机和变距桨。按照应急车钟指令，用 操作按钮通过微机控制分系统(副控制箱)进行应急控制。

4)微机遥控主控制箱

微机遥控主控制箱是 CODOG 推进装置微计算机自动遥控主系统的核心部件，安装在集

控室控制台内，由若干块功能硬件板组成。例如：隔离、稳压电流、中央板（CPU）、数字输入、数字输出、通信对话、速度频率输入、A/D、D/A 转换 、串行接口通信、显示驱动、执行器驱动及其它接口板等。

主控制箱的主要功能

将选定的控制 台的指令发送到各控制系统；

翻译各种操作、控制指令，并对每一待控单元发出控制 要求；

自动遥控 柴油机运行，设有自动启动/停车程序，转速指令变化率限制程序，经放大驱动电路，输出 0～1A 转速指令信号，经电/气转换，到柴油机调速器。

自动遥控燃气轮机运行，可向燃气轮机微机控制分系统 发送自动启动/停车指令。设有功率指令变化率限制程序，轴转速偏差补偿程序，大气环境功率自动补偿程序等，经放大 驱动电路，输出 0～10 V 功率指令信号，到燃气轮机电子控制箱。

自动遥控变距桨；设有螺距指令变化率限制程序，柴油机超负荷 保护程序，经放大驱动电路，可向变螺距控制系统发送 4～20mA 螺距指令信号，控制桨叶角驱动装置的伺服电机。以上见图 9.4.7—26。

通过人机通信对话单元，可以预置参数、修改程序，并可用十进制数字显示和打印参数值。

故障监视器（在集控室控制台）能不间断地对存贮器、输入/输出芯片、按钮功能、遥控手柄等进行检查，辨识故障元件，并用故障编码贮存和显示。如果 EEPROM 出现故障，能自动停止使用其中存放的各种参数限制值，并以 EPROM 中放宽了的各相应值代用。如果程序执行有误 ，可重新启动程序 ，重新启动失败，则中止执行程序，并发声、光报警。

5）微机控制副控制箱

微机控制副控制箱是 CODOG 推 进装置微计算机控制 分系统。柴油机、燃气轮机各有独立的副控制箱和某些专用副控制箱。LM2500 燃气轮机若已选 用 1·3·4 节介绍的电子控制箱，则推进控制 系统不另设燃气轮机副控制箱。副控制 箱位于机舱，采用标准化模块结构，有独立的电源、中央板（CPU）、数字输入、速度检测数字输入 、温度压力信号检测转换、继电器驱动等标准硬件板。可以测量、处理数据，接受和执行微机遥控主控制箱控制指令。应急控制时能接受机旁控制台的按钮指令。安装于 DE/GT 上的传感器和执行器，通过终端接线箱与副控制箱相连接。

副控制箱的主要功能

按指令驱动继电器，作用于 DE/GT 的执行器，控制启动、停车、应急停车；

运行参数的测量和转换；测量温度、压力、转速、开关状态等，并转换为标准电流、电压信号；

可以驱动执行器；

可以显示重要参数和报警；

监测传感器故障并报警；

内部自检。

副控制箱各有独立的电源、CPU 板。因此，若微机遥控主系统或其它分系统出现故障，通过应急系统，还可使推进装置控制、监测系统继续维持正常工作，保证高度的可靠性和工作效率。

6）安装在柴油机、燃气轮机上的各种传感器、限位开关、执行器等

图 9.4.7—21 为 CODOG 微机遥控（逻辑控制）系统框图。

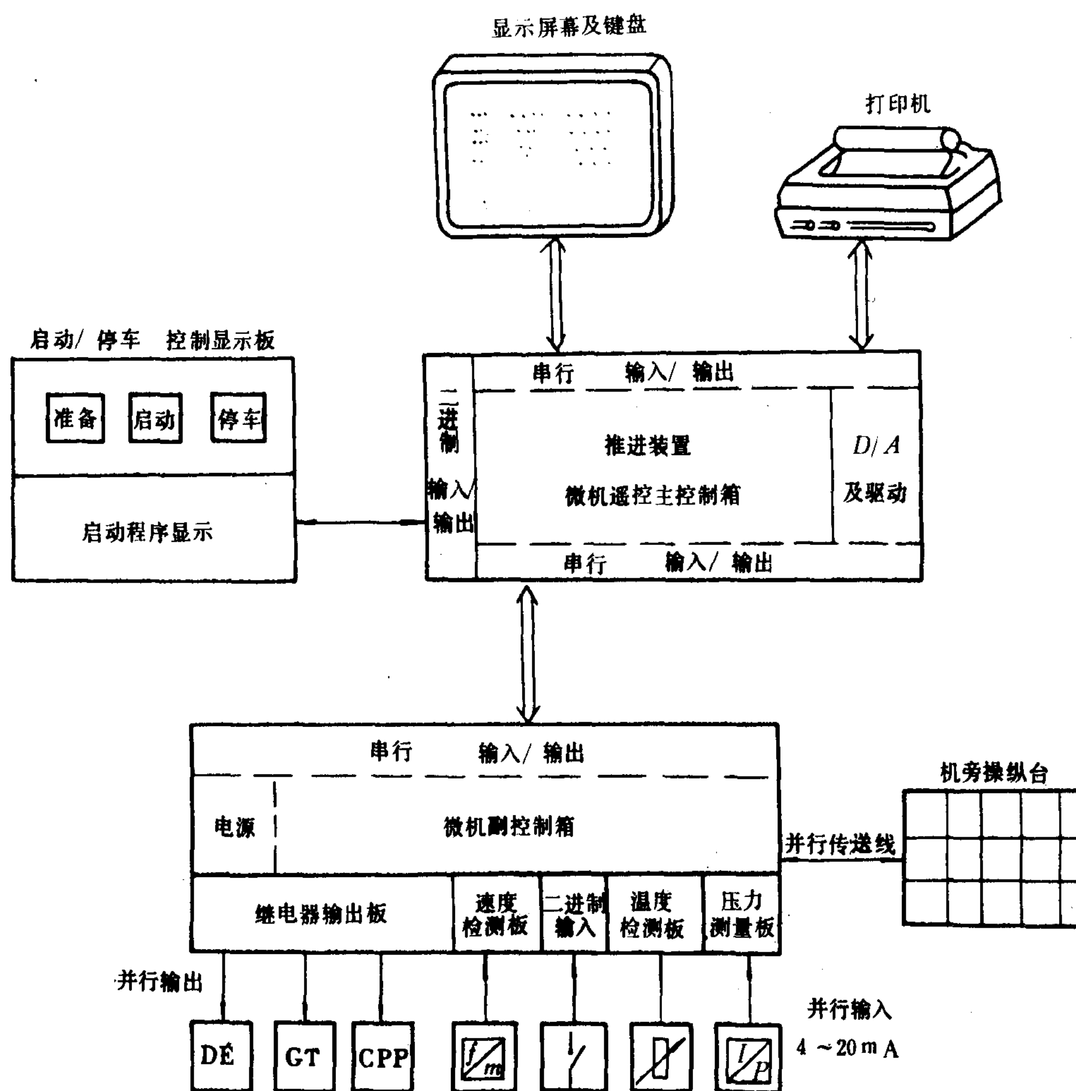


图 9.4.7—21 CODOG 微机遥控(逻辑控制)系统框图

2.3 控制系统的主要功能

1)用遥控操纵手柄,可以在驾驶室或集控室自动遥控 CODOG 推进装置。大致步骤如下:

合上遥控开关(电源)

确定操纵部位——驾驶室或集控室;

选择推进方式——用遥控操作板上的 DE 或 GT 选择按钮;

启动推进主机——用集控室的启动/停车按钮,自动进行启动程序,并同时在驾驶室和集控室的启动程序显示板上显示。柴油机启动成功后,用按钮自动充满液力偶合器,便可按程序投入推进运行。燃气轮机启动结束,即可按程序投入推进运行。

根据遥控手柄位置,自动匹配 CPP 螺距/DE 转速或 GT 功率。可按最佳设计程序,遥控舰船的加速、减速和零速,并使手柄位置与船速近似成线性关系。

有的遥控系统,当左、右推进装置运行工况相同时,可用"单手柄遥控"功能按钮,使用 一个遥控手柄,同时遥控左舷和右舷的推进装置运行。

2)监视并控制自动遥控部位的更换。步骤如下:

集控室/驾驶室更换——

驾驶室按“驾控”按钮

驾驶室遥控手柄对齐集控室手柄位置

集控室按“驾控”按钮应答

更换结束

驾驶室/集控室更换步骤同上。

3)监视并控制由 GT 到 DE 或由 DE 到 GT 的转换。

CODOG 推进装置根据船速要求,用柴油机或燃气轮机交替驱动螺旋桨,自动遥控系统可用 GT 或 DE 选择按钮,自动完成 DE 或 GT 的转换。过程如下——

DE/GT 转换:

启动 GT 到空车转速。$N_{GG}=5000r/min$;

按 GT 运行选择按钮;

DE 的 3s 离合器啮合联锁松开,同时发出未联锁信号;

GT 接受未联锁信号,GT 的 3s 离合器到合爪位置,允许自动啮合,同时发出合爪信号。

GT 增速至略高于 DE 之驱动转速,GT 的制动器释放。

GT 的 3s 离合器自动啮合,DE 的 3s 离合器自动脱开,同时发出“合上”和“脱开”信号。

GT 的 3s 离合器锁紧,并且发出啮合联锁信号。

GT 功率迅速增加到指令值,同时 DE 油门迅速关小,维持空车转速运转。图 9.4.7—22 为由柴油机转换到燃气轮机。

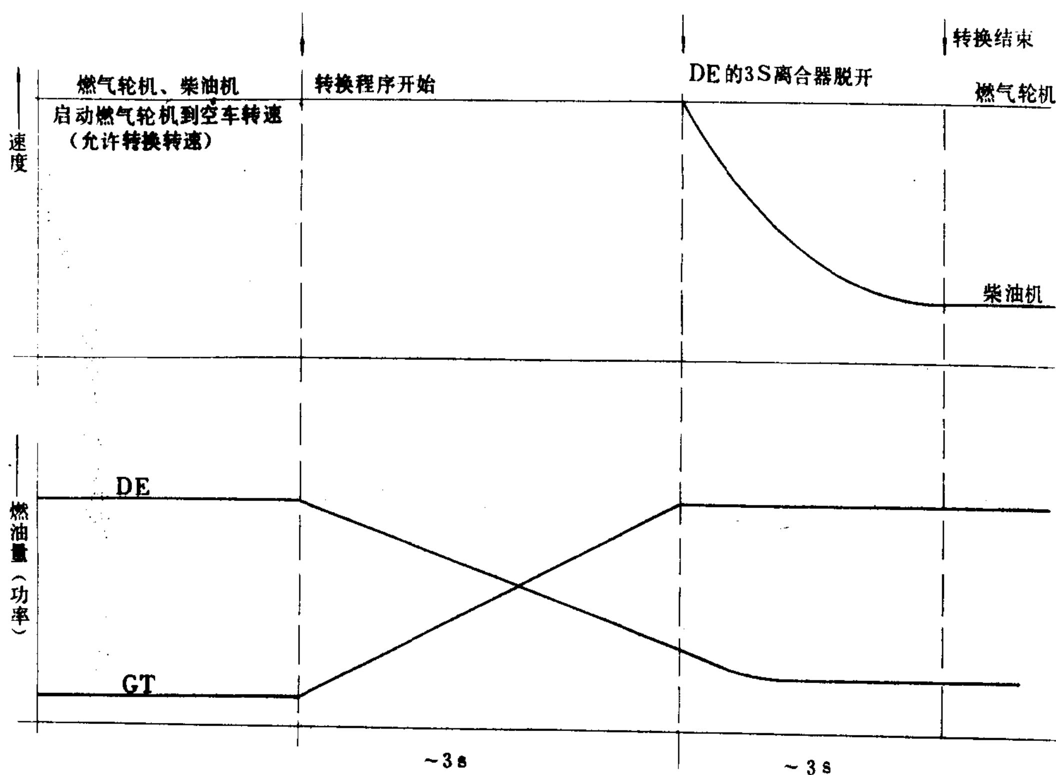


图 9.4.7—22 由柴油机转换到燃气轮机

GT/DE 转换

启动 DE 空车运转,并用按钮自动充满液力偶合器;

按"DE"选择按钮；

GT 转速下降到 DE 的允许转换转速。GT 的 3s 离合器联锁松开，发出未联锁信号。

DE 的转速按设定程序增加至略高于 GT 之驱动转速。

DE 的 3s 离合器自动平滑啮合，GT 的 3s 离合器自动脱开。

GT 功率下降到空载值，3s 离合器脱爪。

DE 增速至指令转速运行，见图 9.4.7—23。

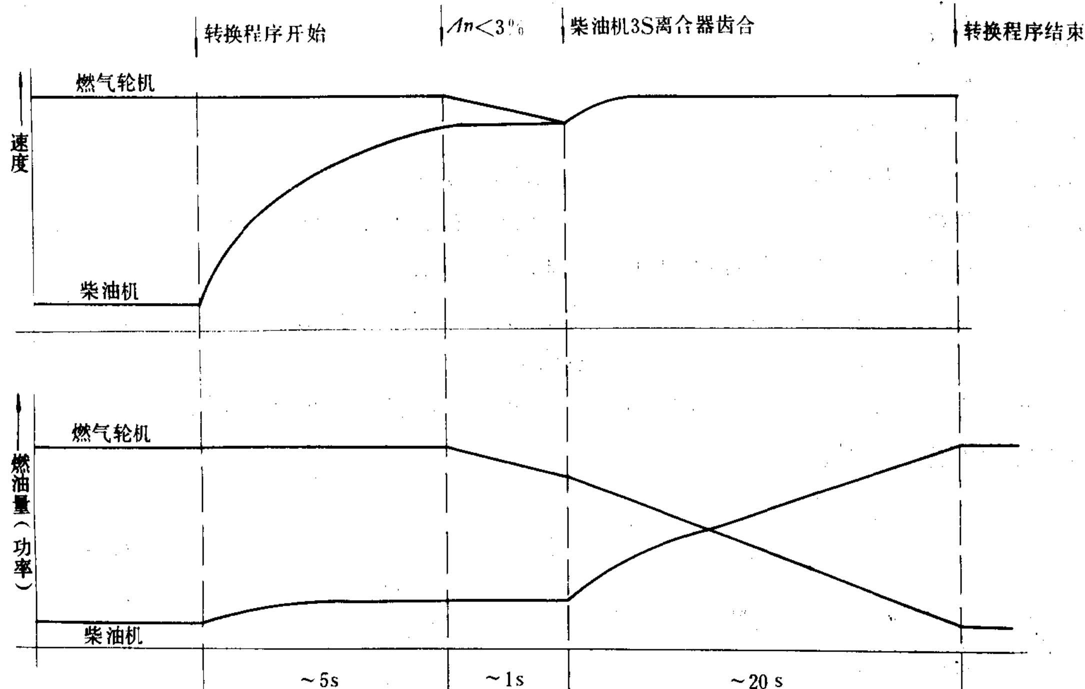


图 9.4.7—23　由燃气轮机转换到柴油机

4)在集控室可用按钮自动完成液力偶合器的充满/排空。

5)用"系统试验"按钮，可检查控制终端元件故障，其条件：

遥控手柄必须放在中间位置；

减速齿轮箱必须脱开；

变距桨液压系统必须在工作状态。

步骤：

按"系统试验"按钮；

改变螺距角，可以自动查找螺距控制机构故障；

启动、运转燃气轮机，自动查找燃气轮机各传感器、执行器的故障；

启动、运转柴油机，自动查找柴油机各传感器、执行器的故障；

查找出的故障，以故障编码形式显示于显示单元，并贮存在存贮器内。

6)自检微机遥控系统故障。(见 2.2 节)

7)自动遥控电源故障或遥控操纵手柄故障时，可以选择集控室半自动控制方式，见图 9.4.7—24。

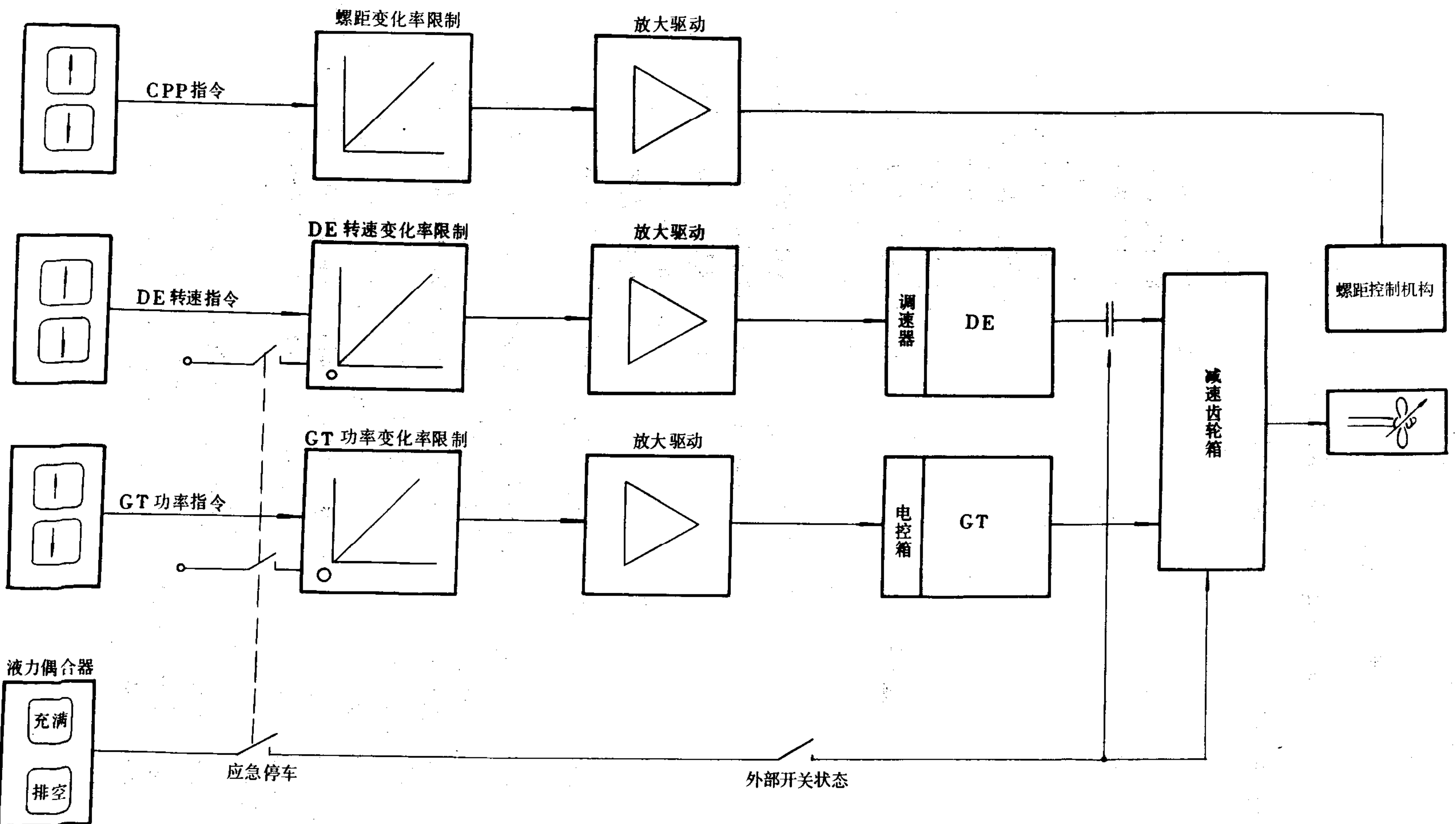


图 9.4.7 24 半自动控制原理图

半自动控制采用 DC24 V 应急电源。用半自动操作板上的按钮，操纵 CPP 螺距/DE 转速或 GT 功率的增加或减少，只要按钮未放开，指令值便继续增加或减 少。按钮指令与遥控手柄指令发送时一样，都经过指令值变化率限制程序。报警、显示亦如自动遥控相同。但半自动控制不能自动匹配 CPP 螺距/DE 转速或 GT 功率指令值，不能自动完成 DE 与 GT 的转换。

2.4 CODOG 推进装置自动遥控（负荷控制部分）原理框图及分析

CODOG 推进装置，舰船变距桨常采用最简单的控制方式：

低船速区（＜10kn）—推进轴转速不变，用调节变距桨螺距来改变航速；

高船 速区（＞10kn）—保持最大设计螺距不变，用调节推进轴转速来控制航速，如图 9.4.7—25 所示。

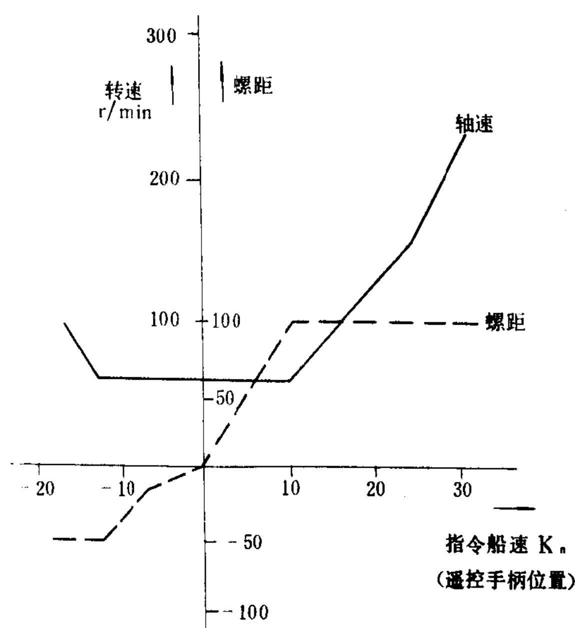


图 9.4.7—25 螺旋桨螺距、轴转速与船速的关系曲线

图 9.4.7—26 是 CODOG 推进装置遥控原理框图（负荷控制部分）。

图 9.4.7—26 中：

1）控制部位选择指的是使用自动遥控时，驾驶室遥控与集控室遥控两种控制 部位的选择 。可用按钮选择或更换控制部位。

2）遥控手柄位置与船速成近似线性关系。遥控手柄每一档位置，按设计程序对应有一个螺距指令值/柴油机转速 或燃气轮机功率指令值。

3）推进方式选择用驾驶室或者集控室遥控操作板上的 DE、GT 选择按钮实现，按下选择按钮，可以自动 完成 DE 与 GT 的交替推进转换。

当选择柴油机推进时，遥控手柄向控制系统发送螺距指令值和柴油机转速 指令值，此时 CODOG 推进控制就是一个柴油机变距桨控制系统。

若选择燃气轮机推进 ，则遥控 手柄向控制 系统发送螺距指令值和燃气轮机功率指令值，此时 CODOG 推进控制系统就是燃气轮机变距桨控制系统。

4）螺距指令发送到螺距控制器，中间设螺距指令变化率程序和 DE 超负荷保护程序。两个程序的作用是船速低时允许螺距有较高的变化率，高船速时限制螺距在低速率下变化；当螺距增长超过柴油机在该转速 下的限制 油量时，则给出限制信号，抑制螺距的增长。这样可以确保船 舶航行安全，防止柴油主机超负荷 。

5）柴油机转速指令发送到主机调速器，其间经转速指令发送速率限制程序，该程序包括：低负荷区的指令速 率限制、高负荷 区的热负荷限制 、设定最低稳定运转转速、最大倒车转速、避开临界转速 、以及接受安全保护 系统信号，自动降速、自动停车等子程序。

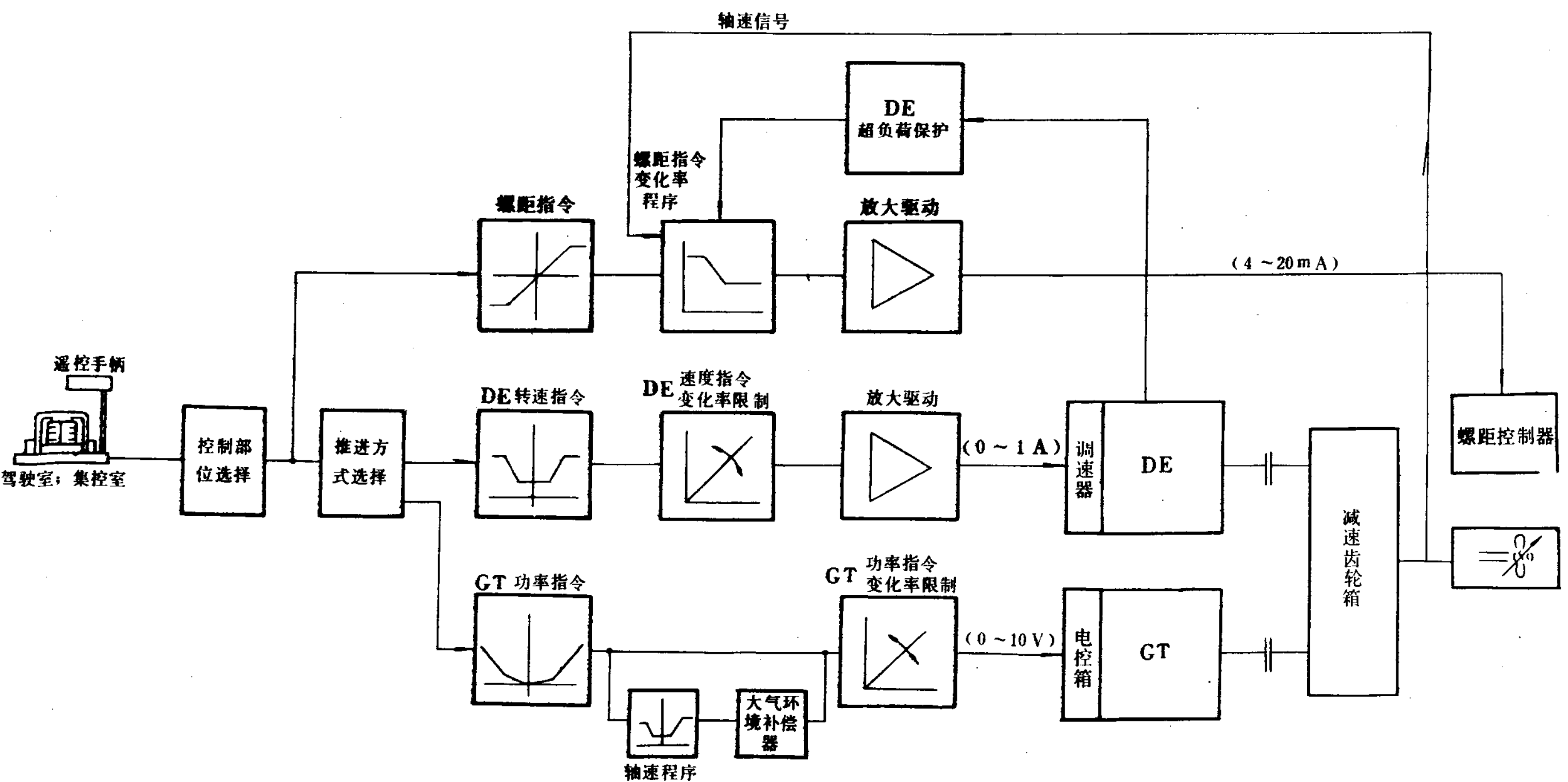


图 9.4.7—26 CODOG 推进装置自动遥控原理框图(负荷控制)

6)燃气轮机功率指令发送到微计算机控制分系统(燃气轮机的电子控制 箱),功率指令变化率限制程序由低负荷区的燃烧不稳定限制、压气机喘振限制和高负荷 区的 T_3 超温限制、燃气发生器最高转速 限制 等若干子程序组成。功率控制 为开环,但嵌入轴转速 程序和大气环境补偿等闭环调节和功率补偿环节。燃气轮机功率随进气温度 T_1 的升高而下降,大气环境补偿程序则根据大气环境的变化,修改功率指令,补偿实际功率的减小,保持遥控手柄位置与船速的对应关系不变。

轴转速程序是动力涡轮轴转速的比例积分调节程序,它的输出用以修正功率指令。前面已论述 $N_{PT}=C$ 等转速 控制 不宜长期 使用,因此轴转速程序只在下面一些情况启用,例如:

①柴燃推进方式自动交替转换时,需较精确控制 动力涡轮轴转速,使转换过程顺利、平稳。

②当船体积污严重时,若动力涡轮轴转速偏差大于某设定值,偏差存在时间较长,也大于某设置值,则轴转速调节程序可预修改功率指令,消除轴转速偏差,使遥控手柄对应的船 速保持不变。

③海况恶劣,且要求航 速准确时,可以考虑使用轴转速程序 。

参 考 文 献

[1] 张德一等:轮机自动化,人民交通出版社,1983

[2] 浦宝康 赵兴贤 :轮机自动化,人民交通出版社,1980

[3] 赵国光等 :船舶动力装置自动 化,国防工业出版 社,1986

[4] 机械工业部:气动元件产品样本,机械工业出版社,1985

[5] Rules and regulation for the construction and classification of steel ships, Lloyds Register of shipping ,1983

[6] Rules for the construction and classification of steel ships, Det Norske Verites, 1986

[7] 前娟幸弥:航海用自动制御装置,海文堂,1978

[8] 朱绍庐主编:微型计算机,人民交通出版社,1982

[9] 日本大阪苍电舍电子设备公司电气设计部,13600 马力远洋救助拖轮变距桨遥控装置说明书,川崎重工业公司,1979

[10] 陈北中:内河船舶机舱集中控制问题,中国造船工程学会轮机委员会第二届学术年会论文集,1981 年

[11] 180C 柴油机气动遥控装置,广东省航 运科学研究所,中国造船工程学会轮机委员会第二届学术年会论文集,1981 年

[12] CDQY—1 型主机遥控装置技术鉴定会资料,上海长江轮船公司科技处,1984 年

[13] CQY 气动遥控装置有关说明书,广东省航 运科学研究所,1985 年

[14] 任维平:整流型相敏电路功能的讨轮,武汉造船 ,1981 年第 2 期

[15] 陈明昭等:船舶机舱自动化,武汉水运工程学院教材,1984 年 2 月

[16] 刘连山:导流管螺旋桨单柄操纵电液伺服系统性能分析,大连海运学院学报,1981 年第 1 期

[17] 陆稼玲:Z 轴桨单柄操纵装置原理,船舶工程,1981 年第 5 期

[18] 郑港兰等:PR360D 单手柄操纵装置原理 ,长江船舶设计院船舶设计技术交流,1981

年第 4 期

[19] LM2500 船用燃气轮机技术手册，中国人民解放军海军装备技术部舰艇部，1983 · 10

[20] MTU Electronic Remote Control system for Marine propulsion plants 产品介绍资料 1985 年

[21] 王钟铭：船舶燃气轮机装置，国防工业出版社

[22] 张葆华 查其恺 船舶汽轮机及燃气轮机装置，人民交通出版社

[23] K. G. Gunz S. S. liu：The propulsion plant and Associated system for a typical 4000T Destroyer International marine Engineering Conference，1987

[24] P · A · Dupuy、Luo Fengbiao、Wang Guangqi：Adaptability of an LM2500 combined Diesel/Gas Tturbine propulsion system for Naval ships from 1000 to 5000 Tons，

Inter nationae

Marine Engineering

Conference，1987

第5篇　集中监视系统

第1章　集中监视基本原理

1 概　　述

在机舱里，各种设备运行是否正常，通常可以用与其相关的一些参数是否正常来进行检测、判定。所谓运行正常，就是这些相关的参数都处在各自允许的上、下限范围内；所谓发生故障，就是指这些参数中有的已经超越所允许的极限值，致使该设备出现异常的运行状态。

事实上，在机电设备投入正常运行以后，由于某些客观因素的变动，各种参数不可能总是保持不变。集中监视系统的主要功能就在于检测、判定各参数的变化量是否已经超过允许的限度。图9.5.1—1示出某温度参数T_x随时间变化的实际曲线，图中ΔT为被允许的温度变化范围，在A段时间范围内该温度参数T_x的变化情况被认为是正常的，如果它的变化情况已经超过允许范围，如图中B段所示温度过高情况，这就被称作越限，该参数就处在故障状态了。集中监视设备在判定参数越限时应能给出引人注目的故障报警信号，轮机值班人员则应在获悉故障报警信号后及时予以应答，在参数回复正常时又能自动撤消故障信号。

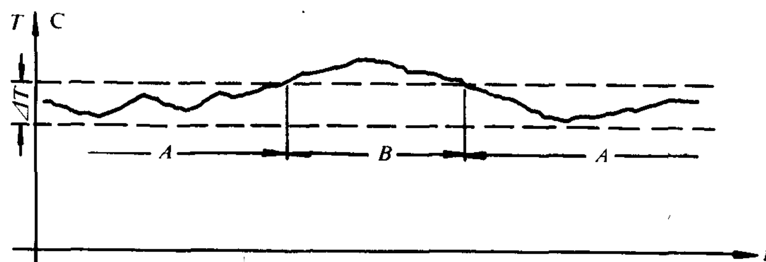


图9.5.1—1　被测温度参数越限报警示意图

机舱里主机、辅机以及其它各种机电设备的运行工况参数，包括温度、压力、液位、流量、转速等各种非电量参数以及电压，电流、频率等电量参数均可用集中监视系统所设置的各种传感器、变送器进行检测，并集中进行数据处理和监视。检测传感器可以分为开关量传感器和模拟量传感器两类。

2 集中监视装置分类

2.1 按集中监视装置功能分类

2.1.1 故障报警装置

这类装置只能用来判定各检测点参数是否处于正常运行状态,它不能给出检测点参数的实际测量值。系统中只需设置能给出"正常时闭合"和"故障时断开"的开关量传感器。

2.1.2 监测报警装置

这类装置的基本特点在于不仅可以用来监视各检测点参数是否正常,而且还可以对模拟量检测点、实现实际参数的测量、显示。模拟量参数的越限设定值可通过电子线路进行整定,并可对检测传感器、电子线路等进行较完善的自检,因而这类装置的检测功能较完备,工作可靠性较高。

2.1.3 微机监测装置

这类装置中由检测传感器提供的开关量信息和模拟量信息经必要的分类,并将模拟量信息变换成为国际标准信号(例如 4～20mA)。用时分制多路传送把有关的参数传送到微型计算机,经 I/V 及 A/D 变换,把数据引向中央处理单元(CPU),微处理机能按设计程序对有关检测点参数进行测量、比较。监测结果从总线经接口引向外围设备,例如 CRT 屏幕显示、声光报警设备、故障打印记录、制表记录以及仪表指示等,还可以通过操作键盘实现必要的人机对话。

微机集中监视系统的特点是容量可以比较大、检测功能比较完善、外线路接线少、利用编程使调试,修改比较方便,又具有较理想的自检功能、工作精确可靠。

2.2 按集中监视装置作用过程分类

2.2.1 连续检测的集中监视系统

这类系统可长期连续地对全部参数同时进行检测,从而使机舱内各种机电设备的工作情况受到长期连续监视,只要某一参数发生越限情况,系统就会立即给出故障报警信号,灯光显示屏会同时指明故障发生的所在部位,大多数常规设计的监视系统都属于这一类。

2.2.2 扫描检测的集中监视系统

这类系统可以对被选定的检测点以一定的时间间隔依次自动逐点进行检测,除了具有常规的监测报警功能外,还可以提供制表记录、故障打印、数码管或 CRT 显示等功能。机舱巡测装置以及微机集中监视系统都属于这一类。

3 声、光报警信号显示及操作流程

声、光报警是故障报警的基本信号。通常故障报警指示灯设置在集控室操纵台上,按机电设备分类列阵安排,有的则把各指示灯安排在模拟图的相应部位。全部故障报警指示灯应能同时接受试灯检测。

3.1 声、光报警应答显示流程

按照故障发生、排除或撤消与声、光应答操作之间时序的先后不同,可以给出三种不同的

故障报警信号流程状态，如图 9.5.1—2 所示。

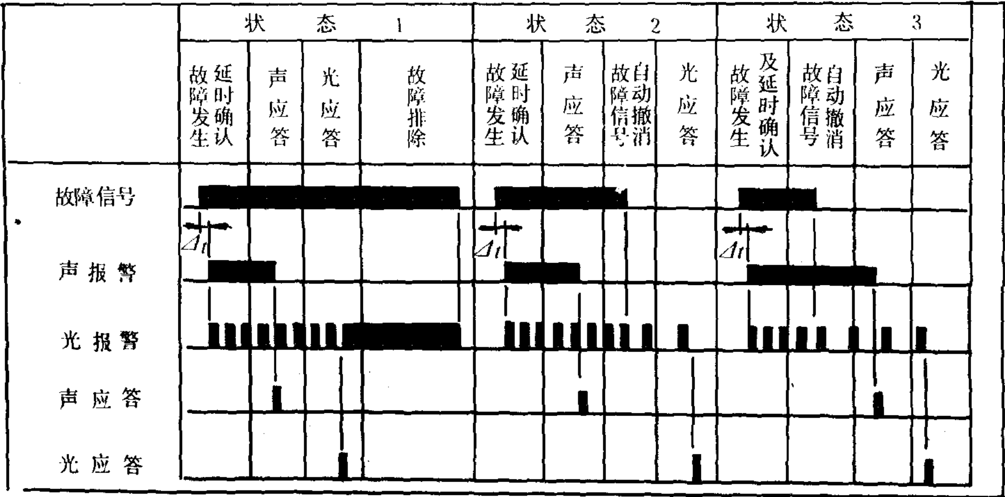


图 9.5.1—2 出现声、光报警的信号流程情况图

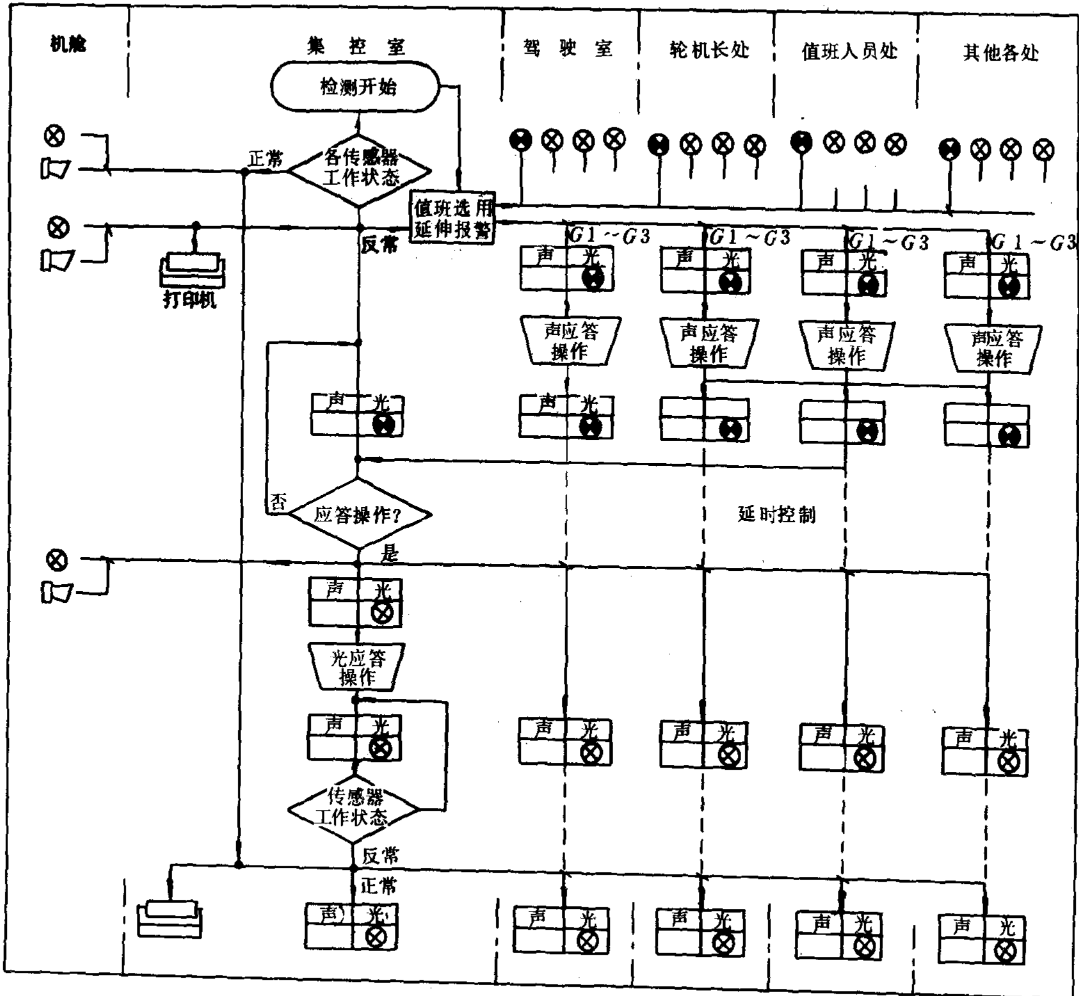


图 9.5.1—3 故障报警的应答操作流程图

状态 1—被测参数已越限，经过延时 Δt 被确认其已处于故障报警状态，就给出声、光报警信号。轮机值班人员在获悉报警信号后，应立即进入集控室进行声应答和光应答操作，以使声响停止，闪光切换成常亮，这表示该检测点仍处于故障状态。待故障被排除后，有关检测点的参数又回到允许的正常范围内，故障报警指示灯才从常亮转为熄灭。

如果某检测点已被确认处于故障状态，但是轮机值班人员还没有来得及进行应答操作而故障信号已自动撤消，例如，后备系统因发生故障而实现自动切换。在这种情况下就可能出现状态2和3的报警信息流程，这种状态的特点表现在故障自动撤消后，闪光信号会从快闪切换成慢闪记忆，应答后灯熄。

3.2 声、光报警应答操作流程

故障报警应答操作流程如图9.5.1－3所示

4 集中监视系统的组成

机舱的故障报警装置类别很多，但在功能和结构的总体设计方面都遵循着共同的规律。图9.5.1－4给出单元组合式集中监视装置及各功能单元的结构组成框图。

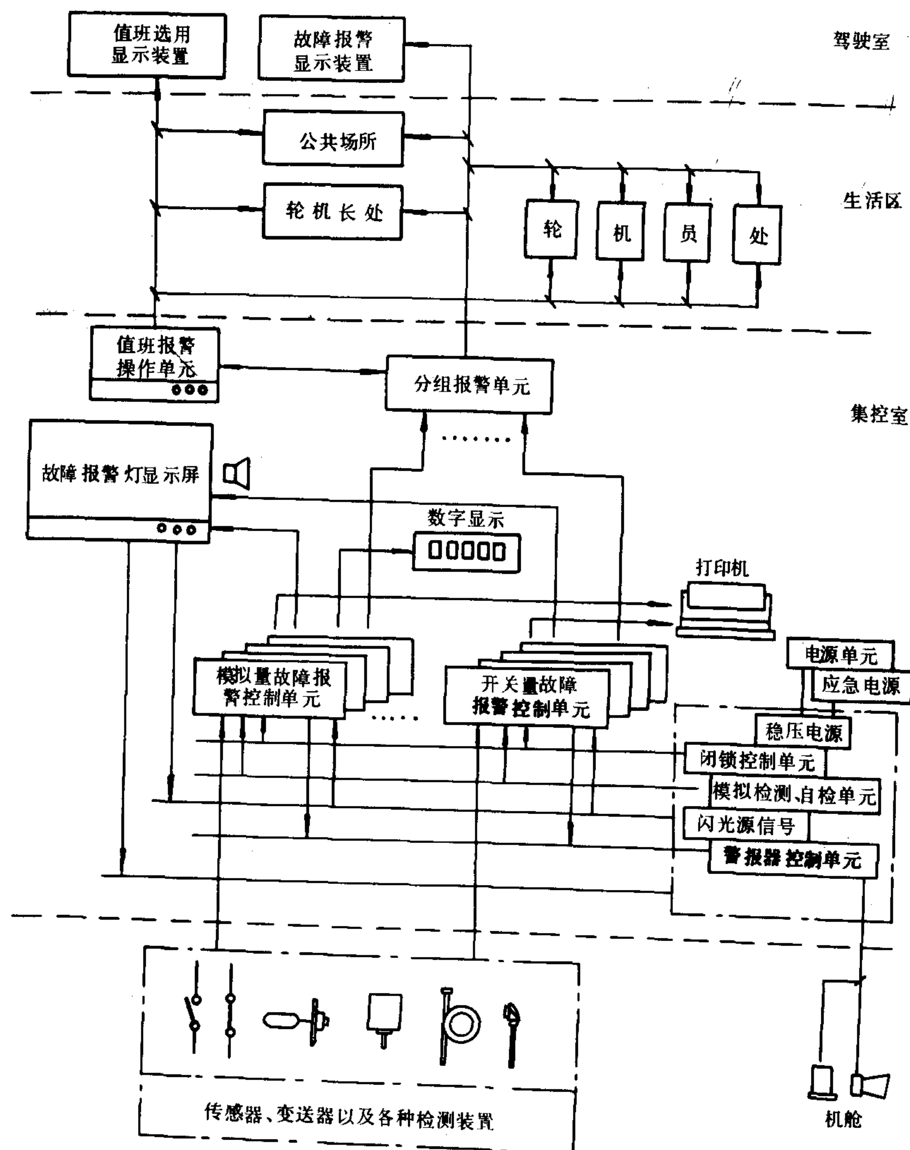


图9.5.1－4 集中监视系统的结构图

报警控制单元内应设有必要的延时环节，根据设备性能，参数波动以及船舶摇摆等情况，

不仅可以给出 0.5s 的短延时控制，而且可以给出 5s、10s、15s、20s 等的长延时控制。检测传感器给出的故障报警信息只是在超过设定的延时时间以后才会被故障报警控制单元所确认。

中央控制单元除了设有快、慢闪光信号源警报器控制单元、摸拟自检单元外，还设有闭锁控制单元。闭锁控制单元用来根据机舱内有关设备的工作条件的变化，控制检测点报警的退出。例如船舶在结束运行以后，主机就停止运转，各种检测参数就会偏离正常运行值，这自然是正常的，完全可以不予理会，所以就要求这些相关的检测点退出报警。闭锁控制单元可根据备车、完车、港内运行及辅机选用等特定工况，分别对有关检测点进行编组，控制检测点退出或投入，以避免误报警。

延伸报警是根据机舱无人值班的设计规范提出来的，它是机舱故障报警设备的一个扩展，一旦某检测点有故障发生，那么除了在机舱、集控室给出故障报警信号外，还要把报警信号同时传送到驾驶室和生活区，这种延伸报警信号都是以分组原则发送的。检测点的分组主要根据它对主机正常工作影响的严重程度划分为以下四组：

G_1 ——主机故障停车报警

G_2 ——主机故障减速报警

G_3 ——重要报警

G_4 ——一般报警

有的设计在值班人员住处仅放置 1 个或 2 个报警指示灯。

机舱集中监视系统要求长期持续地工作，它不能因电源有故障而中断，所以还必须设置应急电源，保证系统在电网失电时仍能连续工作。

对传感器线路可能出现的断线、短路、漏电，以及闪光信号失频、电源故障等都应考虑实现自检功能。

第 2 章 常规型集中监视系统

1 常规型集中监视系统之一(JZJ 型组合报警系统)

1.1 概 述

JZJ 型船舶机舱组合报警系统是交通部上海船舶运输科学研究所于 70 年代末期研制的一种连续监视型的报警系统。用来对主机、辅机等机舱设备的温度、压力、液位、流量等进行监视报警。采用二位式传感器，当被测参数值处于正常范围时触头闭合，越限时发出声、光报警信号。系统的结构简单、维护方便，电路采用 CMOS 逻辑控制技术，报警通道无触点化，符合故障安全原则。系统具有延伸报警功能，满足周期无人值班机舱的技术要求。

1.2 组 成

1)电子逻辑装置一包括稳压电源极(PO 板)、保险丝板(FU 板)、中央板(CE 板)及报警板(AL 板)。

2)通用型报警灯板或模拟型报警灯板。

3)蜂鸣器(集控室声报警用)和电子警报器(机舱声报警用)

1.3 主要技术数据

1)报警通道数

基本系统为 40 个通道，可根据需要按“4”的倍数增加，最多不超过 160 个通道。

2)报警输入信号的延时

短延时一0.5～1s；

长延时一15～40s(可调)。

3)光报警

集控室内用发光二极管显示，分为快闪，慢闪、平光及熄灯四种状态，其闪光频率如下：

快闪一1.6Hz，占空比 1：2；

慢闪一0.8Hz，占空比 1：4。

机舱内用回转警示灯显示。

4)重复报警延时

3min(可调)。

5)电源

输入：主电源交流 220V，50Hz；左、右两路供电，手动选择。

应急电源：直流 24V，主电源失电时自动投入。

输出：传感器电源 12±0.6V；2A。

6)消耗功率

约 100W

7)环境条件

符合中华人民共和国船舶检验局(ZC)颁布的《钢质海船入级与建造规范》(1983)中有关规定。

1.4 主要功能

1)声、光报警及应答流程(见图 9.5.1—2)

快闪流程:新的故障发生时,发出声报警和快闪灯光。必须先按“声应答”按钮进行消声,对新的报警点进行确认后,再按“光应答”按钮才能有效。若故障继续存在,快闪变为平光,直到故障消失时灯熄灭。

慢闪流程:适用于后备系统自动投入的情况。例如:在泵组自动切换系统中,当工作泵组故障失压报警,在进行光应答之前备用泵组已经自动投入运行,泵出口压力恢复正常。这时,声报警和声应答流程不变;光报警信号则由快闪转为慢闪,防止遗漏对曾经发生过的故障进行检查和排除,直至光应答后熄灭。

连续报警:当发生故障,按“声应答”按钮消声后,无论原有报警点的多少和状态如何,一旦出现新的报警信号时,声报警重新吼鸣,相应的报警指示灯闪光。

重复报警:当报警系统置于“周期无人机舱”运行状态时,经延伸报警应答后,如果值班人员在 3min 内未到达机舱集控室进行声、光应答,则装置将发出重复报警信号,此信号一直延续到有人在机舱集控室进行应答后才能解除。

2)自检

报警系统发生下列故障时应能发出自检报警信号:

脉冲失频;

吼鸣母线故障;

主电源失电;

任一分电路电源的保险丝熔断;

传感器触头故障断开;

传感器回路断路。

3)试自检

报警系统能够对下列各项自检功能进行试验:

试失频;

试吼鸣母线故障;

试报警通道故障;

试保险丝熔断。

4)试报警信号

按下“试验”按钮,报警灯板的全部指示灯发出平光,同时发出声报警信号。

5)当主电源失电时,能不失电地自动切换到应急电源进行供电,原有报警状态不受影响。

6)报警信号的分组闭锁。

7)设有延伸报警信号的输出接口。

8)设有故障记录信号的输出接口。

1.5 工作原理

报警系统方框图如图 9.5.2—1 所示。本系统采用闭路工作原理，当任一参数越限时，该点传感器发出信号，报警系统发出声、光报警。其工作原理简述如下：

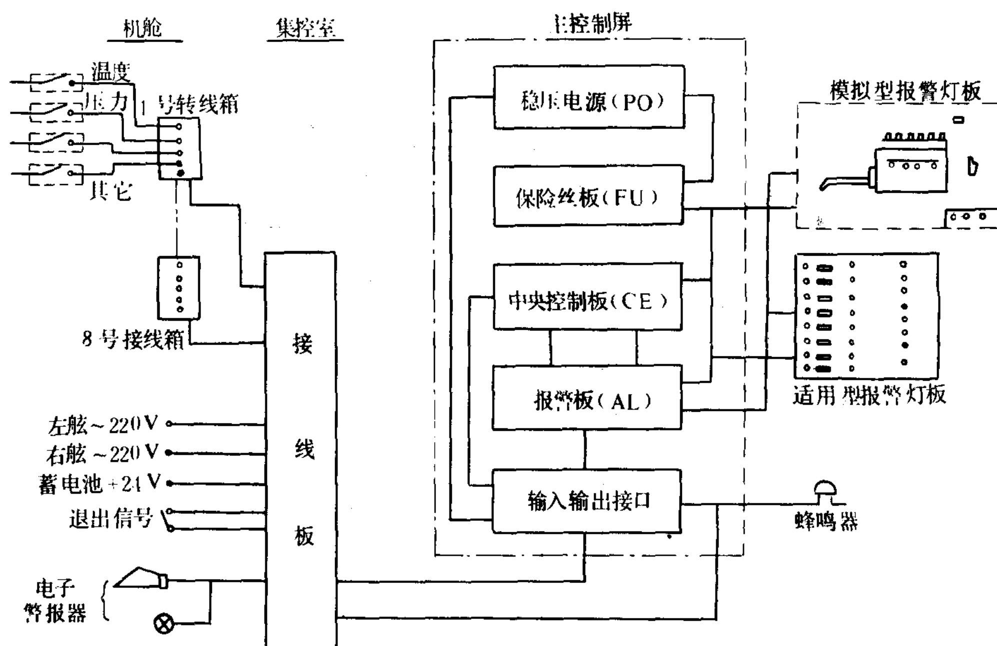


图 9.5.2—1 报警系统方框图

由稳压电源供给本系统正常工作所需的各组电源，并经保险丝板送到各部分。中央板产生闪频脉冲送到各报警板，并发出控制报警系统工作所需要的各种信号。二位式传感器信号经过外部传感器接线板，送到输入输出接口的 60 芯插头，然后送到各报警板的输入端。每一块报警板设有 4 路报警通道，任一组的传感器的触头断开，经设定的延时后，发出声、光报警信号，经过 24 芯插头送往报警灯板。根据被监测点的不同状态分别发出快闪光、慢闪光、平光及熄灯 4 种光信号状态。由报警板发出的声吼鸣脉冲送往中央板产生声报警信号，并经声吼鸣继电器控制机舱电子报警器和集控室蜂鸣器等发出声报警。

1.5.1 中央板(CE 板)

由本板实现报警系统的下列控制功能，其原理框图如图 9.5.2—2 所示。

脉冲源：由时基电路组成的振荡器 1 产生频率为 1.6Hz 的方波脉冲作为快闪信号，另一路经分频器 2 分频及斩波后得到占空比为 1：4 的 0.8Hz 慢闪信号。快、慢闪频信号分别由面板上的发光二极管显示。

失频监视电路：快、慢闪频信号由闪频监视电路 4 进行监视。当快、慢闪频停振或失频时，监视电路输出端变为低电平，产生失频自检报警信号，经驱动级放大后，使面板上的“失频”发光二极管常亮，同时经驱动级放大后，使继电器 J_1 释放，发出自检报警信号。

吼鸣集合电路：按分组报警要求，将全部报警通道分为若干组。通过二极管组成的或门输入报警信号，由任一块报警板来的 500ms 的吼鸣脉冲信号，经吼鸣母线送入监视电路 5，再经单稳态电路 7 整形后，通过驱动级使继电器 J_2 释放，发出声报警信号。

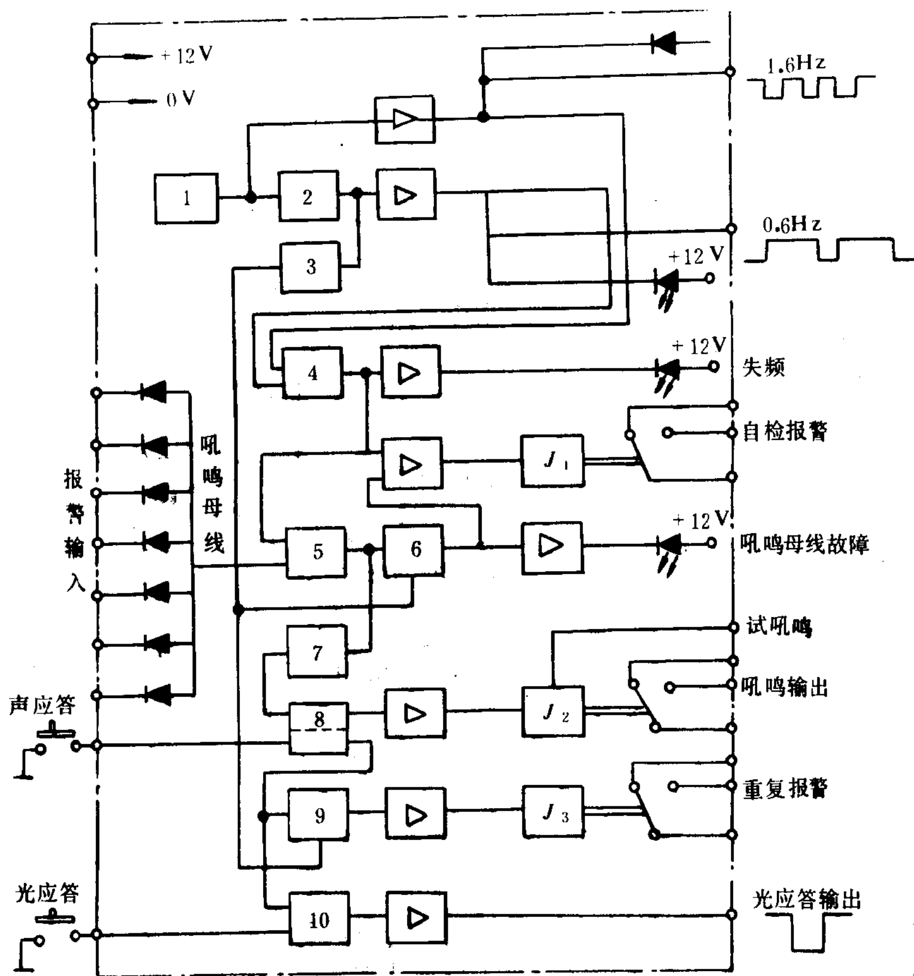


图 9.5.2－2　中央板原理框图

吼鸣母线故障监视电路：正常的报警信号为 500ms 的负跳变脉冲，集合报警输入信号为“或”的关系。当任一路持续处于低电平时，说明外部报警回路存在故障。这时吼鸣监视电路 5 便打开计数门 6 并开始计数。约经 5s 延时后发出故障报警，点亮发光二极管，同时经驱动放大后使继电器 J_1 释放，发出自检报警。

重复报警电路：声报警寄存器 8 进入报警状态后，使重复报警计数器 9 开始计数。0.8Hz 脉冲经分频器 3 分频后作为计数脉冲。如果在 3min 内无声应答脉冲输入，则当计数器延时到 3min 时，便产生重复报警信号，通过驱动级使继电器 J_3 释放，发出重复报警信号。

声、光应答及其顺序的控制电路：当有声报警信号时，先按下“声应答”按钮，使声报警寄存器 8 翻转而消声，同时使重复报警计数器 9 复位，消除重复报警信号。与此同时，声应答信号对光应答电路中的单稳电路 10 的封锁被解除，这时按下“光应答”按钮，经单稳电路及驱动级产生光应答输出脉冲。由于声报警寄存器 8 对单稳电路 10 的封锁作用，保证了“声应答”优先的声、光应答顺序。

1.5.2　报警板(AL 板)

报警板是本系统的报警通道，每块报警板上布置有 4 路独立的通道，分别对应于 4 个被监视的参数，报警板中的一路通道及集合通道的原理框图如图 9.5.2－3 所示。

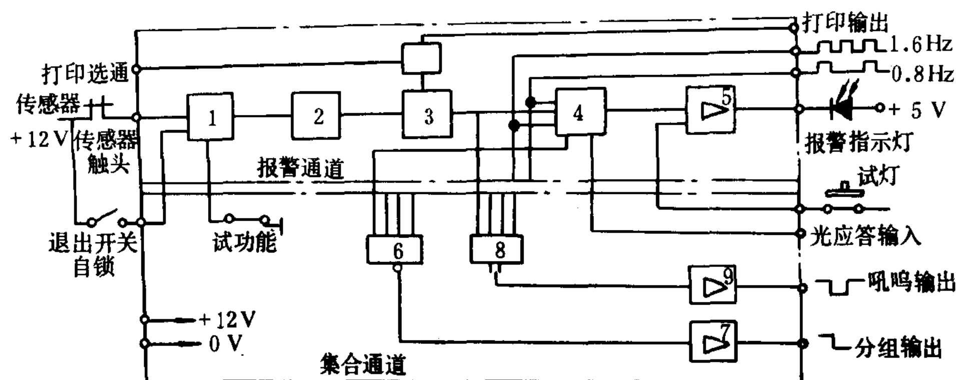


图 9.5.2—3　报警板原理框图

在正常工作状态时，传感器的触头闭合，输入电路的光电耦合器 1 导通。当被监视参数越限时，传感器触头断开，光电耦合器截止，发出报警信号，经报警延时电路 2 形成静态报警信号，又经微分电路 3 形成动态(脉冲)报警信号。此动态和静态信号，以及由中央板来的快、慢闪频及光应答信号，都通过报警信号寄存器 4 的作用，经驱动级 5 输出快闪、慢闪、平光和熄灯 4 种状态的光信号。其静态报警信号同时作为故障记录器的打印信号送出，并经集合通道 6，驱动级 7 送出静态分组报警信号。而动态报警信号又经集合通道 8 和驱动级 9 发出动态吼鸣信号到中央板吼鸣集合电路。

当参数不需要监视时，合上"闭锁"开关，则闭锁开关代替传感器连接到光电耦合器 1 的输入端，这时传感器触头的断开或闭合动作不再影响光电耦合器的状态，报警灯始终处于熄灭状态。

"试功能"开关用于检查该板 4 个通道电路工作情况。

1.6　操作和维护

1.6.1　报警灯板上各按钮的操作

当发生越限报警或自检报警时，应先按操作面板上的"声应答"按钮进行消声，接着辨识新发生报警参数的灯光信号，然后再按"光应答"按钮，则报警指示灯变为平光或熄灯。

船舶开航前或必要时，按"试验"按钮，检查全部报警指示灯及声报信号是否正常。

1.6.2　电源面板的操作

电源面板如图 9.5.2—4 所示。

根据电网供电情况，将选择开关 18 打到"左舷供电"(或"右舷供电")。将电源开关 19 的手柄拨向上方(或下方)，这时由交流电压 220V 主电源供电，左舷(或右舷)电源指示灯 14(或 15)点亮，各分路电源指示灯(2～6 为黄色发光二极管)点亮，表示正常供电。再转动转换开关 17，由电压表 1 检查各组电源的电压数值，这时，报警系统已接通电源，投入工作。

16 为直流 24V 应急电源供电指示灯，当主电源故障失电时，直流 24V 应急电源立即自动投入工作。

7、8 为交流 220V 主电源保险丝座。

9～13 为各分路电源保险丝座。

1.6.3　保险丝板(FU)面板的操作如图 9.5.2—5a)

当报警系统接通主电源后，面板上的"电源正常"指示灯(绿色发光二极管)点亮。

左边 5 只红色发光二极管为各分路电源的故障指示灯，当任一分路电源发生故障时，相应

的故障指示灯点亮，而电源正常指示灯熄灭。

图 9.5.2—4　电源面板图

图 9.5.2—5　印刷电路面板布置

a)FU 面板　b)CE 面板　c)AL 面板

右边的 5 只保险丝座内装有各分路电源的保险丝。

1.6.4　中央板(CE)面板的操作如图 9.5.2—5b)

上部的两只绿色发光二极管分别为快、慢闪脉冲源的指示灯，正常工作时，发出快、慢闪光信号。

中部的红色发光二极管为失频故障指示灯。当脉冲源发生故障时约经 2s 延时后点亮该灯，相应的快或慢闪指示灯熄灭。中部的“试失频”开关用作对中央板的失频监视电路进行功能试验。当开关拨向“试失频”端时，经过约 2s 延时点亮“失频”故障指示灯，说明该自检电路正

常。

下部的红色发光二极管为吼鸣故障指示灯。当吼鸣母线电路故障时，约经 5s 延时后点亮此灯。下部的“试吼鸣故障”开关用作对中央板的吼鸣母线故障监视电路进行功能试验。将开关拨向“试吼鸣故障”端时，经过约 5s 延时后点亮“吼鸣故障”指示灯，说明该自检电路正常。

1.6.5 报警板(AL)面板的操作如图 9.5.2—5c)

面板上的“试功能”开关用来对该板上 4 个报警通道进行试验。将开关拨向“试功能”端时，相应的报警指示灯发出快闪灯光，表示该板 4 个报警通道电路工作正常。

1.6.6 自检报警的处理

检查 FU 板上有无红灯亮，如果某一分路保险丝熔断，则绿灯灭，相应的红灯亮。应检查相应的电路，排除故障后，将熔断的保险丝管换新，即可修复。

检查 CE 板是否有红灯点亮，确认相应的电路是否出现故障，如有异常现象，则换上备用的 CE 板。

1.6.7 装置的维护周期及要求(见表 9.5.2—1)

表 9.5.2—1 **JZJ 型组合报警装置定期维护项目**

序号	项目	维护周期	检查内容
1	主控制屏	每 3 个月	检查各印制电路板及电源的完整性及正确性，拨动各试验开关试验
2	系统绝缘性	每 6 个月	检查系统的绝缘电阻值不小于 100MΩ
3	传感器	每 6 个月	检查各传感器的报警整定值，可以每月或隔月对其中部分传感器巡回检查
4	声、光报警器	每航次	检查声、光报警器工作的正确性

1.6.8 故障及其处理(见表 9.5.2—2)

表 9.5.2—2 **JZJ 型组合报警装置故障现象和处理方法**

序号	故障现象	处理方法
1	一路报警灯熄灭	检查发光二极管，试验报警板功能
2	一路报警灯常亮	检查传感器回路，试验报警板功能
3	“吼鸣”自检灯亮	调换中央板，检查吼鸣分组输入端，调换不正常的报警板
4	全部报警灯亮	检查传感器电源
5	声应答故障	检查“声应答”按钮，调换中央板
6	光应答故障	检查“光应答”按钮，调换中央板
7	闪光正常，声报警故障	检查声报警继电器，调换中央板，调换报警板
8	慢闪光故障	检查快、慢闪光指示灯，调换中央板
9	指示灯连续闪光	调换报警板

2 常规型集中监视系统之二(WE—2)系统

WE—2 集中监视系统是日本寺崎电子公司的产品。该系统的报警动作方式符合日本工业标准 JISF0412 的规定。它们的信号输入包括热电阻在内均采用二线制的电流传输方式，因此，抗干扰能力强。

2.1 系统组成

WE－2 监视系统组成如图 9.5.2—6 所示

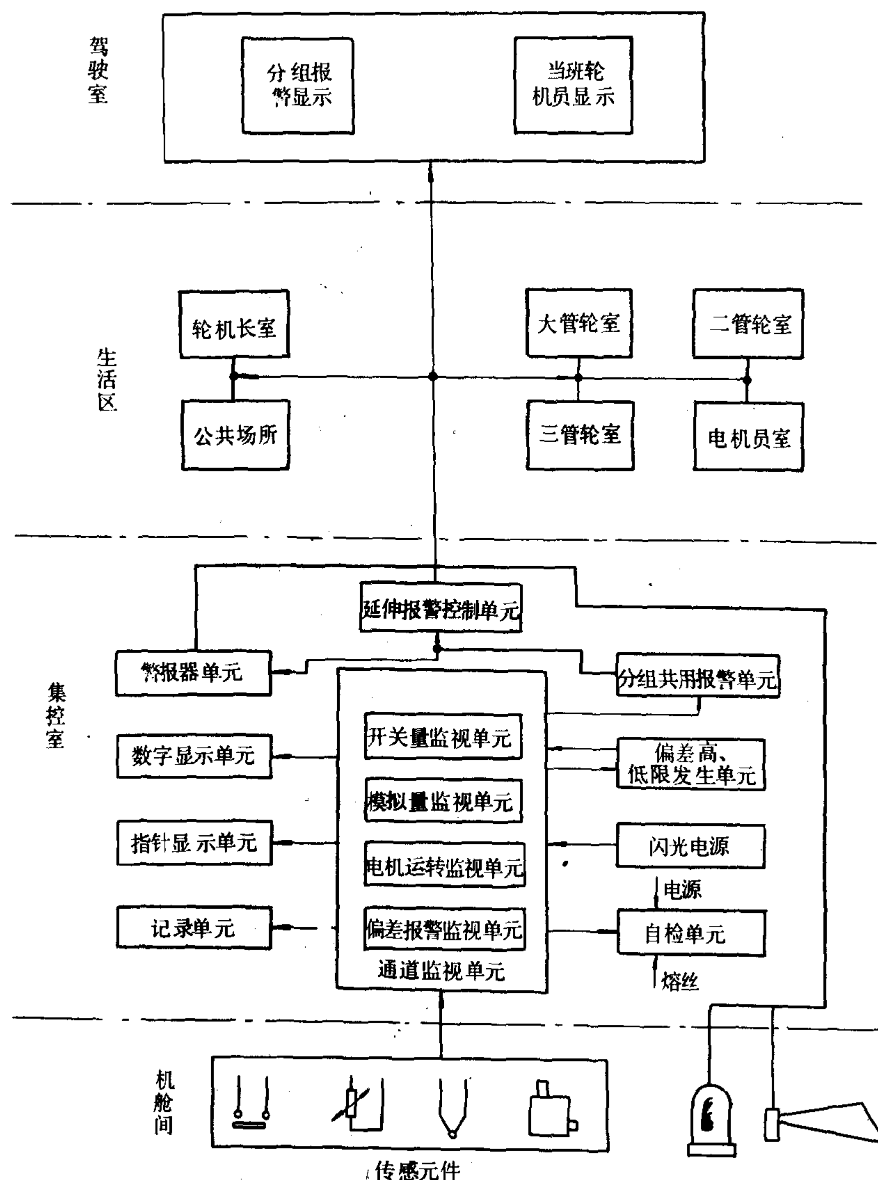


图 9.5.2—6　WE－2 监视系统结构框图

该系统可以有 20 单元柜(CRS－20 型)和 10 单元柜(CRS－10 型)两种规格；各单元之间的连线统一设计成总线型，这样便于批量生产和降低成本。

2.2 功　　能

2.2.1 基本功能

1)声、光报警，对主机、辅机、油柜、水柜和大舱等设备的运行参数进行监视报警。

2)分组报警。

3)延伸报警，夜间实行“无人机舱”值班时，把机舱发生的故障信号及时地传送到当班轮机

员起居室、公共场所和驾驶室。

4)延时报警，为了防止船舶在航行中会不时遇到摇摆和振动而产生误报警，设置了延时报警。

5)自检功能，包括三种自检功能：检查传感器故障、电源熔丝烧断和系统电源偏高或偏低。

6)试灯操作，

7)消声、消闪应答操作。

8)闭锁(报警点退出)操作。

9)对模拟量监视单元调校操作。

10)修改报警极限操作。

2.2.2 任选功能

1)排气温度偏差报警，每缸排气温度 T_i 相对于各缸排气温度算术平均值 T_M 之差值，即 $\Delta T = T_i - T_M$，当 $|\Delta T| \geqslant \Delta T_L$(偏差极限值)时，发出报警信号。

2)显示，显示方式有三种可选，即：

(1)指针式显示器；

(2)数字式显示器；

(3)特定点附加显示器，为了便于把某个监视点的测量值在单独的显示器上连续不断地显示出来，可为这种监视点提供一种输出端(0～1mA，输出阻抗≤200Ω)。

3)记录，记录方式有两种可选，报警恢复记录和制表记录。

2.3 工作原理

2.3.1 单元电路工作原理

2.3.1.1 开关量监视单元结构如图 9.5.2—7 所示。

它由低通滤波器、比较器电路、延迟电路、R－S 触发器、闪光显示电路等组成。从图中可知，每块电路板可监视 2 点。

必须指出，7 和 8 脚均注释报警信号，但含义并非相同，7 脚是接向记录装置，而 8 脚则接向分组共用报警单元。

1)正常工况(触点开关闭合)

由于 $V_s > V_M$，比较器 A_1 输出“1”信号，门 g_1 输出“0”信号，延迟电路输出“0”信号，门 g_2 输出“1”信号，g_3 输出“0”信号，使 D_1 导通，T_1、T_2 管截止，灯 L 熄灭，这表示被监视点未发生故障。

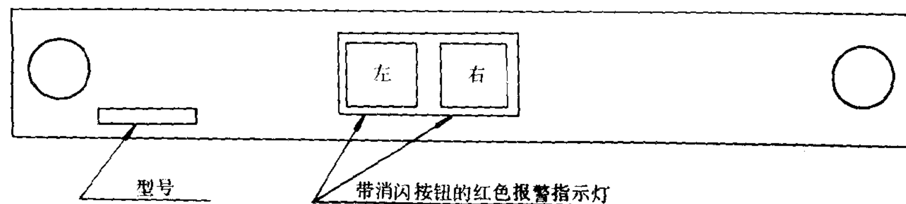
2)异常工况(触点开关断开)

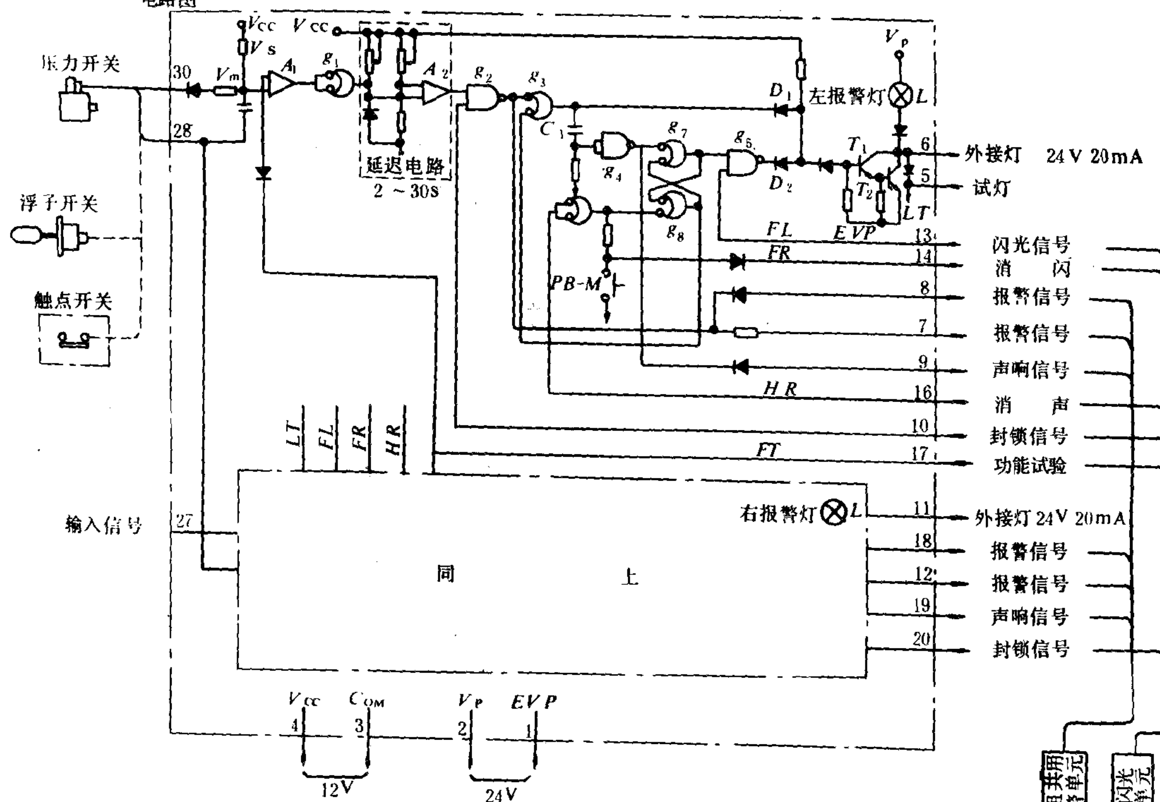
由于 $V_M > V_s$，比较器 A_1 输出由“1”变“0”信号，门 g_1 输出“1”信号，延迟电路延迟(2～30s)输出“1”信号，门 g_2 输出“0”信号，g_3 输出“1”信号，D_1 被封锁而截止；另有一路，g_3 输出“1”信号经 C_1 微分，使 g_4 输出一个负脉冲电信号，遂使 R－S 触发器翻转，g_7 输出“1”信号，g_5 输入“1”信号 而 g_5 的另一输入端则输入闪光信号(0.5～1Hz)，因此，g_5 的输出和闪光信号频率相同的信号，把它去驱动 T_1、T_2 管，L 灯随着发出(0.5～1Hz)闪光信号，表示有故障发生。

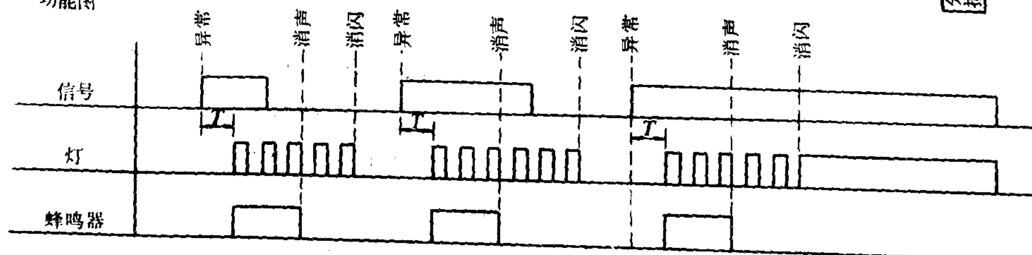
2.3.1.2 模拟量监视单元结构如图 9.5.2—8 所示

它由输入电路、比较器、延迟电路和报警逻辑电路等组成。报警逻辑电路基本上和开关量监视单元的逻辑电路部分相同。

面板图



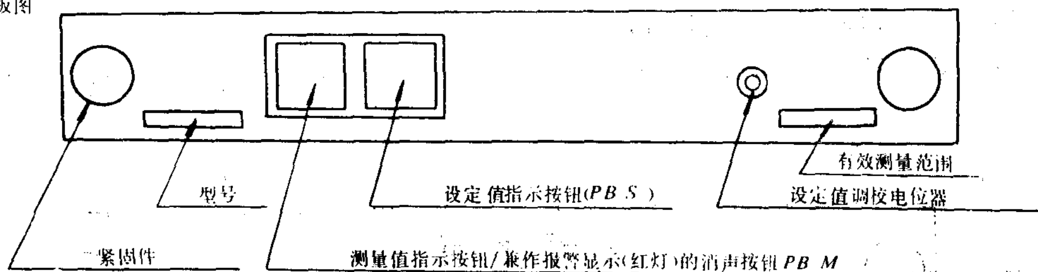


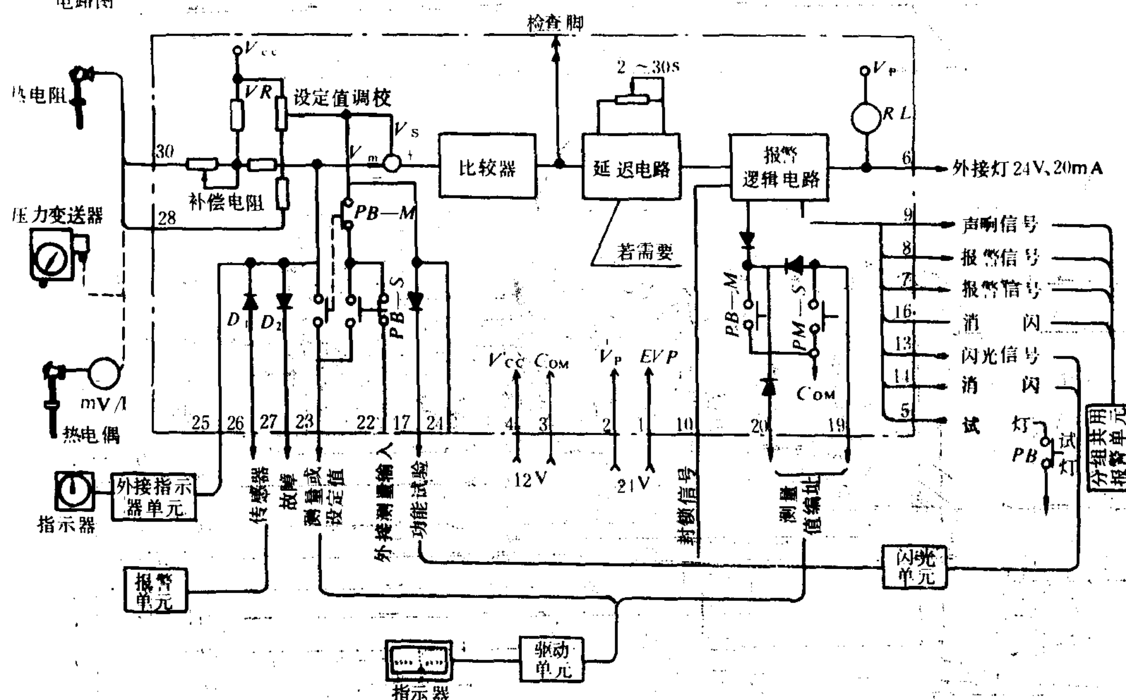


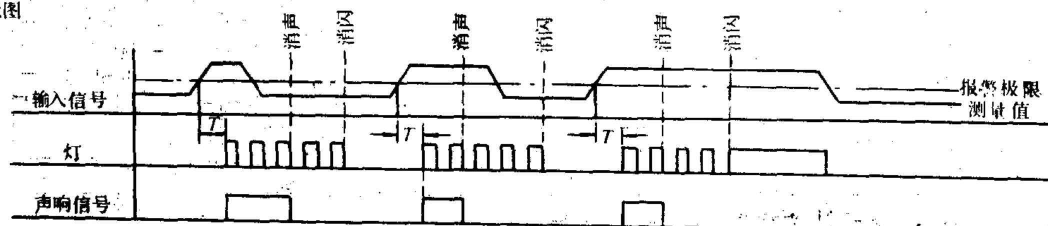
型号

	外部触点常闭	外部触点常开
没有延迟电路	ERC—232	ERC—232M
有延迟电路	ERC—233	ERC—232M

图 9.5.2-7 开关量监视单元电路







型号

	热　电　阻	压力变送器	热　电　偶
高　　限	ERB —112	(ERB—322)	ERB —312
低　　限	(ERB —114)	ERB—324	(ERB —311)
有延迟高限		(ERB—323)	
有延迟低限		ERB—325	

图 9.5.2—8　模拟量监视单元电路

输入电路的功能是把非电量的温度或压力信息变换为电量(电压信号),并接向比较器的反相输入端。调节电位器 V_R 可以改变报警极限值。

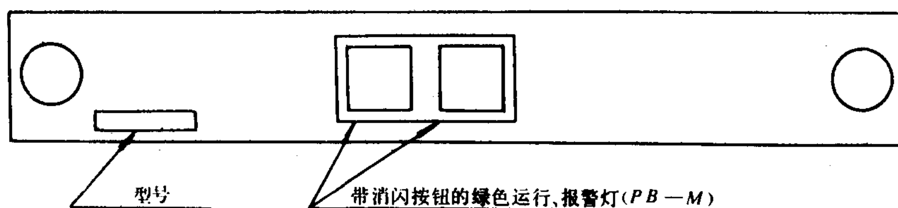
26 和 27 端为传感器故障信号输出端。通常传感器故障信号有两种极端情况:其一是短路,使 D_1 导通,发出短路故障信号;其二是开路,使 D_2 导通,发出开路故障信号。

揿下 PB—M 按钮即可方便地把被监视的模拟量(温度或压力)通过驱动单元和指示器显示出来。揿下 PB—S 按钮又可把报警极限值显示出来。

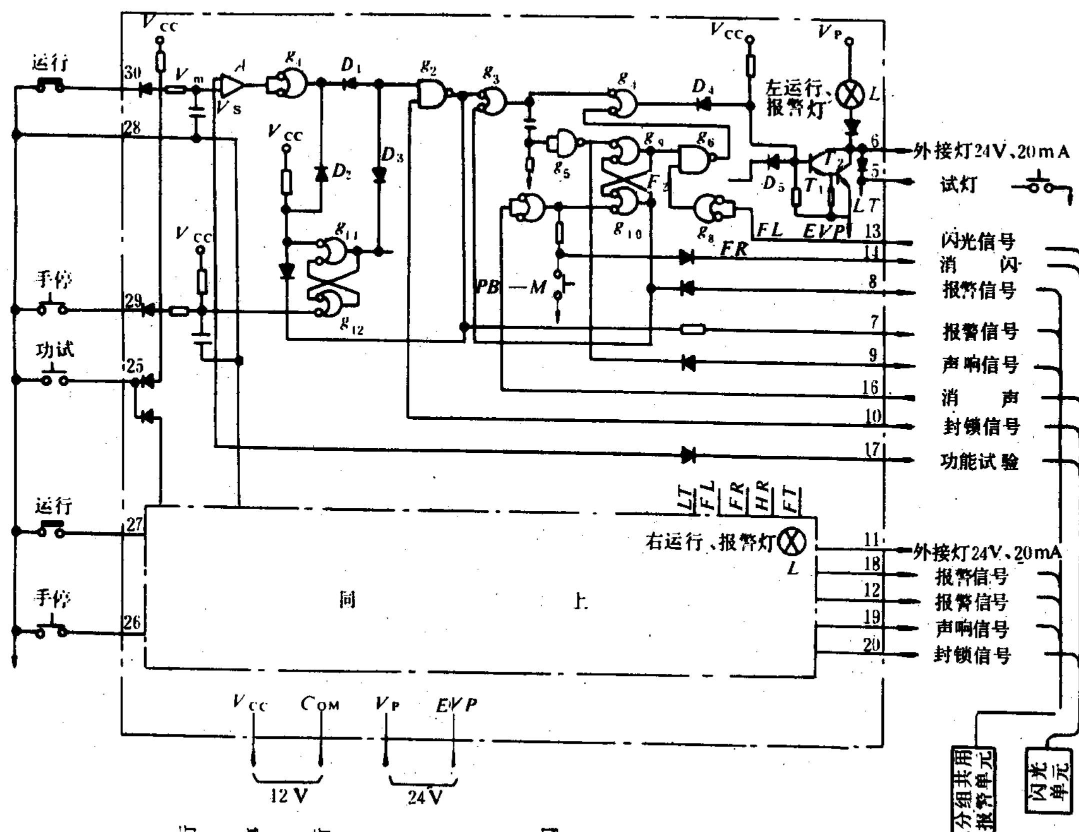
1)正常工况(测量值<上限值)

由于 $V_m < V_s$(上限值),比较器输出"1"信号,以后的工作过程和开关量监视单元基本相同。

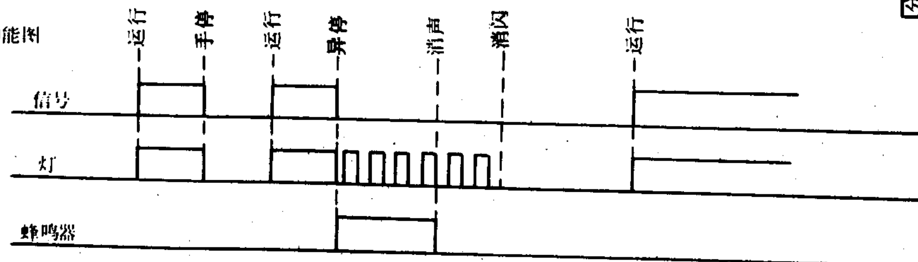
面板图



电路图



功能图



型号　ERC—244

图 9.5.2—9　电动机运转监视单元电路

2）异常工况（测量值＞上限值）。

由于 $V_m > V_s$，比较器输出“0”信号，以后工作过程同开关量监视单元，即 L 灯闪光，各处音响装置齐放声响。

2.3.1.3 电动机运转监视单元结构如图 9.5.2—9 所示

它由滤波电路、比较器、R－S 触发器、门电路和灯光显示电路等组成。每块电路板可同时监视 2 点。

运行触点和手动停止触点都是装于开关板内的组合起动器触头。电动机正常运转时，运行触点为闭合状态，而手动停止触点为断开状态。

1）电动机正常运行状态

由于运行触点闭合和手动停止触点断开，因此 $V_s > V_m$，比较器 A 输出“1”信号，g_1 输出“0”信号；触发器 F_1 的 g_{11} 输出“1”信号，使二极管 D_5 反向封锁；g_2 输出“1”信号，g_3 输出“0”信号，因此 g_4 反向封锁二极管 D_4，使 T_1、T_2 管饱和导通，绿色指示灯常亮，这表示电动机为正常运行状态。

2）手动停止

揿下手动停止开关，V_s、V_m，比较器 A 输出“0”信号，g_1 输出“1”信号，但被二极管 D_2 阻断，而手动停止触点此时为零电平，故 F_1 翻转，g_{11} 输出“0”信号，二极管 D_3 导通，这样 g_2 以后的状态不变。但由于 F_1 的 g_1 输出“0”信号使 D_3 导通、T_1 和 T_2 管截止，因而绿色指示灯熄灭，表示电动机正常停转。

3）故障停车

由于故障引起运转触点跳开，使 $V_s < V_m$，比较器 A 输出“0”信号，g_1 输出“1”信号，g_2 输出“0”信号，g_3 输出“1”信号；与此同时，g_5 输出“0”信号，使 R－S 触发器 F_2 的 g_9 输出端为“1”，g_6 的另一个输入是闪光信号，因此 g_6 也输出一串脉冲闪光信号，无疑 g_4 也会输出闪光信号；又由于目前是故障停车状态，而非手动停车，于是触发器 F_1 就不会翻转，也就是说，F_1 的 g_{11} 输出“1”信号。在上述条件共同作用下，T_1 和 T_2 按闪光频率工作着，导致绿色指示灯发出 0.5～1Hz 的闪光信号，表示有故障停车发生。当值班轮机员揿下消闪按钮时，L 灯由闪光变熄灭，但故障有待去排除。

2.3.1.4 偏差报警监视单元结构如图 9.5.2—10 所示它由输入电路、输入转换器、高低限比较器、缓冲放大器和报警逻辑电路等组成

1）监视区域

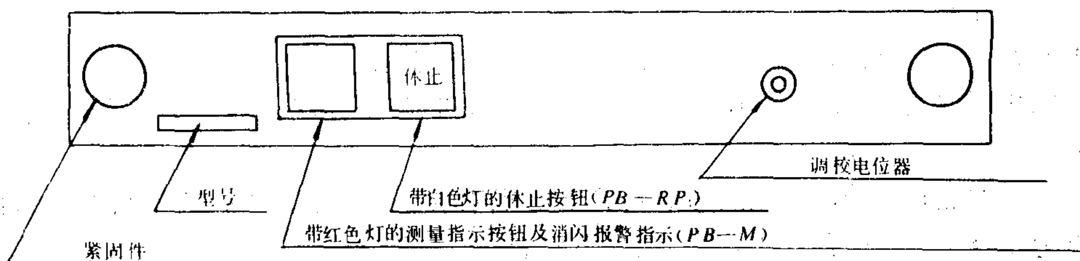
如前所述、偏差报警系指主机每个气缸的排气温度与各缸排气温度平均值之差，若该差值超过极限值高、低限时，发出声光报警信号。柴油机排气温度偏差监视一般分为三个区域。

（1）低速区　柴油机启动和低转速时，气缸燃油燃烧的爆发周期较长，排气温度极不稳定，温度呈波浪状。为了避开低速区的频繁报警，在低速区休止其报警，一般设计在平均排气温度 200℃ 以下。

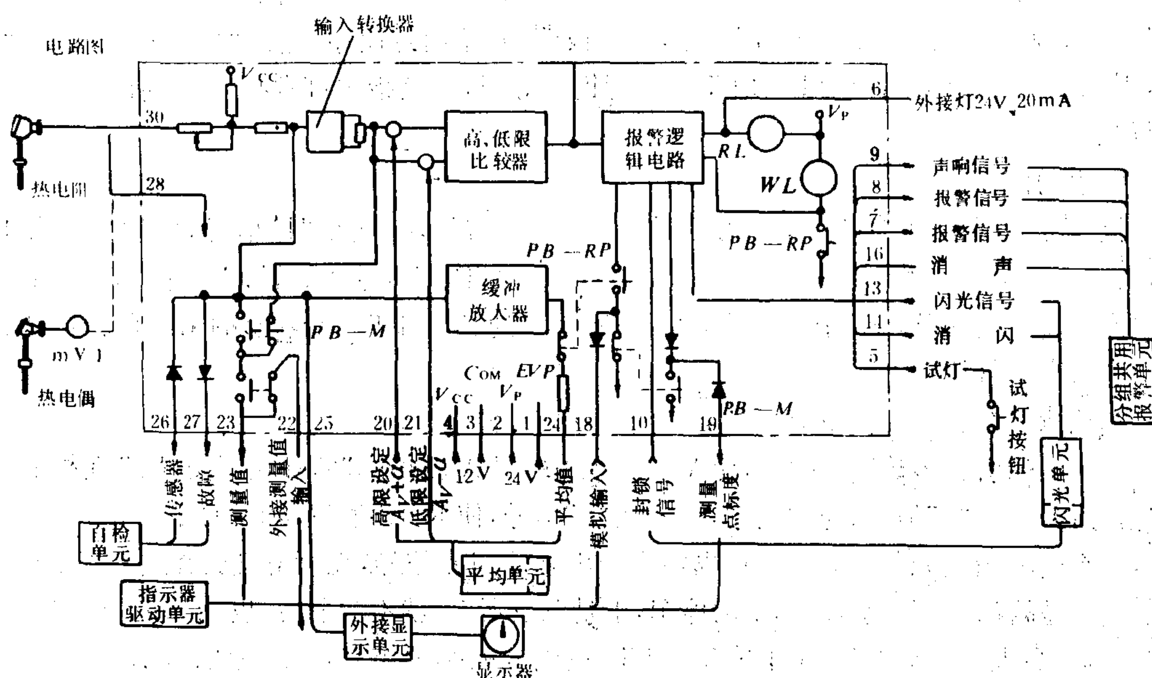
（2）有效工作区　指平均排气温度在 200℃以上，偏差监视自动进入有效工作区域，这一区域报警值的上下偏差一般取 $\pm\alpha = \pm 60$℃左右。

（3）满负荷区　柴油机进入满负荷运行时，或者平均温度接近最大允许值附近（约 480℃左右）时，监视报警的极限值应不考虑有上偏差的裕度。换句话说，平均排气温度超过最大允许值时，偏差报警监视单元，再不受高偏差极限值的约束，总是处于报警工作状态。三个区域的分布情况如图 9.5.2－11 所示。

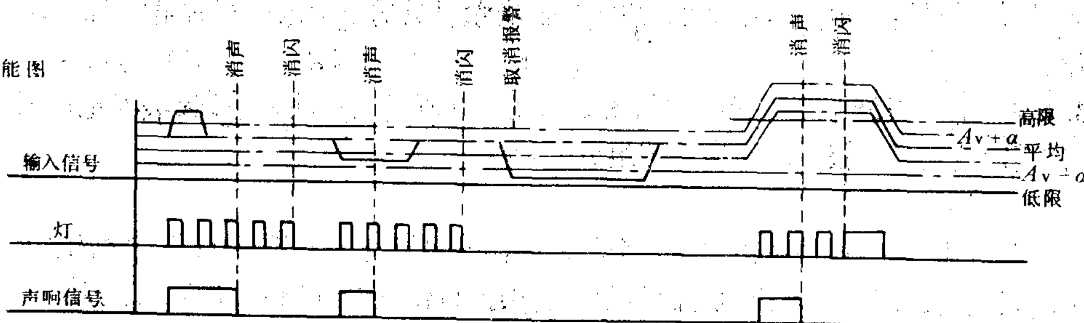
面板图



电路图



功能图



型号： ERB —117A 热电阻(Pt100Ω)

ERB —317A 热电偶(CA)

图 9.5.2—10 偏差报警监视单元电路

2)电路工作原理

每缸排气温度经输入电路及输入转换器送入高、低限比较器。高低限比较器的参考极限值有 $A_v+\alpha$ 和 $A_v-\alpha$(A_v＝各缸排气温度平均值)两种。若某缸排气温度越限，则高、低限比较器改变状态，经报警逻辑电路输出声光报警信号。

3)面板操作

(1)揿下红色(PB—M)按钮,指示单元示出排气温度测量值,若温度值越过 $A_v \pm \alpha$ 设定值,则按钮内的报警灯发出闪光信号。再揿下按钮(PB—M),报警灯由闪光变平光,实现了就地消闪应答。一旦排气温度恢复到设定偏差极限范围内,报警灯自行熄灭。

(2)揿下白色休止按钮,灯立即点亮,这表示本单元的排气温度信号停止传输给平均单元,换句话说本单元从此脱离温度平均值操作。但是测量值指示及报警功能操作照常进行。再按一下此按钮,即可解除休止操作。

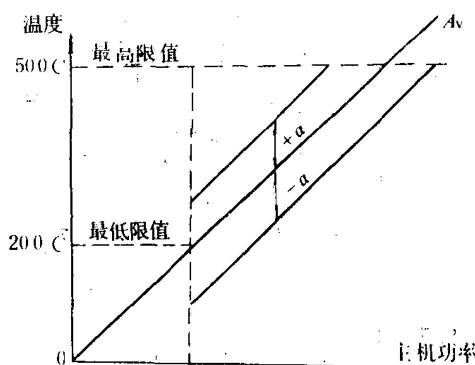


图 9.5.2—11 偏差监视报警区域分布

2.3.1.5 偏差高、低限发生单元(平均单元)结构如图 9.5.2—12 所示。

它由输入电路、偏差报警极限电路、比较电路和上、下限限幅电路组成。

1)电路工作原理

偏差报警监视单元输出端子 24 是各缸排气温度平均值送入输入电路的共用输入端子,经偏差报警极限电路、比较电路和上、下限限幅电路,最后输出 $A_v+\alpha$ 和 $A_v-\alpha$ 信号。

2)面板操作

(1)调节偏差设定电位器,可改变 α 的大小。

(2)揿下高限报警指示按钮(PB—H),指示单元示出 $A_v+\alpha$ 值。调整上限电位器,可使 $A_v+\alpha$ 设定在最高上限值以下,即 500℃,也就是说当 $A_v=500$℃时,$A_v+\alpha$ 要受到上限限幅电路的制约。

(3)揿下低限闭锁报警指示按钮(PB—L),指示单元示出 $A_v-\alpha$ 值,调整下限电位器,可使 $A_v-\alpha$ 的休止区设定在 200℃以下。

(4)揿下平均值指示按钮(PB—A),指示单元示出 A_v 值。

2.3.1.6 指示器驱动单元 结构如图 9.5.2—13 所示。

它由模拟输入电路、标准输入电路、滤波器、传感器故障检测器、量程选择和 V/I 转换器等组成。

1)电路工作原理

端子 23 接收监视单元来的模拟测量信号,端子 19 接收量程选择信号。被测信号经滤波环节与量程选择环节输出之差值送入 V/I,用以取得 0～1mA 的电流通入指示单元,示出被测信号的大小,若被测信号是传感元件造成的故障信息,则传感器故障检测器输出低电位,逐使故障指示灯点亮。

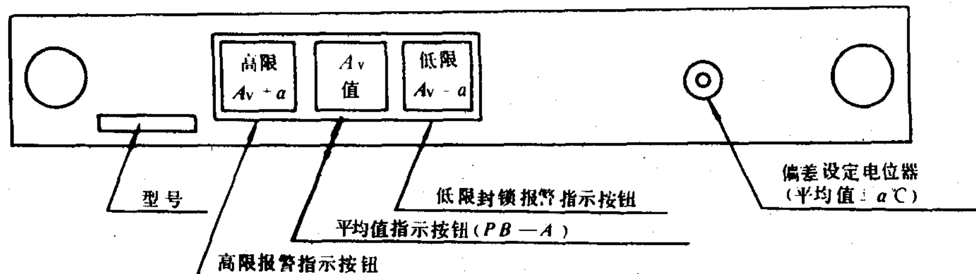
2)面板操作

(1)揿下报警检查按钮(PB—CK),点亮按钮内指示灯,模拟输入环节投入工作,它的输出端与监视单元的 23 端子连通。揿下需要检查的监视单元的测量值指示按钮(PB—M),从低到高缓慢地调节模拟输入信号电位器,指示器单元的指针随之移动,当模拟输入信号超过报警极限时,发出声光报警信号。待检查完毕,把模拟输入电位器转回“低”位置,再按下“报警检查”按钮,使上述状态复位。

(2)揿下“仪表检查”按钮,指示器单元的指针即全量程摆动。这表示指示器驱动单元电路

工作正常。

面板图



型号: Pt100Ω: ERL —111

C —A: ERL —112

电路图

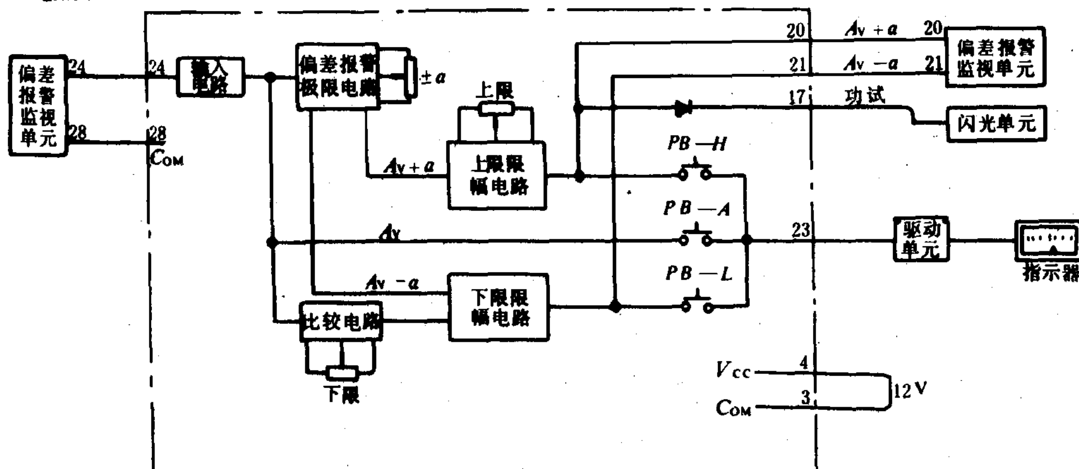


图 9.5.2—12 偏差高、低限发生单元电路

2.3.1.7 分组共用报警单元

其作用是把各监视点的报警信号按重要程度分成若干组分别传送到:驾驶室、轮机长室、轮机员室及公共场所,用以进行延伸报警之用,分组共用报警单元的结构如图 9.5.2—14 所示。它由 R—S 触发器电路、门电路、反相器和继电器等组成。

若组 1 某报警单元发生报警情况,则端子 8 接受低电平信号“0”,而端子 9 接收的是负跳变信号,经过反相器及门电路输出高电平,把继电器 (RY—GAI)接通。输入输出波形如图 9.5.2—15 所示。

端子 9 接收的负脉冲信号还要传送到触发器 F·F 置“1”端,使其翻转,Q 端为“0”信号,通过反相器把 RY—BZ 继电器触头接到音响器发声。若撤下消声按钮,16 端子输出“1”信号,作为所有报警监视单元消闪应答信号。

2.3.1.8 自检单元

用来监视系统本身,它比以上介绍的所有单元都更为重要。结构如图 9.5.2—16 所示。可以监视三种故障:传感器(指模拟量)故障、保险丝熔断故障和电源电压过高过低故障。

1)传感器故障监视

若某温度传感器发生短路故障,则传感器故障检测电路接收到低电平信号;通过比较器电路输出“1”信号,借助或非门电路使断电器 RY 断电,其触头被释放,经开关量报警处理单元,即可实现系统故障报警功能。与此同时,发光二极管点亮,表示传感器发生了故障。

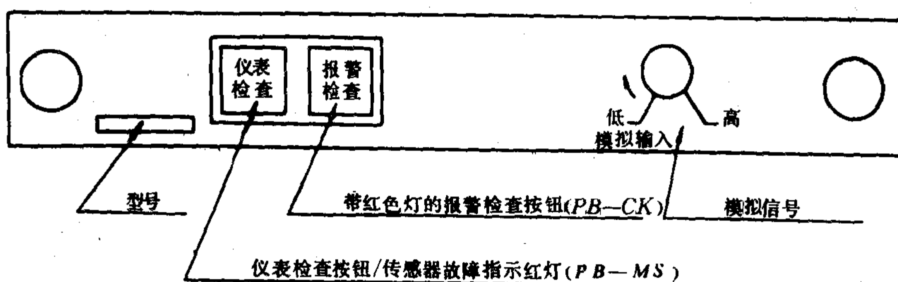
2)保险丝熔断故障监视

这里有两只保险丝，一只10A保险丝和一只5A保险丝。10A保险丝用于各单元指示灯泡的电源 V_p(24v)；5A保险丝用于稳压电源板。只要其中有一个保险丝熔断，借助熔丝检测电路，经电源故障检测电路，输出“1”信号，使继电器RY断电释放，发光二极管点亮。

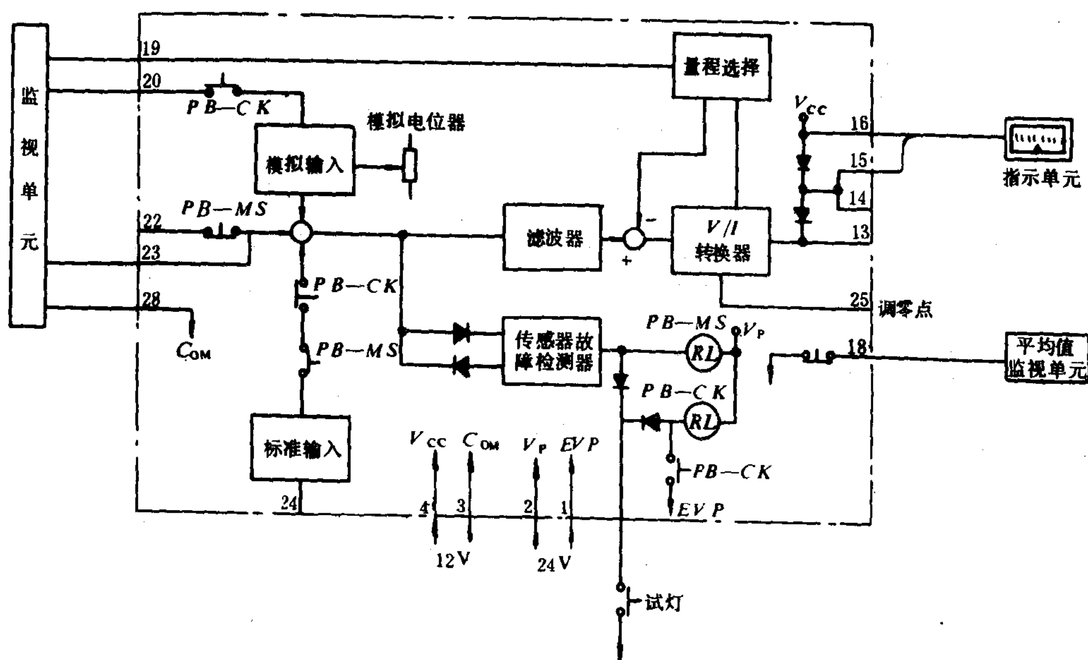
3)电源电压过高或过低故障监视

V_{cc}(H2v)电源的变化接向比较器，当超过上、下限时，输出“1”信号，使RY释放，发光二极管点亮

面板图



电路图



型号：

温度

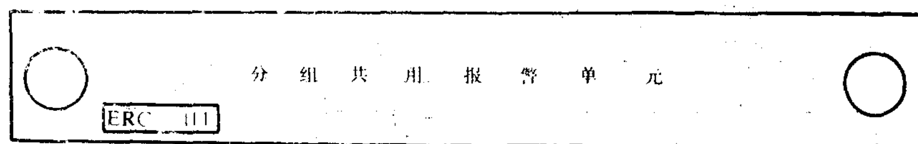
0～150/0～600℃	ERN—125
0～150/0～300℃	ERN—124
0～300/0～600℃	ERN—126
0～100/0～600℃	ERN—123
−50～0～50℃	ERN—111

压力

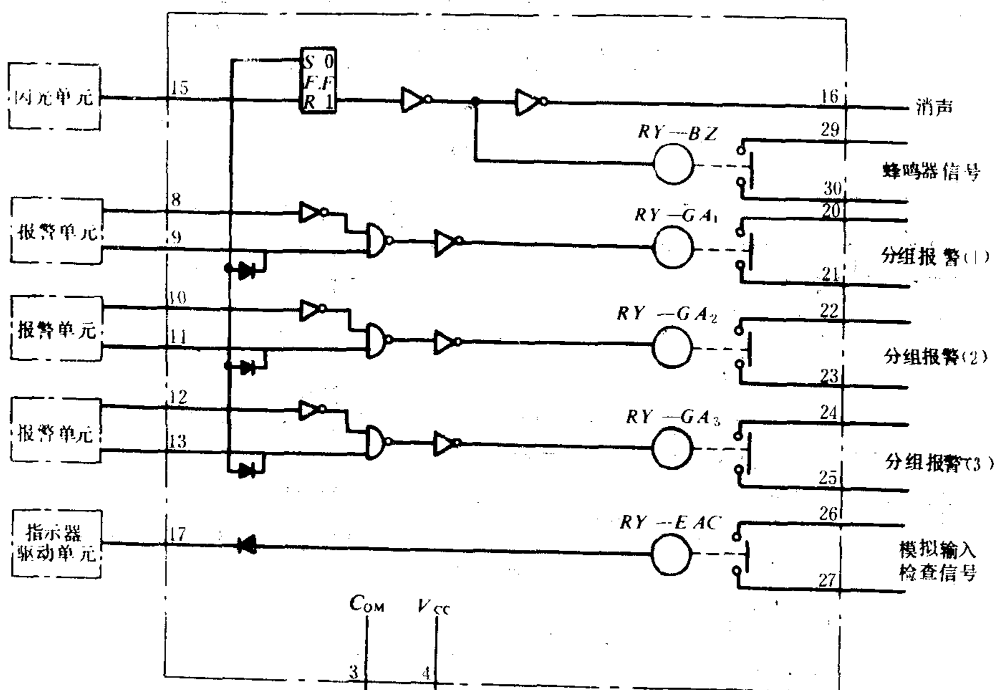
0～100%	ERN—116

图9.5.2-13 指示器驱动单元电路

面板图



电路图



继电器工况

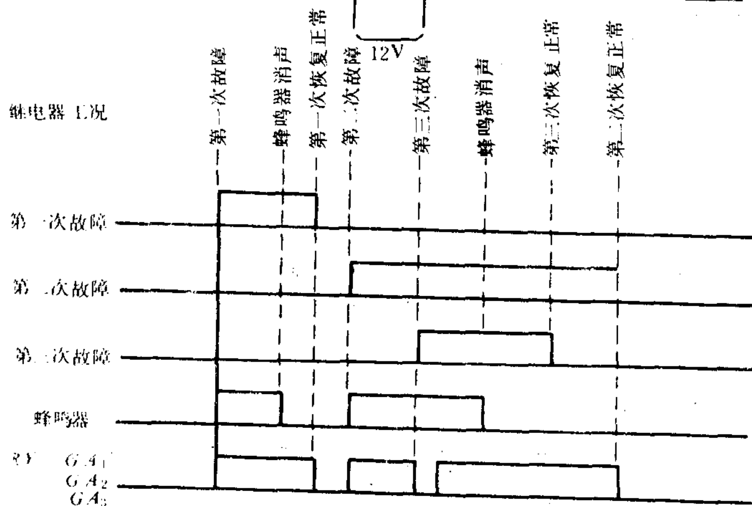


图 9.5.2 14 分组共用报警单元电路

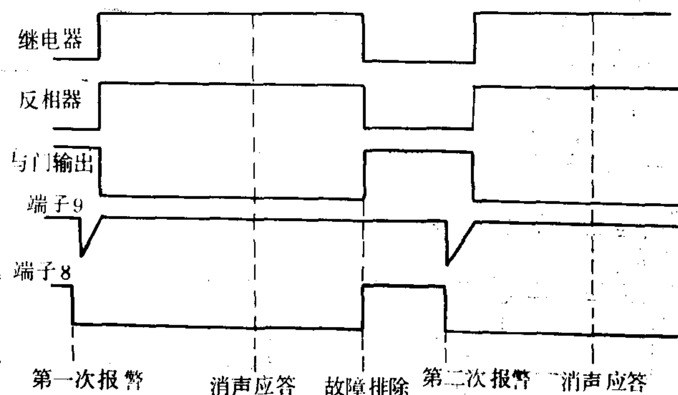
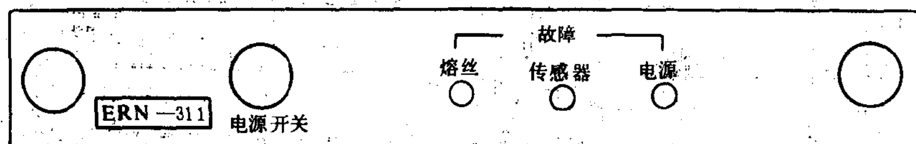


图 9.5.2—15 分组共用报警单元信号流程

面板图



电路图

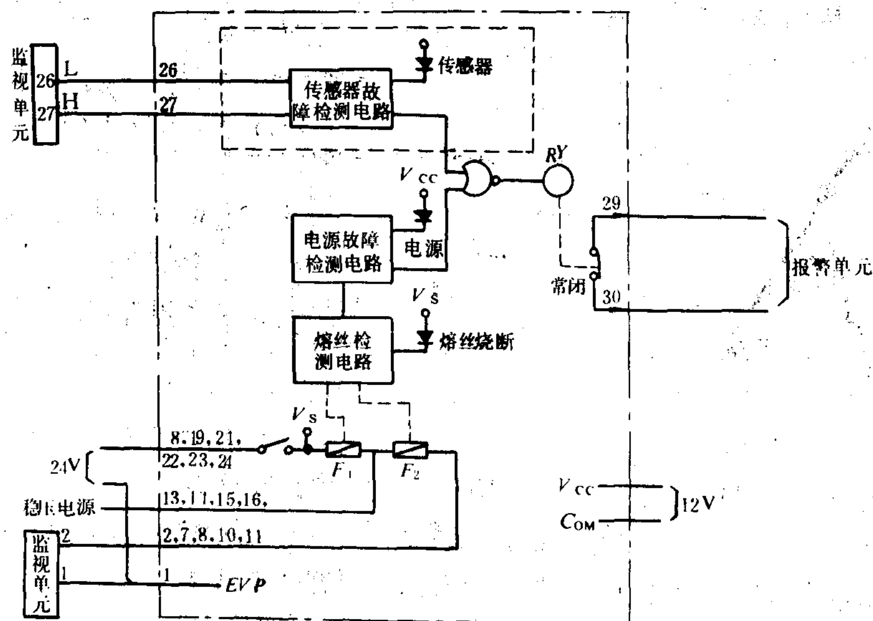


图 9.5.2—16 自检单元电路

2.3.1.9 闪光单元

由 6 个输入电路和一个脉冲发生器电路组成，如图 9.5.2—17 所示。

1)输入电路

它由滤波电路和两个反相器组成，输出“1”和“0”的高低电平信号。6 个输入电路分别起到各自的作用：

消声——消声输入电路 揿下消声按钮，电路输出“0”电平信号，此信号送到分组共用报

警单元,促使各处音响器停响。

消闪——消闪应答输入电路　揿下消闪按钮,电路输出“0”电平信号,把此信号送到所有报警监视单元的14端,实现消闪应答功能

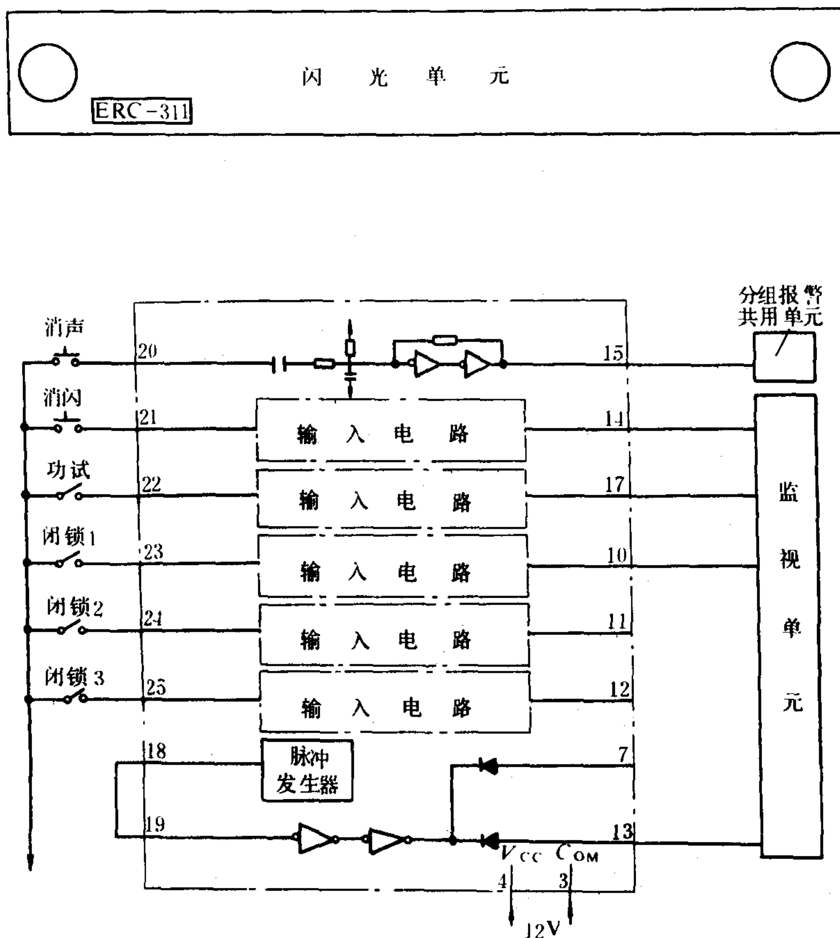


图 9.5.2 17　闪光单元电路

功试——功能试验输入电路　揿下功能试验按钮,电路输出“0”电平信号,把此信号送到所有报警监视单元的17端,实现试验功能,所有报警监视单元的L灯闪光,各处音响器发声。

闭锁1——闭锁1输入电路　接通闭锁1开关,电路输出“0”电平信号,此信号送到需要闭锁的开关量报警监视单元的10端,实现开关量报警闭锁功能。

闭锁2——闭锁2输入电路　接通闭锁2开关,电路输出“0”电平信号,此信号送到需要闭锁的模拟量报警监视单元的10端,实现模拟量报警闭锁功能。

闭锁3——闭锁3输入电路　接通闭锁3开关,电路输出“0”电平信号,此信号送到需要闭锁的马达运转状态监视单元的10端,实现电动机运转状态报警闭锁功能。

2)脉冲发生器电路

由分立元件的多谐振荡器电路构成,振荡频率可在0.5～1Hz间调整。

2.3.1.10　警报器单元　如图9.5.2—18所示

任一监视点发生报警时,分组共用报警单元输出触点(29～30)闭合引起J_{c7}继电器接通,J_{c7}触头闭合,导致集控室蜂鸣器和机舱电笛吹响,这表示有故障发生。

当测试选择开关置于试蜂鸣器位置时,J_{c2}被接通,J_{c2}触头闭合,蜂鸣器和电笛均吹响,达

到试声响目的。

试灯、功能试验、消声应答、消闪应答工作过程，见 2.3.2 整机工作原理。

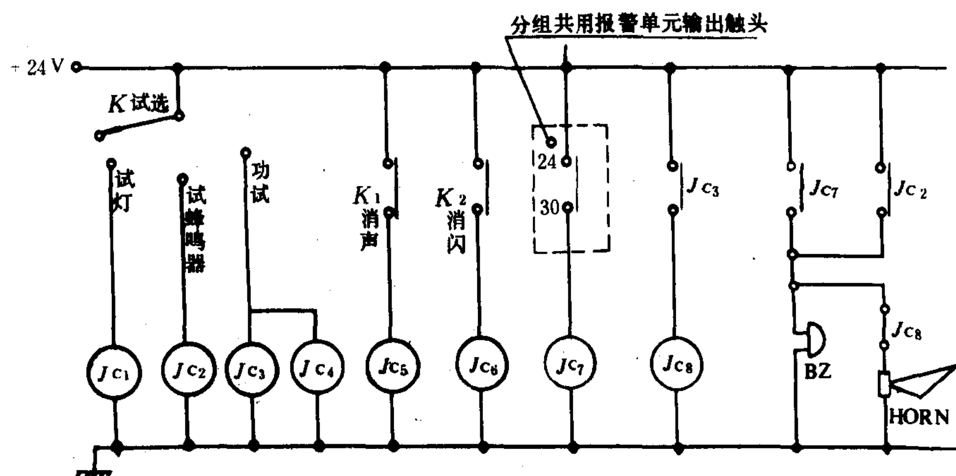


图 9.5.2—18 警报器单元电路

2.3.1.11 延伸报警控制箱单元 由 J_1、J_2 继电器 4 只分组报警红色指示灯、4 只当班轮机员白色指示灯和 1 只蜂鸣器等组成，如图 9.5.2—19 所示。

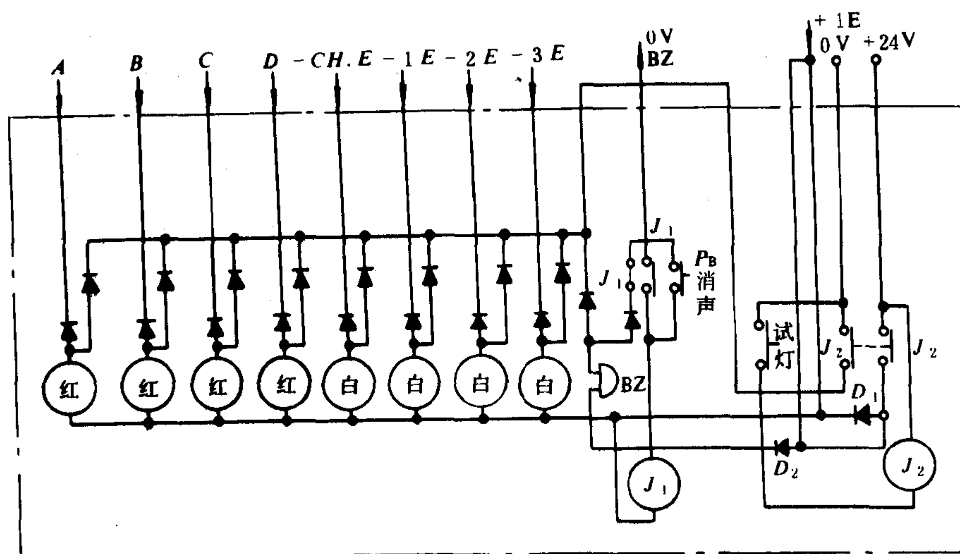


图 9.5.2—19 延伸报警控制箱单元电路

1)电路工作原理

例如清晨 4 点到 8 点大管轮当班，则大管轮当班白色指示灯点亮 。如果现有机舱某监视点发生越限报警，且属一般报警性质，则 A 路红灯发生闪光，同时蜂鸣器响。大管轮闻声后揿下消声按钮 P_B，J_1 被接通，而 BZ 则断电停响。

2)面板操作

揿下试灯按钮，J_2 被接通，使 D_1 导通，＋24V 电源将 8 只指示灯点亮，同时蜂鸣器 BZ 也被接通发声。

2.3.1.12 延伸报警控制单元 由三部分构成，如图 9.5.2—20 所示

1)值班选择器

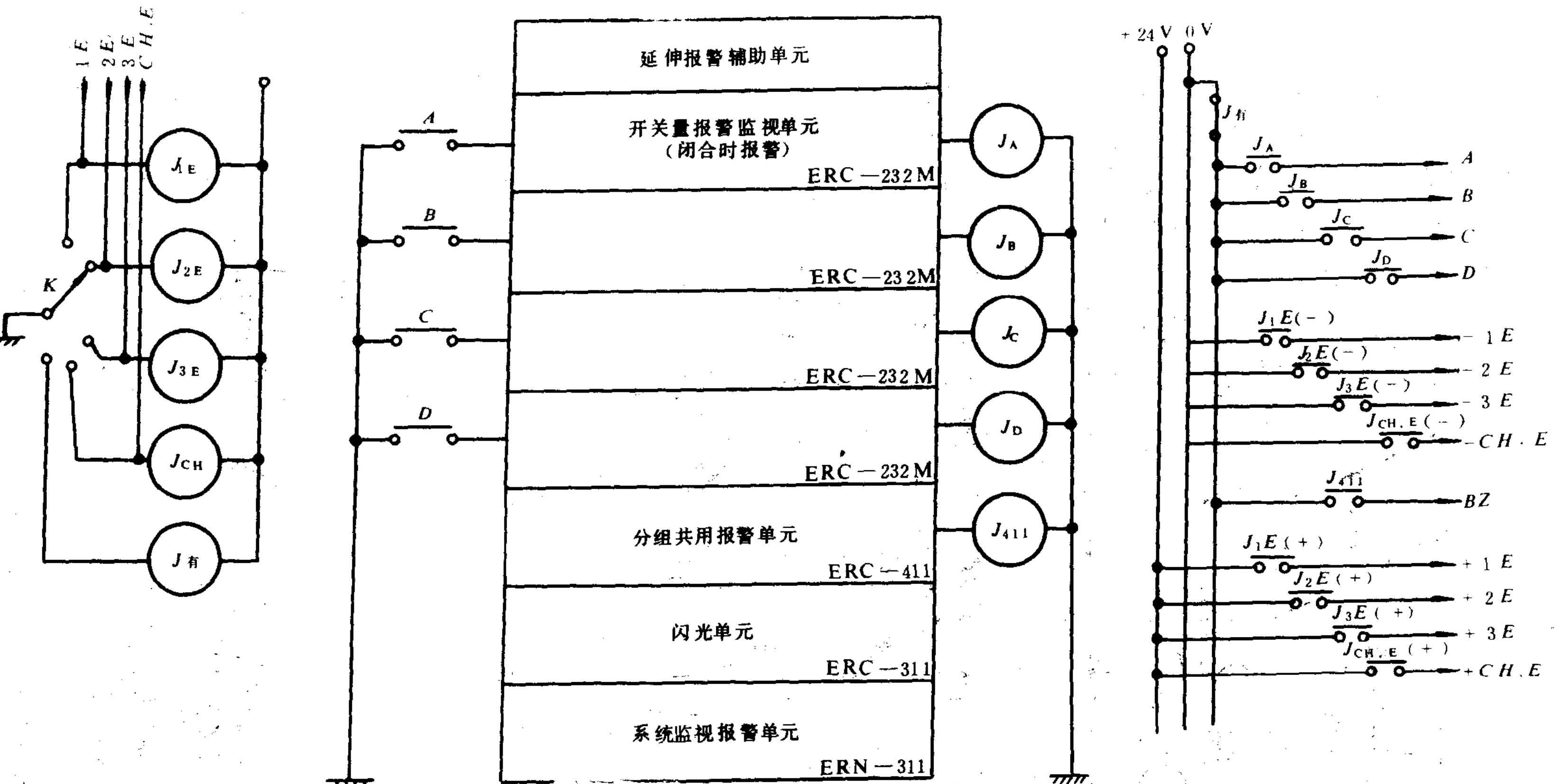


图 9.5.2—20 延伸报警控制单元电路

它的功能是完成有/无人值班的切换及轮机员交接班的切换，通过值班选择开关实现。

2)延伸报警辅助单元

它由4个开关量监视单元、闪光单元和分组共用报警单元等组成。这里使用的开关量监视单元与2.3.1.1所述的开关量监视单元略有不同，它的输入开关触点断开时，表示未发生报警情况；输入开关触点闭合时，表示有报警情况发生；输出L灯更换成继电器(J_A、J_B、J_C、J_D)。

3)各个继电器触头引线

2.3.2 整机工作原理

主要单元之间的连线如图9.5.2—21所示。

现以"无人机舱"值班的要求来分别叙述完成各功能的工作过程(若图9.5.2—20中值班选择开关置于大管轮1E的位置)：

1)报警功能

若目前有某监视点(开关量)发生异常工况，该监视点的开关触点由闭合变为断开，也即向开关量报警监视单元输入一个报警信号，其输出信号有：闪光信号(由L灯显示出来)，启动分组共用报警单元信号(端子8和9)；启动记录装置信号。

分组共用报警单元输出有：G_{A1}触头闭合(若是第1组报警)和端子(29～30)输出接到继电器J_{c7}电路。

延伸报警辅助单元，接收到G_{A1}触头闭合信号后，使继电器J_A按0.5～1Hz的重复频率工作，并把其触头引向所有延伸报警控制箱。由于值班选择开关置于1E位置，因此大管轮延伸报警控制箱的A组红灯发出闪光，同时白色当班指示灯也点亮。

又由于辅助单元的ERC—411输出继电器J_{Bz}此时也处于受控工作状态，因此J_{BZ}触点闭合，致使BZ蜂鸣器接通放声。

驾驶室和公共场所(如餐厅等)延伸报警控制箱的工作状态和大管轮报警控制箱相同，因为这两个箱和其它各箱之间是并联连接的。

从集控台警报器控制电路可以看出，由于触头(29—30)闭合，使BZ和HORN均接通放声。

2)延伸报警控制箱消声应答操作功能

大管轮听到报警声响后，立即揿下P_B消声按纽，实现消声应答，但不能消闪。

3)集控室消声应答操作功能

大管轮走进集控室，揿下消声应答按纽K_1，J_{c5}触头闭合，借助分组共用报警单元的作用，使输出端子(29—30)断开；继电器J_{c7}失电，使蜂鸣器BZ和电笛HORN停响。通过分组共用报警单元的输出端子16，也使报警监视单元的L灯变为停闪。

4)集控室消闪应答操作功能

揿下消闪按纽K_2，使报警监视单元的L灯停闪，同时又使各延伸报警控制箱的红色灯泡停闪，且转为常亮，说明故障尚未排除。

5)故障排除功能

一旦故障被排除，异常信号恢复正常，L灯，红灯均熄灭。若有记录装置，还把排除故障时刻记录下来。

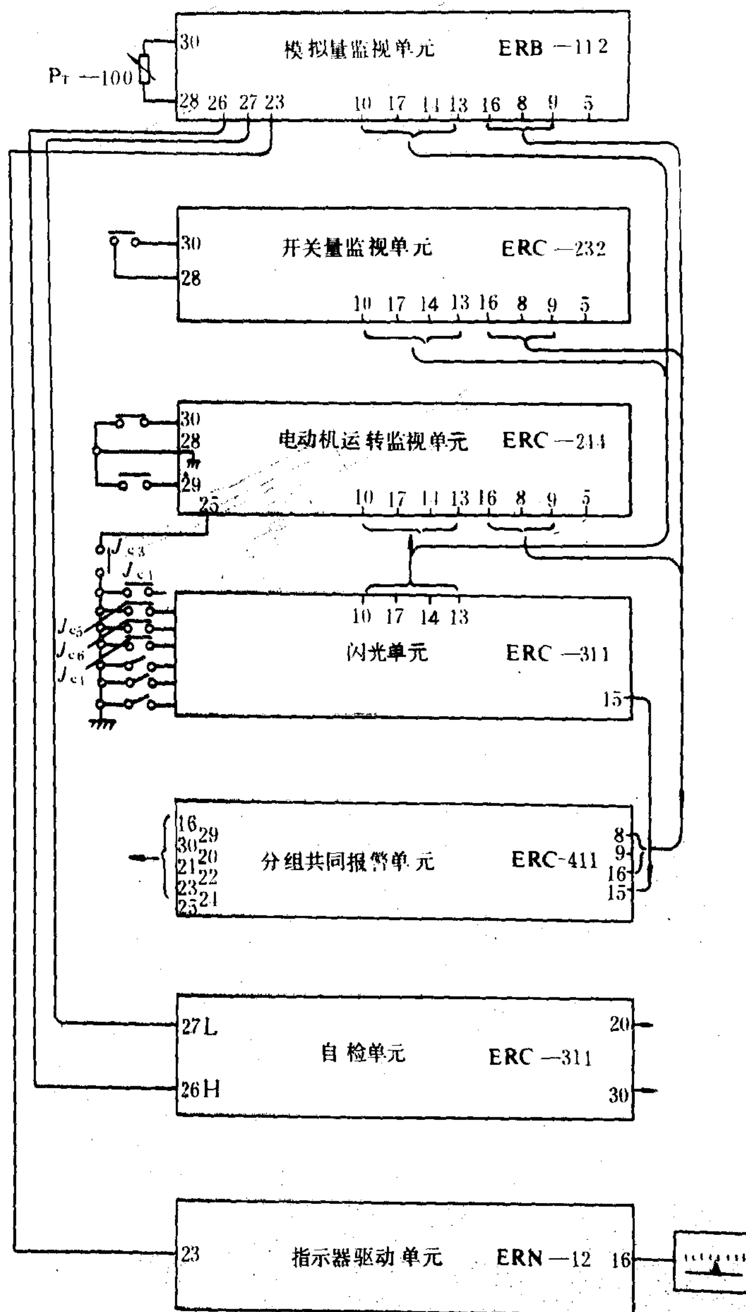


图9.5.2—21 WE—2主要单元之间连线图

2.4 维修保养

2.4.1 定期保养

1)日检

(1)试灯检查 揿下共用试灯按纽,观察各监视单元面板的报警指示灯是否点亮,若有灯不亮,应予更换;

(2)仪表检查 揿下指示器驱动单元的"仪表检查"按纽,观察仪表指针是否满度摆动;

(3)功能试验 揿下共用功能试验按纽,观察各监视单元面板上的报警指示灯是否闪光;

若有个别单元不闪光(未闭锁),则说明不闪光的监视单元有毛病,需更换;

(4)测量值显示检查　撳下模拟量监视单元的测量值指示按纽,检查显示值与实测值是否相符。

2)月检

(1)检查各端子接点是否牢固,如有松动应予紧固;

(2)检查各单元柜后面的电缆接头是否扣紧,若有松动,应予以扣紧。

3)半年检

(1)模拟量监视单元检查　撳下指示驱动器单元面板上的“报警检查”(ALARM CHECK)按纽,说明该单元的模拟输入环节投入工作,并通过端子23输入到被检查的模拟量监视单元,调节该单元的模拟信号电位器,端子23就获得大小变化的电压信号;然后撳下模拟量监视单元面板上的测量按纽,模拟输入信号就与监视单元的比较器接通,同时指示器单元亦显示出模拟输入的大小数值;观察被检查的监视单元的工作正常与否。注意:检查完毕,应将“报警检查”按钮复位。

(2)拉出各单元,检查后部接、插触点及其周围是否积灰,积灰过多,应给予消除。

(3)电源故障/保险丝熔断检测电路的检查人为断开“电源”(POWER SWITCH)开关,观察自检单元的继电器RY释放及自检报警情况。

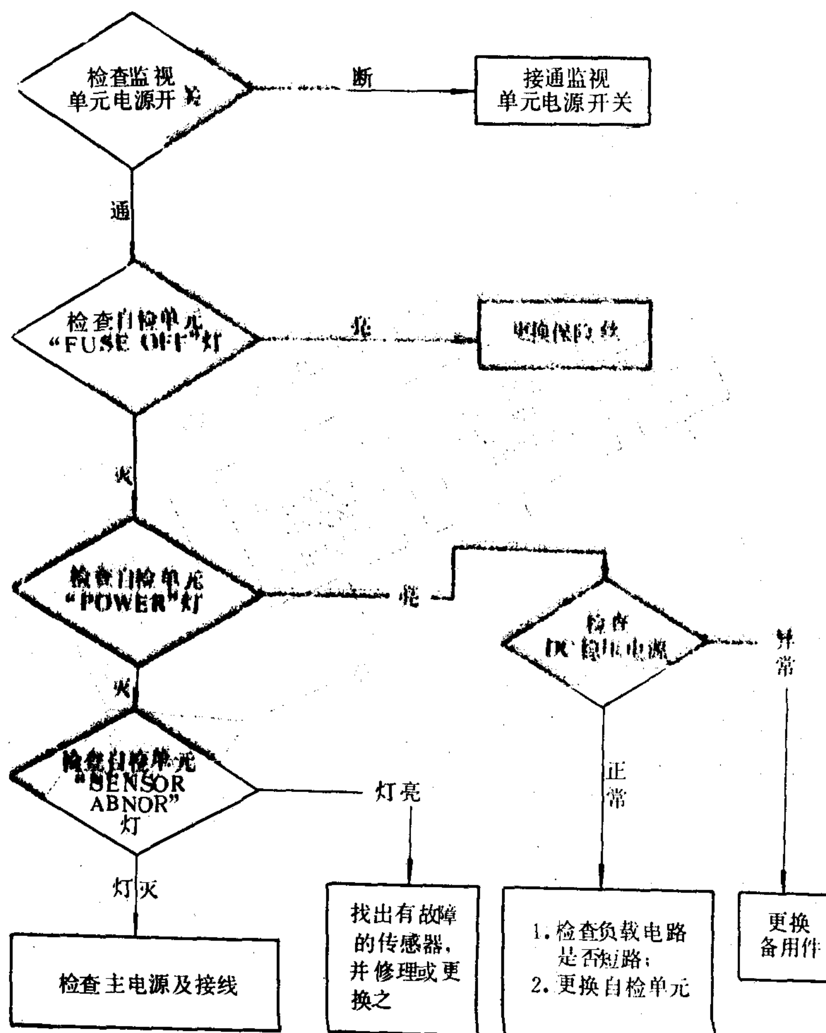


图 9.5.2－22　电源/传感器故障查找及排除流程图

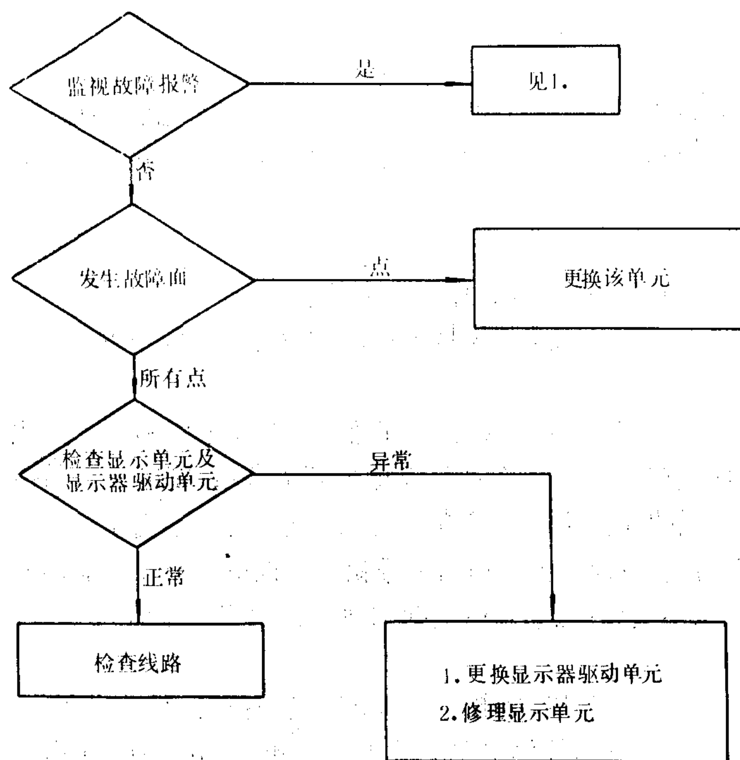


图 9.5.2 23 测量/设定值显示故障查找及排除流程图

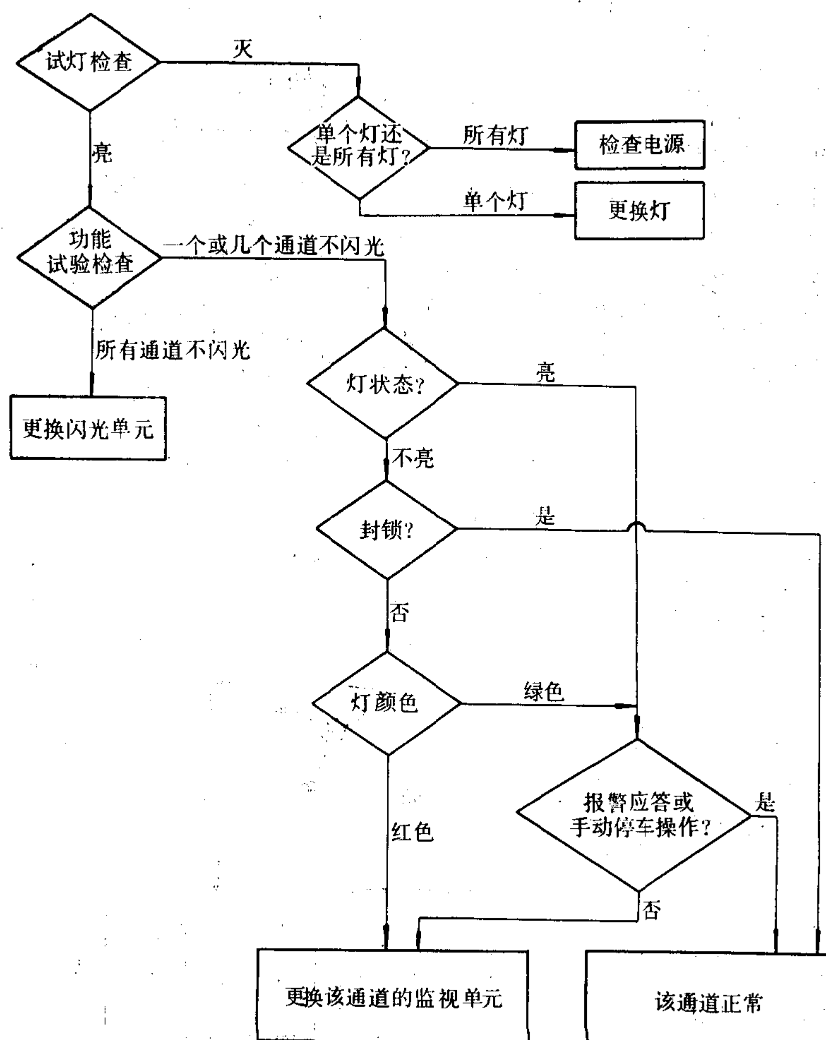


图 9.5.2 24 有报警声响无闪光的故障查找及排除流程图

(4)传感器故障检测电路的检查任选一个模拟量监视单元，按模拟量监视单元检查方法，大幅度地旋转模拟信号输入电位器，对传感器故障检测电路进行检查。当模拟信号电位器处于最低位置或最高位置时，观察自检单元面板上的“传感器故障”(SENSOR ABNOR)灯是否点亮。

2.4.2 故障的查找和排除

1)电源/传感器故障的查找和排除如图 9.5.2—22 所示。

2)测量/设定值显示故障的查找和排除如图 9.5.2—23 所示。

3)有报警声响，但无闪光的故障查找及排除如图 9.5.2—24 所示

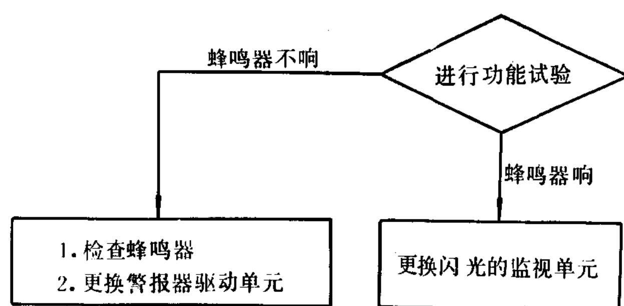


图 9.5.2—25　有报警闪光无声响的故障查找及排除流程图

4)有报警闪光显示，但无声响的故障查找及排除如图 9.5.2—25 所示

参考资料：

(1)Terasaki Electric Co·,LTD. WE—2 Monitoring System—Instruction Manual

(2)吕景昆《特辅机电设备》1984.4. WE—2 机舱监视报警装置

3 常规型集中监视系统之三(KM—2 系统)

KM—2 机舱监视报警系统是挪威 Autronica 公司的产品，它的功能基本上和 WE—2 系统相同。

KM—2 系统配用的传感器有：开关触点、Pt100 型铂电阻、T802 型补偿式热敏电阻、GA—5型有源热电偶、GC 型温度变送器、GT—9 型压力变送器和 GT—10 型差压变送器。

3.1 系统结构

KM—2 系统结构框图如图 9.5.2—26 所示。

3.2 工作原理

3.2.1 单元电路工作原理

3.2.1.1 开关量报警通道单元(KMC—230)结构如图 9.5.2—27 所示。

一块插板上安装了完全相同的 2 个(A 和 B)开关量报警通道电路。它由 4 部分组成：输入电路、比较器电路、逻辑电路和分组二极管。

输入电路主要是由电阻、电容组成的延迟环节，延迟时间可以通过改变电阻来调整。例如通道 A：标准延迟时间为 2s；若去掉 R_{104}，延迟时间为 25s；若去掉 R_{103}和 R_{104}，延迟时间为 60S。显然改变 R_{103}和 R_{104}的阻值可以得到用户希望的任何延迟时间数值。

以通道 A 来说明其报警原理：如果监视点发生故障，比较器 $A_{1\cdot1}$输出为高电平，逻辑电路 D_{101}端子接收到该信号后，端子 15 输出低电平，使 H_{101}发光二极管发出闪光信号；端子 8 输出高电平信号送到分组报警单元；端子 9 输出高电平信号送到延伸报警控制单元。撤下 S_1 开关

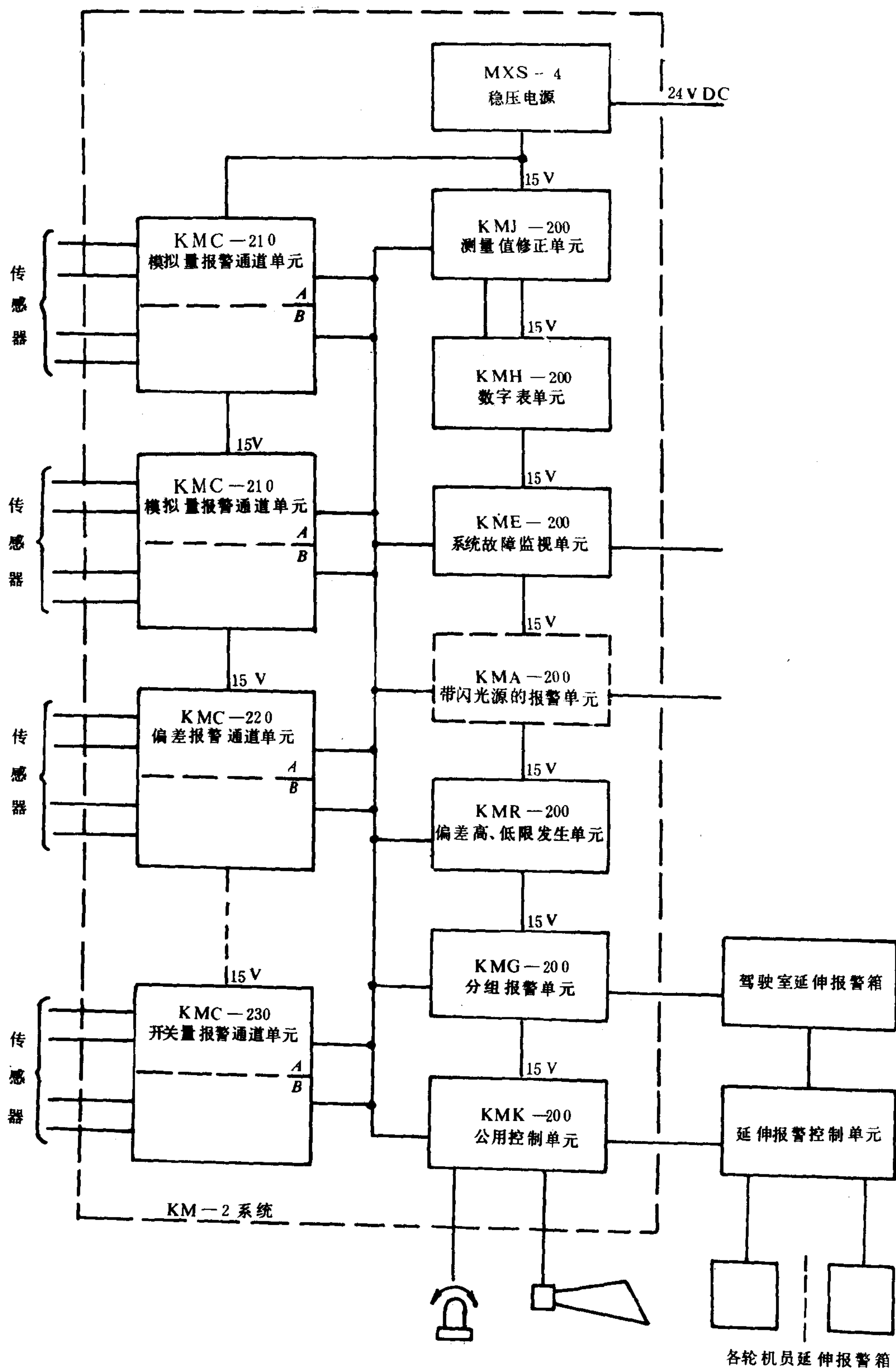


图 9.5.2—26　KM－2 系统结构框图

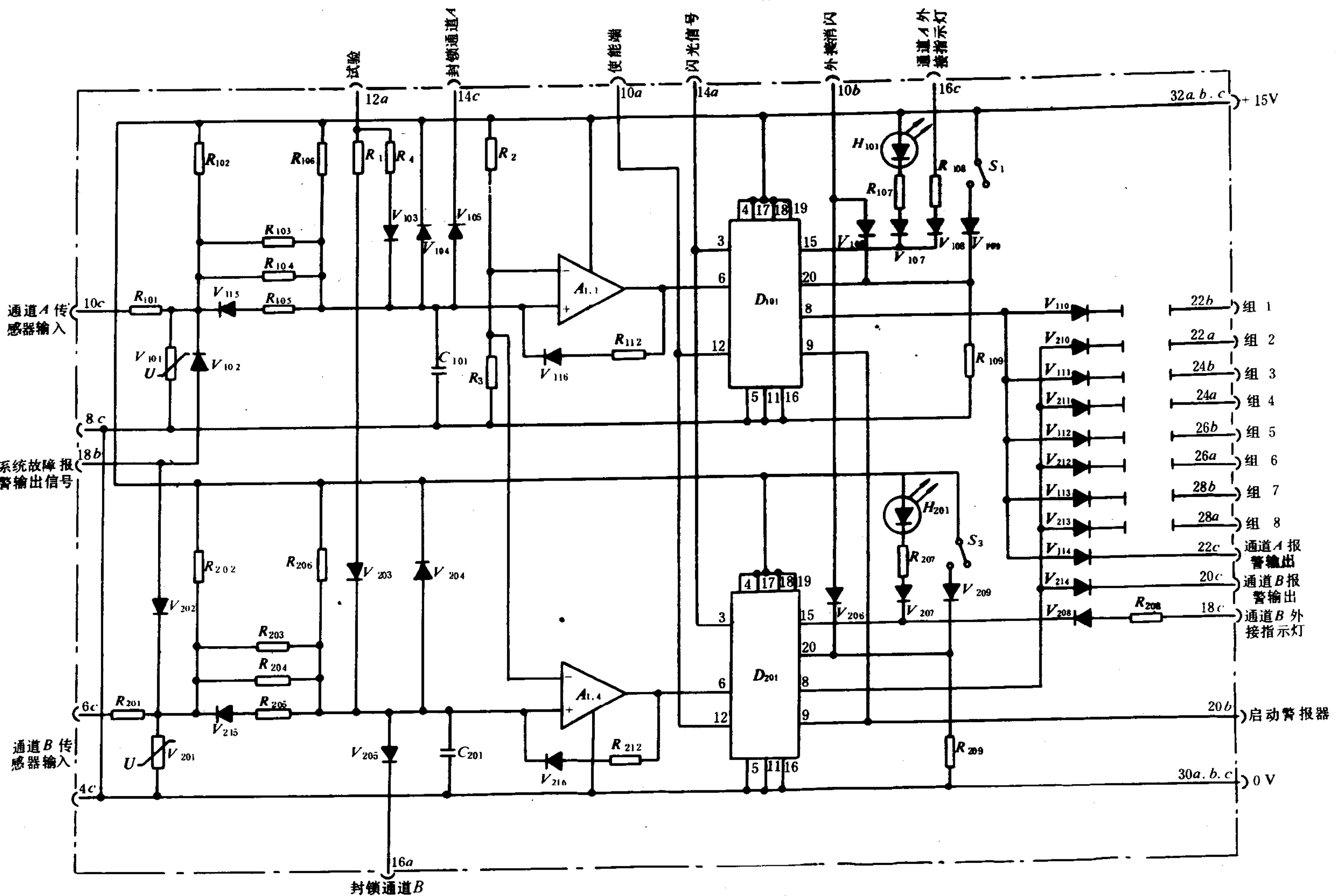


图 9.5.2—27 开关量报警通道单元电路

可实现就地消闪操作。

在端子 14C 加入低电平信号时，外界输入到 $A_{1.1}$同相端的任何信号均被箝在低电平，使 $A_{1.1}$不能翻转，达到了报警通道闭锁的目的。

3.2.1.2 模拟量通道报警单元(KMC－210)结构如图 9.5.2—28 所示。和开关量通道报警单元相比有三点差别：

(1)其输入电路采用厚膜型电路输入网络，用来接受传感器发送来的各种输入信号，并将它转换成 1～5V 标准信号。

(2)输出部分增加了数字显示的整定信号，例如，修正测量值、确定小数点、确定单位和确定正负号等信号。

(3)增加了一个由 $A_{1.1}$和 V_{103}组成的输出电路，接收厚膜电路送来的模拟量经 $A_{1.1}$比例放大，从引脚 12C 输出(若不使用 V_{103}可加接 W_{104}和 W_{105}短接线)。

1)电路工作原理

以通道 A 为例来说明其工作原理：转换后的 1～5V 标准信号接到比较器 $A_{1.2}$(前置电阻 R_{128}和 R_{110}接在“H”位置表示 $A_{1.2}$实现高限比较器工作状态；接在“L”位置表示 $A_{1.2}$实现低限比较器工作状态)。如果测量值越限，$A_{1.2}$比较器翻转，经过 D_{101}逻辑电路端子 15 输出低电平，使 H_{101}发光二极管闪光，表示该测点发生报警。

2)操作

(1)揿下 S_1，H_{101}指示灯停止闪光，转为常亮，通道 A 测量值在显示器单元指示出该测点参数值。

(2)揿下 S_3，H_{201}指示灯停止闪光，转为常亮，通道 B 测量值在显示器单元指示出该测点参数值。

(3)同时揿下 S_1 和 S_2，显示器读数为通道 A 的报警极限值。

(4)同时揿下 S_2 和 S_3，显示器读数为通道 B 的报警极限值。

(5)调节 R_{108}或 R_{208}，可整定报警极限。

KMC－210 模拟量报警通道单元插板上安装了 A 和 B2 个通道单元，可以同时监视 2 个检测点，但根据用户需要也可以用来监视一个检测点的高和低限报警。

3.2.1.3 偏差报警通道单元(KMC－220)结构如图 9.5.2—29 所示

它和 KMC－210 的不同之处，在于 A 和 B 通道的比较环节各多一个比较器。

1)电路工作原理

以通道 A 为例，气缸排气温度，由传感器送入厚膜输入电路，转换为 1～5V 标准信号，经 $A_{2.4}$比例放大，送到高、低限报警的比较器环节(由 $A_{1.3}$和 $A_{2.3}$组成)。若某缸排气温度高于或低于由 KMR－200 发送来的报警极限，则 D_{101}的 15 端子产生低电平，逐使 H_{101}指示灯闪光。

2)操作

(1)揿下 S_1，H_{101}指示灯由闪光变常亮，显示修正后的通道 A 测量值。

(2)揿下 S_3，H_{201}指示灯由闪光变常亮，显示修正后的通道 B 测量值。

(3)同时揿下 S_1 和 S_2 或 S_2 和 S_3，可显示出排气温度实际值。

3.2.1.4 偏差高、低限发生单元(KMR－200)电路结构如图 9.5.2—30 所示。

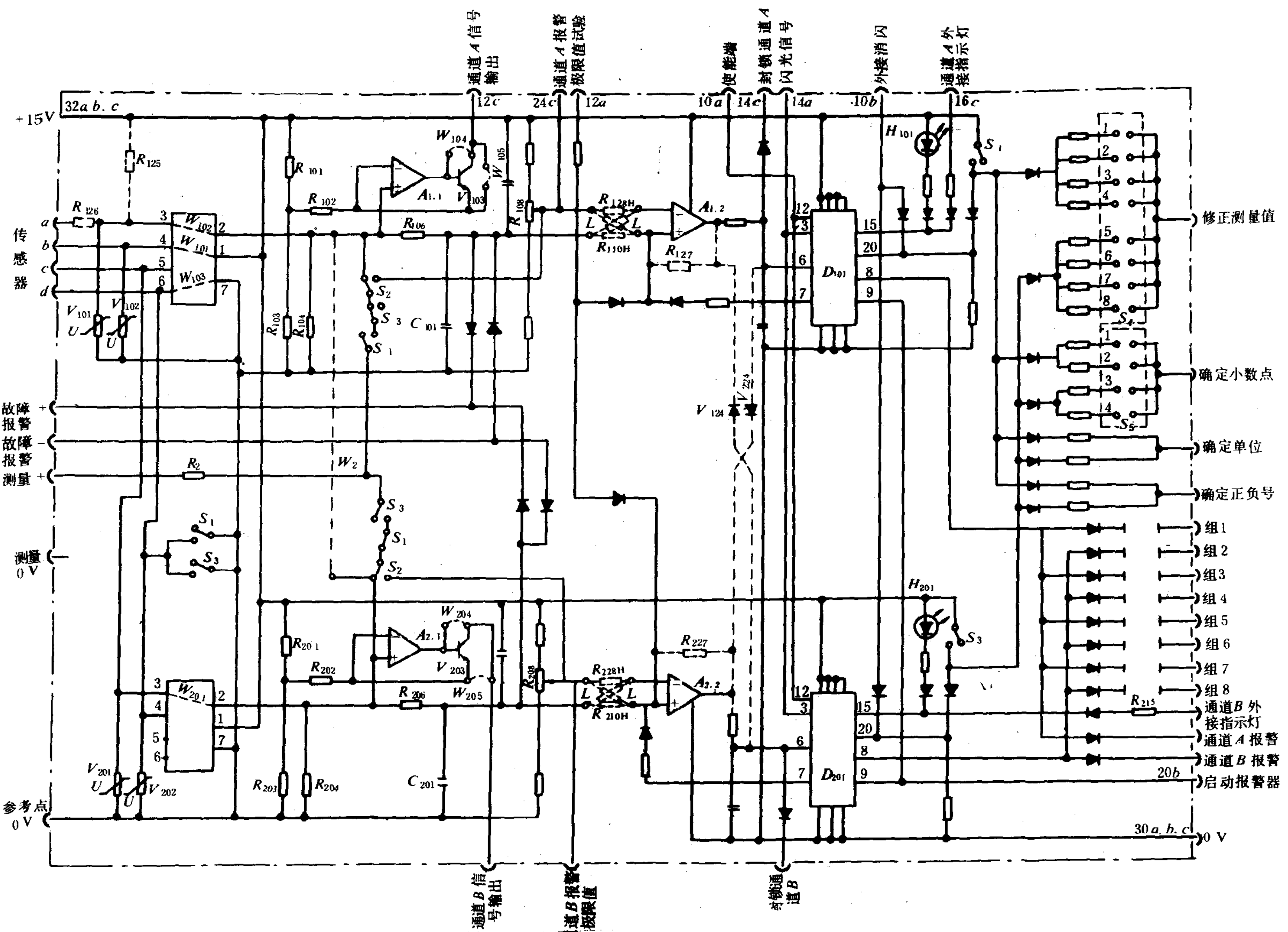


图 9.5.2—28　模拟量通道报警单元电路

图 9.5.2—29　偏差报警通道单元电路

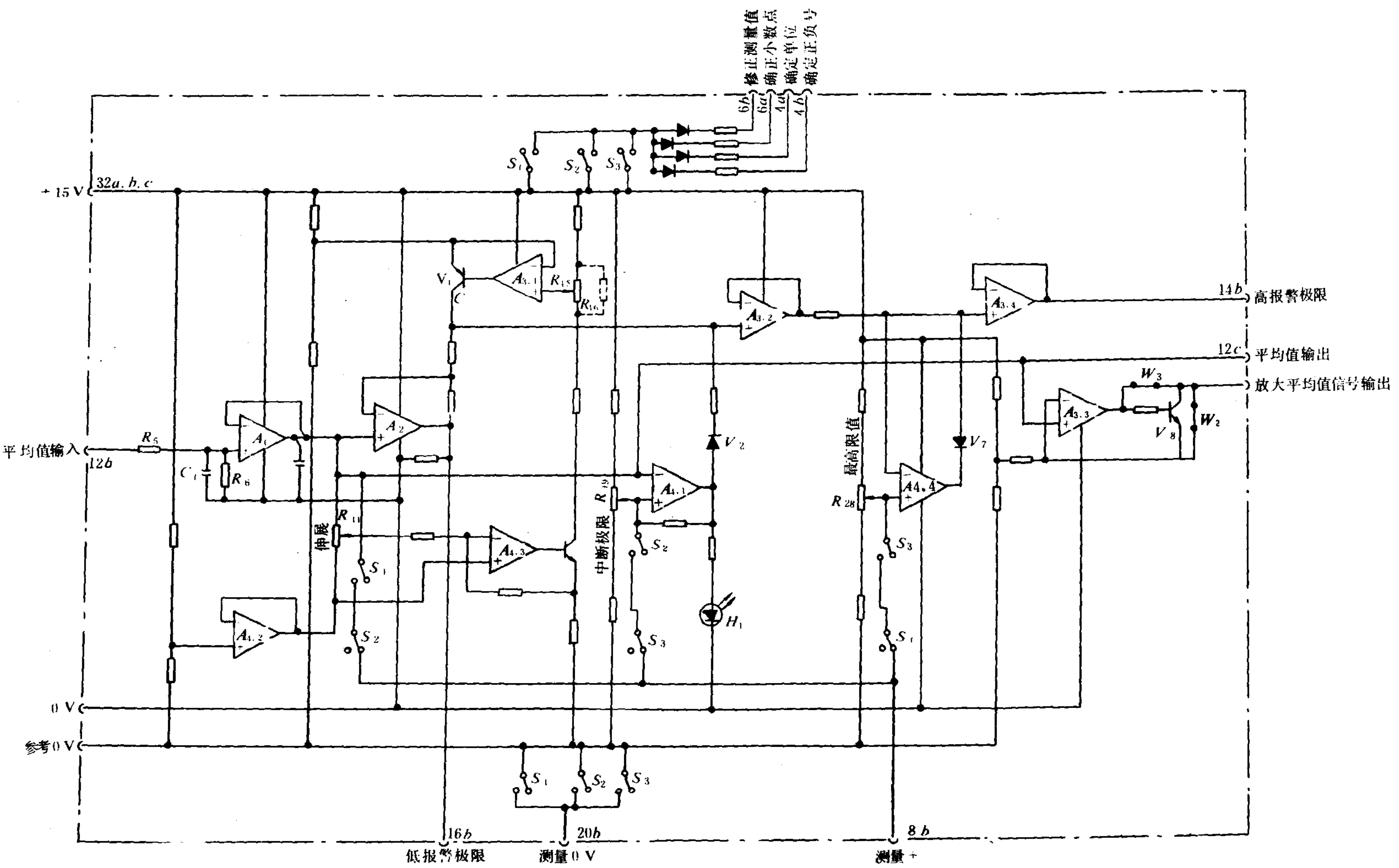


图 9.5.2-30 偏差高、低限发生单元电路

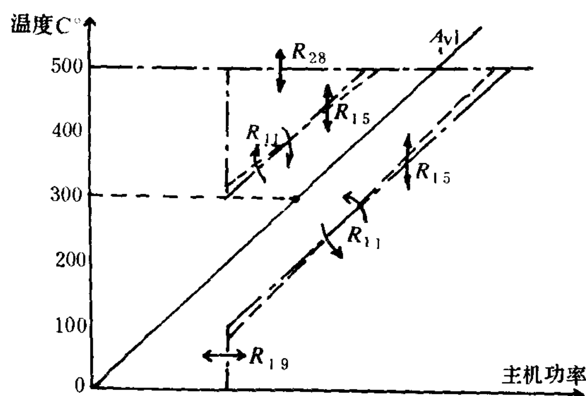


图 9.5.2—31 偏差报警和主机功率函数关系图

电路由10只运算放大器搭配而成。它们是电压跟随器的 A_1、A_2、$A_{4.2}$、$A_{3.2}$、$A_{3.4}$、$A_{4.4}$，同相型功率放大器的 $A_{3.1}$、$A_{3.3}$，反相型功率放大器的 $A_{4.3}$，迟滞比较器的 $A_{4.1}$。

1)功能

按偏差报警和主机功率的函数关系(图 9.5.2—31)完成下列功能：

(1)接受平均值(A_v)，经电路处理后产生高报警极限($A_v+\alpha$)和低报警极限($A_v-\alpha$)；

(2)调整 R_{28}，可改变最高极限的整定；

(3)调整 R_{19}，可改变休止偏差报警的整定；

(4)调整 R_{11}，可改变偏差报警的曲线斜率，当主机负荷增大时，偏差值 α 逐渐减小；

(5)调整 R_{15}，可改变 α 的大小。

2)电路工作原理

各缸排气温度经电阻电路产生的平均值 A_v 由 12b 端子引入，从 14b 端子输出 $A_v+\alpha$ 高报警极限值。16b 端子输出 $A_v-\alpha$ 低报警极限植。

当平均温度低于 200℃时，比较器 $A_{4.1}$翻转，逐使 $A_{4.1}$输出高电平，点亮 H_1 灯，同时二极管 V_2 导通，导致 $A_{3.2}$输出电平抬高，从此取消了偏差报警；当平均温度高于 500℃时，$A_{4.4}$输出低电平，$A_{3.4}$输出端被箝在接近 $A_{4.4}$输出端的电平，因而偏差报警总是处于报警状态。

3)操作

(1)揿下 S_1，显示平均温度值；

(2)揿下 S_2，显示取消偏差报警极限值；

(3)揿下 S_3，显示最高报警极限值。

3.2.1.5 分组报警单元(KMG—200)结构如图 9.5.2—32 所示，它由 4 组相同的电路构成。电路比较简单，每组由 1 对继电器触点输出

若无报警情况发生，输出继电器处于失电状态，指示灯熄灭。一旦报警信号发生时，以组 1 为例，比较器 $A_{1.2}$翻转，且输出低电平信号，使管 V_{107}截止；但外界接入的报警信号又经 C_{103}微分使 V_{106}复合管保持短暂导通，延迟一瞬间后又恢复截止。从此 V_{109}管导通，逐使继电器 K_{101}通电，对应触点动作输出信号，H_{101}指示灯点亮。

3.2.1.6 公用控制单元(KMK—200)结构如图 9.5.2—33 所示。

1)闪光源 $A_{1.1}$在 R_4C_1 充放电作用下，产生自激振荡，经 C_2 微分，V_2、V_3、V_4 功率输出闪光信号(端子 14a)。

2)闪光源故障监视 若某种原因使闪光源发生故障，如停振导致闪光信号消失，从此 $A_{1.4}$ 比较器翻转输出高电平，由端子 18a 送出闪光故障信号。

3)电源故障 电源正常时，H_1 指示灯亮，继电器 K_1 通电，若某种原因+15V 电源发生故障而断电，则 K_1 失电，外接交流或直流电源由 K_1 继电器触点自动投入工作，且点亮 H_3 指示灯。

组1输出

组2输出

组3输出

组4输出

-15V

组1 22b A，组5 26b B 22c C

组2 22a A，组6 26a B 24 C

消警应答 16a

试验 12a

封锁试验 20c

组3 24b，组7 28b 26c

组4 24a，组8 28a 28c

图 9.5.2—32 分组报警单元电路

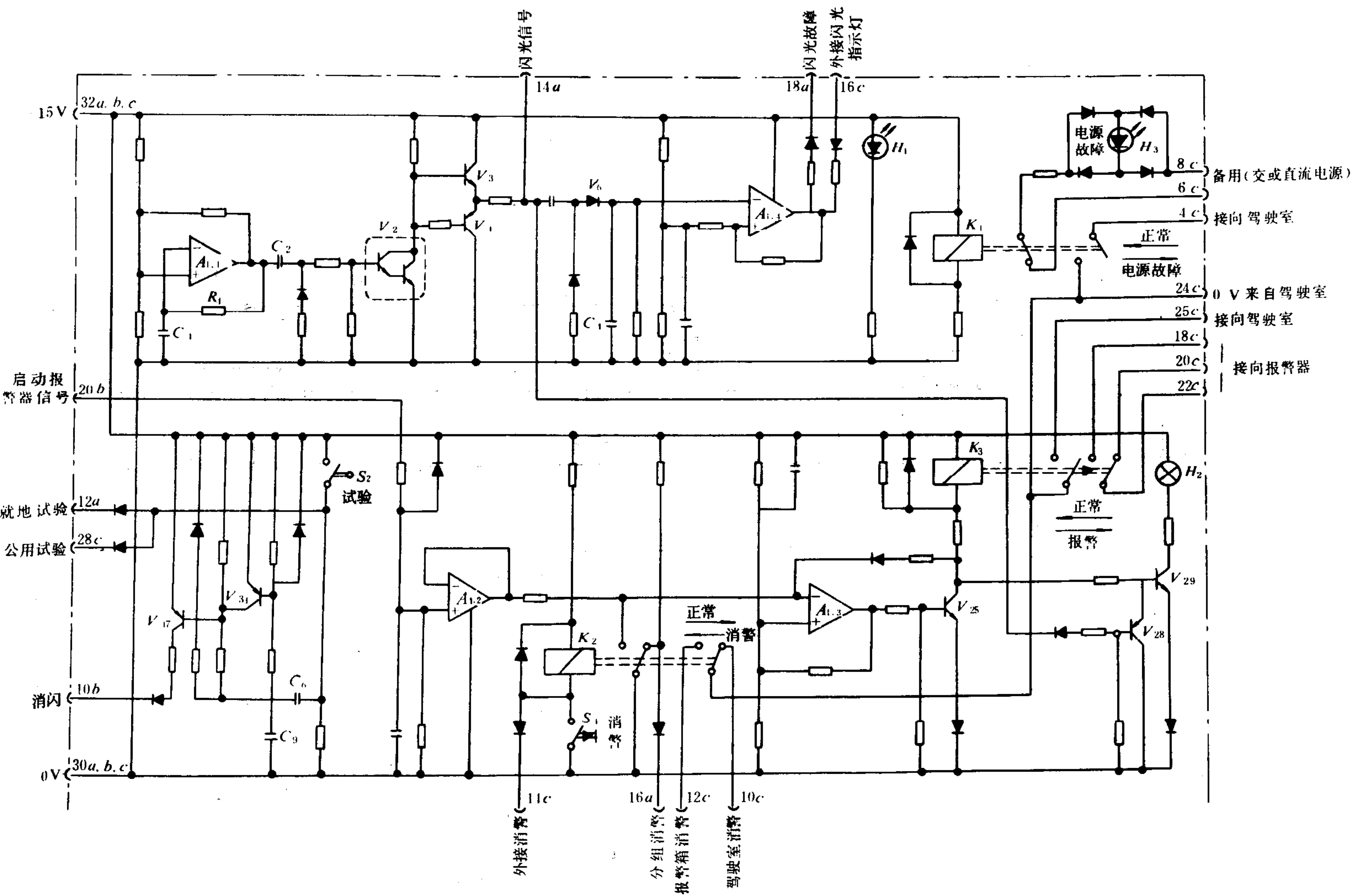


图 9.5.2-55 公用控制单元电路

图 9.5.2-34 系统故障监视单元电路

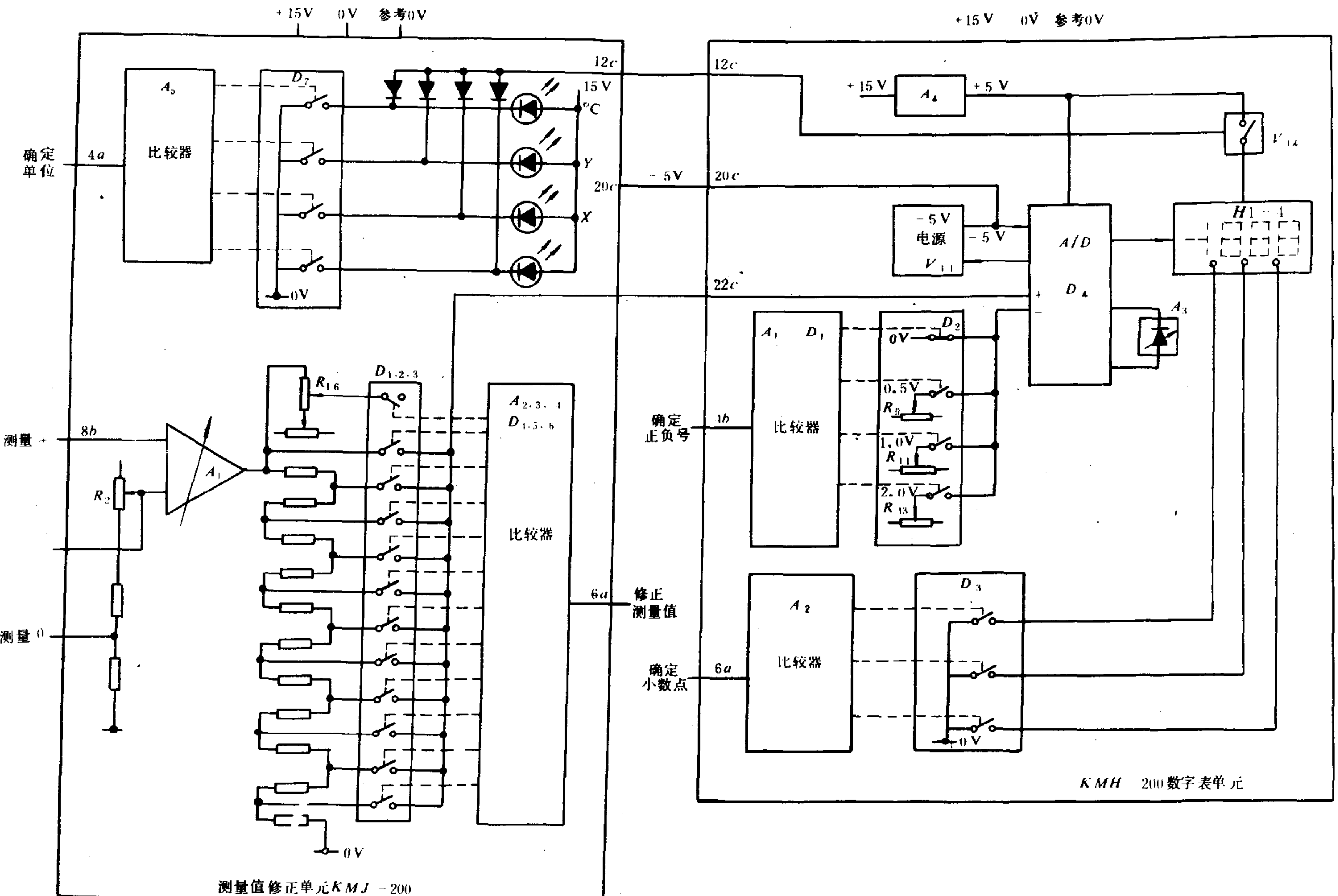


图 9.5.2—35 数字显示单元电路

4)公用报警　若某监视单元发生报警情况，$A_{1.2}$接收到高电平信号，使 $A_{1.3}$翻转输出低电平，V_{25}管截止，继电器 K_3 失电，H_2 指示灯发出闪光信号。K_1 触点的动作通过端子 24C、25C、18C、20C、和 22C 输出。揿下消警开关 S_1，K_2 通电，V_{25}管导通，K_3 通电 H_2 灯停闪，同时 K_2 的触点动作通过端子 16a、12c、和 10c、送出分组消警、延伸报警消警信号。

5)功能试验　反时针旋转 S_2 钥匙，+15V 电平信号通过端子 12a 或 28c 送到各监视单元，实现报警试验功能，然后顺时针旋转 S_2，在 C_6 微分的作用下，V_{17}管导通的一瞬间，通过端子 10b 送出消闪信号，使各监视单元实现消闪功能。

3.2.1.7　系统故障监视单元(KME－200)结构如图 9.5.2—34 所示。用来检测传感元件的短路和断路故障。

1)传感元件发生断路故障时，端子 18a 引入的电平抬高，使 $A_{1.1}$比较器翻转输出低电平，V_3 管导通，V_7 管截止，K_1 继电器失电，通过端子 18c、20c、22c 输出传感元件断路故障信号，同时点亮 H_1 指示灯。

2)传感元件发生短路故障时，端子 18b 引入的电平被拉低，使 $A_{1.4}$比较器翻转输出低电平，V_4 管导通，V_7 管截止，K_1 继电器失电，通过端子 18c、20c、22c 输出传感元件断路故障信号，同时点亮 H_1 指示灯。

3)揿下试验开关 S_1，K_2 继电器通电，通过端子 24c、12a 输出闭锁信号和试验信号。

3.2.1.8　数字显示单元(KMB－200)由测量值修正单元板(KMJ－200)和数字表单元板(KMH200)组成，如图 9.5.2—35 所示。

读数显示：$3\frac{1}{2}$位数码，红色发光二极管小数点；

单位显示：4 个红色发光二极管，可测 4 种单位；

小数点和符号识别：1.5～3.5V；

单位识别：1.5～4.5V；

测量信号修正范围：1.5～11.5V；

输出信号：1～5V。

当揿下通道单元的测量按钮时，有 6 个信号送到数字显示单元，其中有两个测量信号接到 A_1 放大器进行放大，接向 A/D 转换器，并受到修正测量值信号的控制；确定单位信号经 A_5 比较器，通过 D_7 开关电路，把单位确定下来；确定正、负号的信号由端子 4b 引入；确定小数点信号从端子 6a 输入。

3.2.1.9　模拟显示表头单元(KMB－210)主要由 A_1 比例放大器组成，如图 9.5.2—36 所示。

1～5V 的电压信号由端子 8b 引入，接向 A_1 同相输入端，比例放大后，转换为 0～1mA 的电流流经表头线圈，可方便地从表头刻度上读出被测模拟量的大小

3.3　维修保养

3.3.1　定期保养

1)日检

(1)检查全部通道单元上的各种测量读数；

(2)检查所有通道单元上的各报警极限值。

2)周检通过“试验”开关对系统进行检查

(1)将钥匙开关逆时针转动，观察通道单元的全部发光二极管是否闪光；

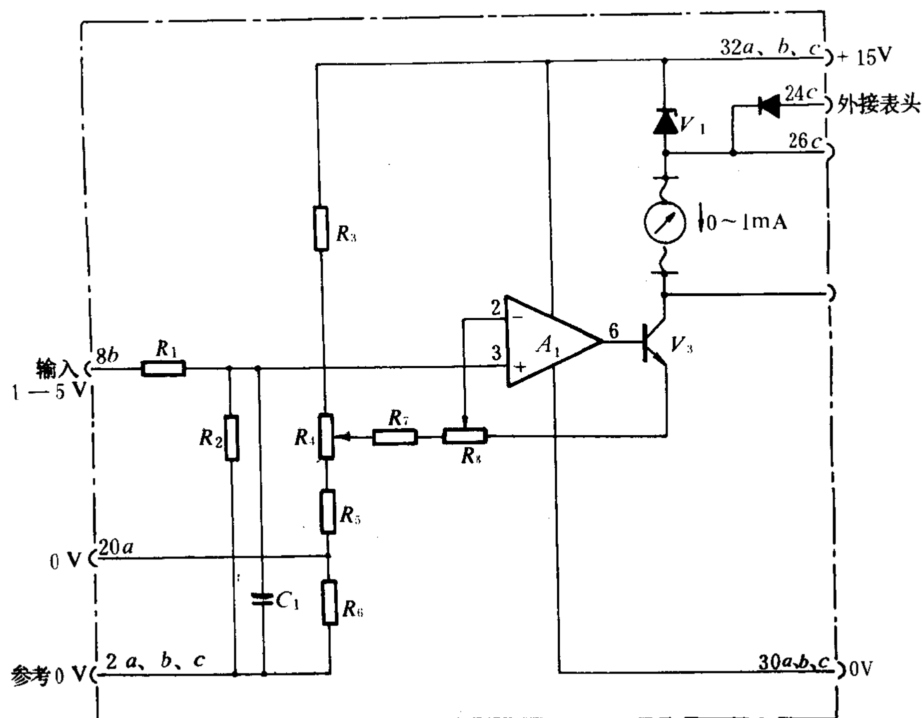


图 9.5.2—36 模拟显示表头单元电路

(2)对所有通道单元进行消闪应答操作；

(3)将钥匙开关旋回到原处，发光二极管应全部熄灭。3)半年检

(1)检查具有高/低报警极限的模拟量通道单元。

①分别将每个通道单元的传感器连接线短路，检查故障指示灯是否亮，故障继电器是否动作；

②在接线排上把传感器接线人为地断开一根，以开路来检查断线报警，检查故障指示灯是否亮，故障继电器是否动作；

③慢慢地转动电位器来检查每个通道单元的报警功能，直到给出报警为止。检查显示给出的报警值和实际值是否相同。

(2)检查排气温度偏差报警通道单元。

传感器短路、开路检查同(1)①、②。偏差报警检查如下：

①将每个通道的温度调节的电位器逆时针旋转，直到发出报警，检查显示温度值是否超越了偏差报警极限值，然后进行应答操作。顺时针旋转电位器，直到再次发出报警，读出此时显示温度值，并且在应答之前与平均值比较。最后，将电位器旋回到原始值 。

②在主机正常运行情况下，检查每个通道上的显示温度，如果发现有一个通道较其它通道的偏差为大，但情况又属正常的，可参照说明书根据要求另行调整。

(3)检查开关量报警通道单元

断开传感器接线，进行报警应答操作，观察报警灯是否切换成常亮，再将传感器的接线连接好，检查报警灯是否处于熄灭状态。

3.3.2 系统故障及排除方法

1)故障现象：系统公用报警控制单元板上的“接通电源”指示灯 H_1 熄灭，而黄色“电源故障”指示灯 H_3 点亮，说明有电源故障。

排除方法：

(1)对每块插件板进行测试，检查是整个系统电源故障，还是公用报警控制单元故障；

(2)检查公用控制单元上的保险丝；

(3)检查主电缆的插头的连接情况；

(4)检查稳压电源单元 MXS－4 的 24V 输入和＋15V 输出；

(5)如果对系统的其它插件的局部试验毫无反应，则说明供给整个系统的电源有故障；

(6)检查系统的 24V 直流电源保险丝是否烧断；

(7)如果 24V 直流电源来自不带蓄电池的整流器，则应检查主保险丝以及在整流器上的 24V 直流保险丝；

(8)若 24V 直流电源来自蓄电池，检查蓄电池本身及其连线情况；

(9)检查引向整流器的主电源；

(10)检查 24V 直流电源是否有短路的可能性。

2)故障现象：系统故障监视单元有报警信号显示，但经过“试验”操作，发现有一个监视箱没有任何反应。

排除方法：这个无反应的监视箱电源有故障。检查引进的 24V 直流电源以及主电缆的插头连接情况。

3)故障现象：有“系统故障”报警信号显示，但每个监视箱上的“故障报警”灯不亮，而“试验”功能是正常的。

排除方法：将“系统故障”单元的输入端 18a 和 18b 短路，如果仍有报警，则说明系统故障监视单元有故障。

4)故障现象：“试验”操作时，所有通道单元的报警显示灯均不亮，或均不闪光。

排除方法：更换“公用控制单元”一试。若更换后并未解决问题，则检查连接线。

5)故障现象：某监视箱“故障报警”灯亮，但“试验”功能正常。这是由于模拟量通道单元或开关量通道单元的传感元件出了毛病。

排除方法：

(1)依次检查所有通道单元的测量读数，直到查出某通道单元的读数超出正常范围为止，检查传感器的连线，如果连线正常，则更换传感元件；若仍有故障报警，则更换该通道单元。

(2)若所有模拟量通道单元的读数均正常，则依次拔出每个开关量通道单元；假若“故障报警”消失，则说明该通道单元有毛病，可换上备用插板一试。

(3)如果没有发现任何传感器或通道单元有故障，则更换系统故障监视单元。

6)故障现象：断开或短接某一模拟量传感器，系统故障监视单元的故障报警灯未点亮。

排除方法：更换系统故障监视单元。

7)故障现象：与 GA 型热电偶放大器相连的通道单元，显示值等于环境温度。

排除方法：热电偶与放大器之间的补偿电缆线短路，排除短路重新连接即可。

8)故障现象：与 GA 型热电偶放大器相连的通道单元，显示的温度值高于放大器输出正常范围，且“系统故障”报警灯亮。

排除方法：热电偶与放大器之间的补偿电缆线断路，只需重新连接即可。

9)故障现象：某一模拟量通道单元发生报警，而报警灯未闪光，但有分组报警信号和警报声响。

排除方法：报警灯坏，更换灯。

10)故障现象:当开关量通道单元的输入触点断开时,无报警信号发生。

排除方法:更换开关量通道单元。

11)故障现象:某监视箱的所有模拟量通道单元,均无显示数值 。

排除方法:检查稳压器送来的+15V 电源,如果正常,则更换显示器单元。

12)故障现象,某通道单元报警,但相应的分组报警单元无信号,而该组中的其它通道单元与分组报警有正常联系。

排除方法:检查通道单元与分组报警单元之间的连线,若连线正确无误,则更换该通道单元,或更换分组报警单元。

13)故障现象:通道单元有报警,但由公用控制单元控制的警报器无声响。

排除方法:检查连接线,如若正常,则更换公用控制单元。

14)故障现象:连接到某分组报警单元的所有通道单元,均可分别报警,但分组报警单元始终无报警信号。

排除方法:检查到分组报警单元的连线,若正常,则更换分组报警单元。

第3章　微机集中监视系统

1　CJBW－3型舰船微机监测调控装置

1.1　简　　介

CJBW－3型舰船微机监测调控装置是交通部上海船舶运输科学研究所，按照中国船级社(ZC)机舱自动化规范和海军舰艇规范的有关要求设计研制，取得ZC认可，满足集控机舱及无人值班机舱要求的产品。

本装置采用了新型的CX－88耐恶劣环境条件的16位微型计算机作基本控制器，采用全自动编程语言MECAL，可方便地使用中文CRT(荧光屏)及数码管显示参数，同时本装置又采用中文打印记录，包括故障打印和定时记录。

为了使机舱自动化设备配置合理和经济，本装置设有主机应急控制及动力装置辅助控制，可以自动调节油、水温度及自动启停泵和风机等辅助设备。当某些参数达到危险极限时，自动发出主机应急降速及应急停车信号。

1.2　主要性能指标

1)监测点容量：模拟量与开关量总和256点，可扩至1024点。

2)测量参数显示方式：

①中文CRT显示；

②公用8只长寿命数码管显示；

③独立的32只电表作参数单独显示；

④报警灯显示。

3)测量精度：在不计传感器精度的情况下：

①8位A/D时为满量程的±1%；

②12位A/D时为满量程的±0.5%。

4)测量速度：平均每秒测量50个点。

5)中文打印记录方式：

①故障打印记录；

②测量参数报表打印记录。

6)声光报警方式：

①参数越限报警；

②主机气缸排气温度不均衡报警。

7)控制方式：

①二位式主机应急降速及应急停车；电动机自行启停(泵及风机等)；

②调节PID自动调节，用于主机淡水及滑油温度、燃油粘度等自动调节。

8)报警延时：0.5～45s，可任意整定。

9)报警点退出功能:任意排列分六组,由 6 只开关分组退出;另提供 8 组自动退出软开关。

10)电源:主电源 AC220V±30%约 250VA;备用电源 DC24V+30%,-20%,约 10A。

11)环境条件:满足中国船级社(ZC)规范要求。

12)工作方式:长期连续工作。

13)传感器配套:可以使用多种型号,建议压力传感器选用感应式长寿命型;温度采用铜电阻、铂电阻及热电偶,但传感器必须使用绝缘式,禁止使用接壳式。

14)抗干扰能力达到国际电工委员会 IEC 的“电磁兼容”的要求。

1.3 功能介绍

1)遥测　按照使用说明书上的操作规定和或直接根据 CRT 上菜单式提示,通过人机对话,可以在中文 CRT 上实现对所有测点参数的显示,同时亦可根据使用者的要求,在线完成编程或更改。当某一参数超限时,该点的内容马上送入报警 CRT 上进行显示并发出报警声响,报警 CRT 以显示测点号闪光为报警标志。

2)打印记录　通过在线编程设定,参数报表打印机可定时打印、记录全部测量参数。如果发生报警或报警消失时,将自动启动故障打印机进行故障打印。利用使用说明书所示的键盘操作,亦能进行手动打印记录。

3)修改　按使用说明书的操作方法或 CRT 上的提示,可以修改报警上下限及校准延时时间。当修改某点上下限使其产生越限报警时,声、光报警器均能作出相应的动作。

4)报警　当被测参数超限时或主机某缸排气温度与平均值偏差过大时,均能发出声光报警,相应通道参数在报警 CRT 显示报警状态或报警灯闪光,并开启报警声响器,发出声光报警。此时,即使报警信号消失,声光报警仍然存在,等待值班人员的应答处理,也即有报警记忆功能。在测试时可利用修改上下限的方法作人为报警试验。还有点亮专用指示灯及驱动继电器动作的功能。

5)报警应答　报警应答功能通过使用按钮来实现。

①“消声”按钮:按此按钮后,报警声响停止,但报警 CRT 或报警灯仍然闪光,供值班人员分析故障,并处理;

②“消声定光”按钮:按此按钮后,报警声响停止。报警灯由闪光变成平光。如果此时报警信号还存在,报警 CRT 的报警继续有效而报警灯平光常亮;如果此时报警信号已消失,报警 CRT 上该点撤消,报警灯熄灭。无论是报警期间还是应答期间,新的报警信号随时可以加入。

6)试灯　如果想人为地检查一下微电脑工作是否正常和报警灯是否有损坏,可以按一下“试灯”按钮,如果工作正常,则所有的报警灯同时亮 3s。如果连续压下“试灯”按钮,则报警灯全部点亮,直至放掉压下的按钮。当微电脑有故障时,报警灯不亮或不正常。

7)自检　装置有自检功能,在运行中,如果发生传感器和相应的接线电缆开路故障,或者电子装置内部故障,则相应的报警灯亮或电子装置故障灯亮,同时发出报警声响。

8)报警点闭锁　在船舶停泊或其它情况下,需要闭锁某些报警点,可拨动闭锁开关,使之退出工作。装置中最多可设 6 只开关,只要事先通过编程设定好分组方法,可闭锁任一组报警点以退出工作,亦可用自动闭锁(例如与车钟连锁)可以使报警点自动退出。

9)延伸报警　装置可以任意将所有的报警点分成若干组送到分站报警装置报警,当分站报警应答后机舱无人处理时,过 3min 能作出重复报警。

10)淡水及滑油温度调节　装置设有 10 路互为独立的 PID 调节器,每路输出 0～10mA

(或4～20mA)，通过电动比例操作器带动蝶阀，也可以带动气动执行机构，达到稳定淡水及滑油温度的目的。

11)燃油粘度自动调节　PID输出0～10mA直接控制加热蒸汽阀的开度，将燃油的粘度(温度)自动调节到规定的值。

12)电动机自动启停　当某些参数超过设定值时，本装置对应的继电器动作，用继电器触头代替按钮，自动启停电动机(泵、风机等)。用2只断电器分别代替启动和停止按钮，控制一台电动机。

1.4 操　　作

1.4.1 启动

操作在键盘上进行，键盘显示面板布置见图9.5.3—1。

在装置全部安装完毕，并检查无误后，可以按照下述方法启动电源及操作键盘。

1)打开键盘板上的电源总开关，经数秒钟后，微机完成初始化程序进入正常的工作程序，此时数码管及CRT显示上次掉电前所记忆的内容，表示启动正常。

2)如果此时出现少量报警灯闪光报警，并伴有报警铃响，表示少部分测量参数点处于越限状态，可按动"消声定光"按钮。此时，报警铃停止，报警灯由闪光变为平光。

3)按一下"试灯"按钮，所有的报警灯均亮，松手后熄灭(原报警的点，灯还是亮着)，表示微机工作正常 。

4)安装好打印机纸，并合上中文打印机电源开关，此时打印机指示灯亮。

5)刚开机时，电子钟(年、月、日、时、分、秒)处于混乱状态，需校准。校准方法如下：先用键盘输入6位密码，再按下"校钟"键，这时数码管第一位显示"H"，就可以输入标准时间，例如"123505"，再次按下"时间"键，电子钟就从12点35分05秒开始走时，重复上述步骤，可以校准日期。修改日期及时间时，键盘上的"监控"和"修改"2个开关必须在合上状态，修改结束后恢复原状。

6)按下"日期"键，数码管就显示日期；按下"时间"键，数码管就显示时间。

1.4.2 CRT显示操作

1)测量参数的报警功能、故障打印记录及二次电表显示等功能是自动进行的，不需要人工去操作。

2)用CRT显示被测参数群。

当按下"CRT"键时，屏幕显示出"0～F"16页目录如下：

0　左主机排气温度

1　右主机排气温度

2　左主机增压器温度

3　右主机增压器温度

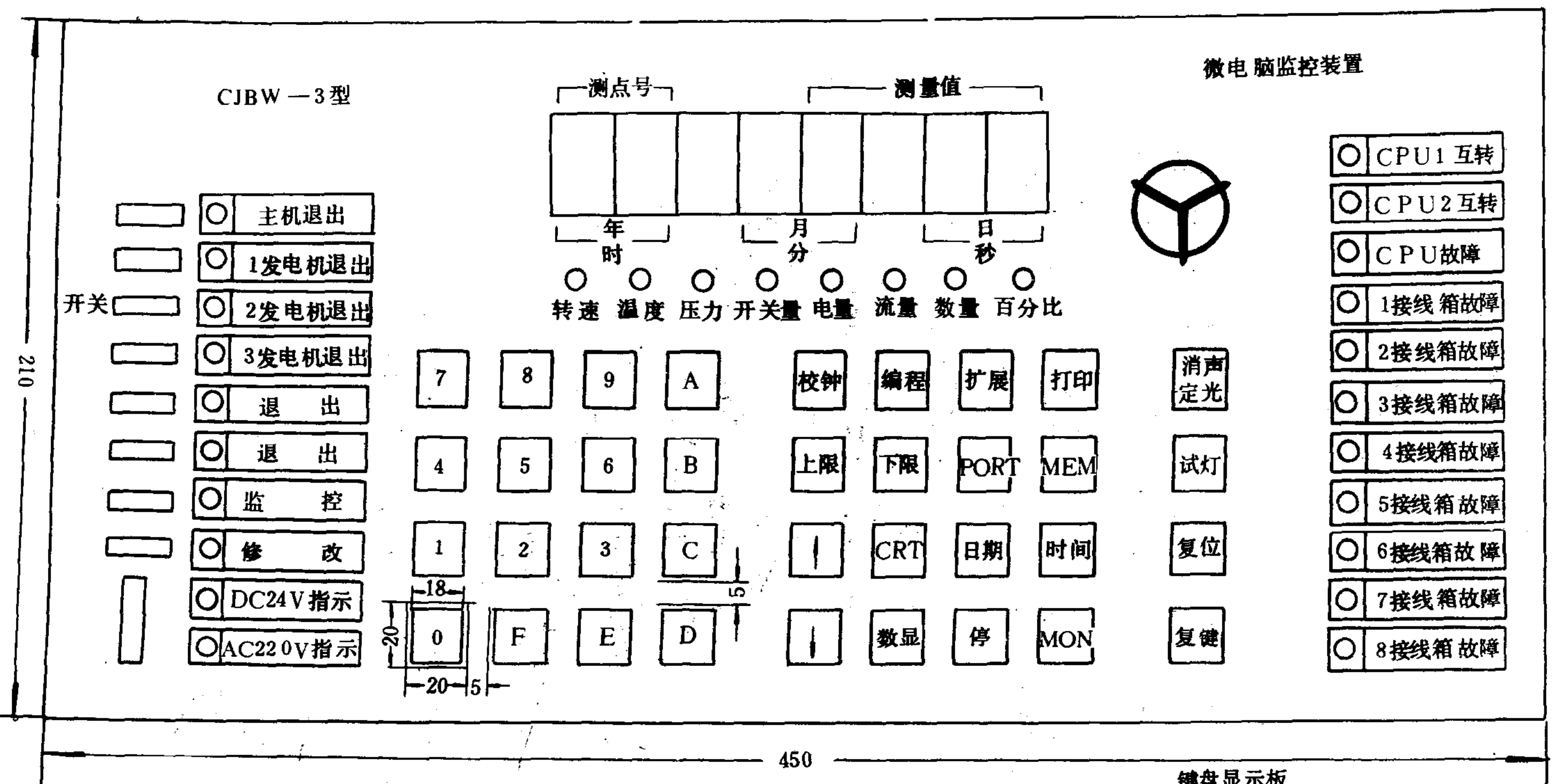
4　海水系统

5　滑油系统

6　淡水系统

7　启动操作空气

8　#1发电机



CJBW—3型
微电脑监控装置
测点号
测量值
年 时
月 分
日 秒
转速 温度 压力 开关量 电量 流量 数量 百分比
开关
主机退出
1发电机退出
2发电机退出
3发电机退出
退 出
退 出
监 控
修 改
DC24V指示
AC220V指示
7 8 9 A
4 5 6 B
1 2 3 C
0 F E D
校钟 编程 扩展 打印
上限 下限 PORT MEM
CRT 日期 时间
数显 停 MON
消声定光
试灯
复位
复键
CPU1互转
CPU2互转
CPU故障
1接线箱故障
2接线箱故障
3接线箱故障
4接线箱故障
5接线箱故障
6接线箱故障
7接线箱故障
8接线箱故障
18
20
5
210
450
键盘显示板

图 9.5.3 1 键盘显示板

9　#2发电机

A　#3发电机

B　应急发电机

C　冷藏机

D　舵机

E　压载系统

F　报警点汇集

操作者可按照自己观测需要，按下目录0～F中的任一个相应的键，屏幕立即显示出所需要的测量数据组如下：

0 0　主机　#1缸排气温度358℃上限480下限250

0 1　主机　#2缸排气温度320℃上限480下限250

0 2　主机　#3缸排气温度375℃上限480下限250

0 3　主机　#4缸排气温度360℃上限480下限250

0 4　主机　#5缸排气温度296℃上限480下限250

0 5　主机　#6缸排气温度335℃上限480下限250

0 6　主机　#7缸排气温度342℃上限480下限250

0 7　主机　#8缸排气温度295℃上限480下限250

2 0　主机　#9缸排气温度264℃上限480下限250

2 1　主机　#10缸排气温度315℃上限480下限250

2 2　主机　#1 1缸排气温度386℃上限480下限250

2 3　主机　#1 2缸排气温度278℃上限480下限250

2 4　主机　#1 3缸排气温度239℃上限480下限250

2 5　主机　#1 4缸排气温度302℃上限480下限250

2 6　主机　#1 5缸排气温度250℃上限480下限250

2 7　主机　#1 6缸排气温度228℃上限480下限250

1.4.3　数码管显示操作

1)测量参数显示　例如测量“10”点的参数，按下面操作：

监控	1	0	数显

此时，数码管左排立即显示出测点号和测量值，右排显示出该点的报警上下限设定值，供使用者分析该点的设备是否正常工作。↓和↑键可以连续按动，顺序显示前后点的测量值。

2)参数报警上下限显示　在上述参数显示出来后再按下“上限”或“下限”键，数码管上就显示出该测量点的上限或下限报警值。

1.4.4　打印参数表格

参数表格是自动定时打印的，打印定时时间可以任意设定。在自动打印时间以外，如人为要打印时，仅需按下“打印”键，就能起动打印机打印，如要打印中途停止，同时按下“复键”和“停”二个键即可。

1.5 系统硬件

系统硬件结构见图 9.5.3—2 各部分硬件分别介绍如下：

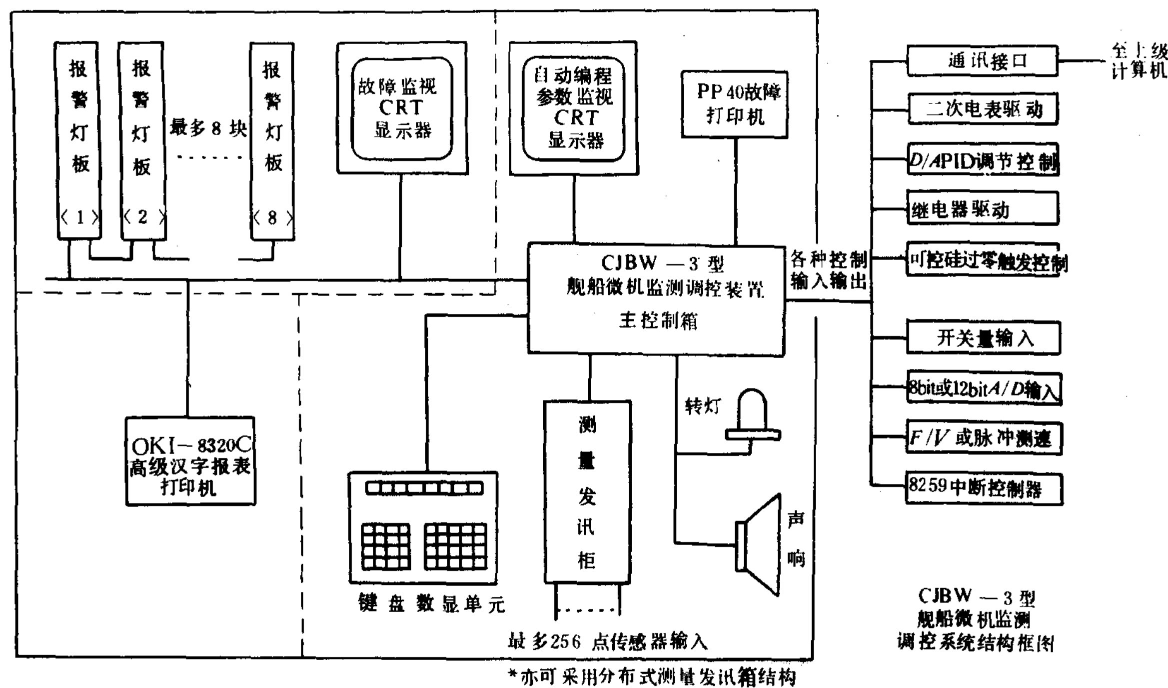


图 9.5.3—2 CJBW—3 型硬件结构

1.5.1 控制箱

控制箱由CX—88舰船微机系列板中的若干块印刷板通过CX—88的37芯专用总线连接组成，其特点如下：

1)微机结构模块化，按功能分成各种小印刷电路板，由CX—88专用总线相互连接，维修迅速方便，可维性大大提高。

2)大规模集成电路均按舰船要求选择，一般选用－40°～＋85℃或－55～＋125℃等级的集成块，保证恶劣环境条件下工作可靠性。

3)采用尺寸小而加厚的印刷板结构，并采用耐5g或10g振动的接插件，从而使微机能工作在强烈振动的场合。

4)硬件和软件采取了六项完善的抗干扰措旋：线路光电耦合、电源多层隔离、减少线路阻抗、加强驱动能力、自纠错的容错技术和自动复位。

5)本装置的CPU及一些关键电路采用双套冗余设计，互为备用，互相无瞬断转换。

控制箱的主要功能是用选通的办法来测量所有传感器的参数值(即高速扫描测量)，存入存储器供显示打印，并进行处理，当参数越限或主机气缸中燃烧不良时，均能发出声光报警，报警分三级：第一级为普通报警，只作招呼值班人员处理用；第二级除了报警外，有继电器触点输出，用于控制主机自动降速；第三级除报警外，还能控制主机自动停车。

本控制箱经过扩展后，还能通过继电器板，自动控制电动机的启停。

对于主机排气温度的监视，除了一般越限报警外，还需进行平均温度偏差报警，这样才能在主机某缸燃烧不良时及时发出报警，其处理的原理如图 9.5.3—3 所示。

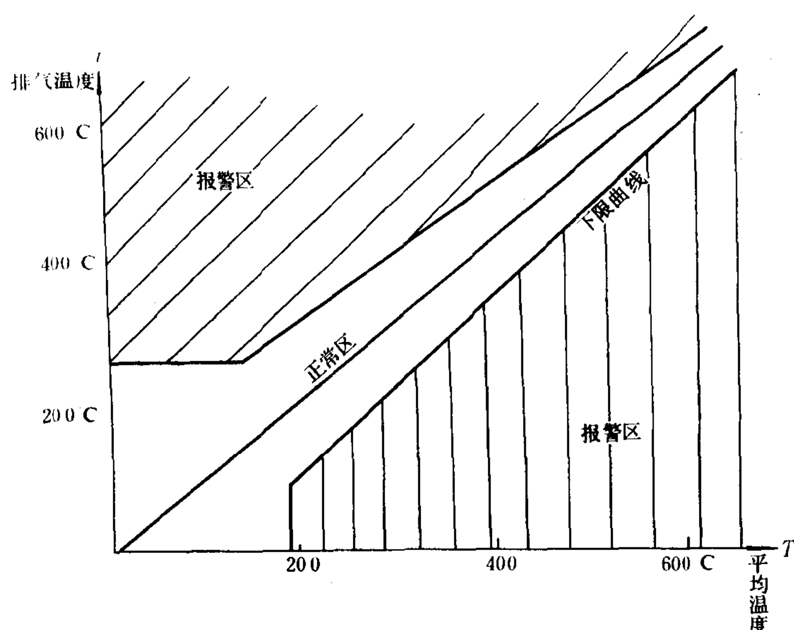


图 9.5.3 3 主机排气温度平均值偏差报警曲线

报警上限曲线方程为：Y＝aX＋b

报警下限曲线方程为：Y＝cX－d

对于中速柴油机：a＝0.62 b＝212 c＝1.42 d＝228

对于低速柴油机：a＝0.9 b＝100 c＝1.28 d＝172

图中上限曲线当平均温度 T＜150℃时上限恒为 250℃；下限曲线当平均温度 T＜200℃时，下限恒为 0℃。

由于主机新出厂时，排气温度存在固有误差，为了提高报警精度，可以由用户提供固有误差，修正报警上下限，这称为"初始校正"。

对于主机滑油压力的报警下限的设定可按主机转速的大小自动进行修正。

1.5.2 CX－88 微机主要印刷板及其功能介绍

1）P61 8088CPU、56KB 存储器及其辅助电路 CPU 采用双套冗余设计，在主控制箱内插入 2 块 P61 板。2 个微处理器各自独立，并带有各自的时钟发生器及辅助电路，输入输出总线通过三态驱动器相互并联。正常工作时只有一套微机工作。另一套热备用，故障时二套相互无瞬间转换。P61 板上还装有 56KB×8bit 存储器。放入固化的一套 MECAL－3 自编程实时监测调控软件包及各种数据库。

2）P94 系统监视、双打印及时钟极 系统监视的主要功能是监视整个微机是否有故障，程序有否被干扰乱。一旦出现故障或混乱，系统监视器立即发出信号控制 CPU 极转换同时发出声光报警。P94 板内部也采用冗余设计，除此之外板上还设有 2 个标准打印机接口，分别驱动报表打印机及故障打印机。时钟产生打印和显示的标准时钟信号。以 2·5ms 为最小基准的微机工作节拍中断均由此板产生。

3）P106 64KB×8bit 电池保存存储器板 板上装有用镍铬电池供电的 64KB×8bit 读写 RAM 存储器，供用户程序用，在计算机电源断开以后，RAM 存储器里的用户程序及数据不会丢失，也可直接插 EPROM。

4)P126　120KB×8bit EEPROM 存储器板　用户通过 CRT 编程送入的数据全部存于此板，中央处理器经常采集此板内用户的数据要求，自动选 择用户要求的程序工作，并可以进行在线编程或修改，本板可插存储器 120KB×8bit。

5)P121　2 路脉冲测速板　此板能对转速脉冲直接进行计数及锁存，最大计数值为 4096 个脉冲，并能根据用户要求任意设定所需计数周期，同时具有对正反转速的识别功能。

6)可控硅过零触发控制单元　此单元采用三重隔离方案，用于对可控硅实现过零触发控制的功能，当同 P111 板配合，将使控制距离很远而不致误触发，此时该单元安装于现场，每单元有 16 路控制输出，并可扩展。

7)P122　通用 EPROM 写入板　此板能实现对 2716/2732/2764/27128/27256/27512 各种 EPROM 芯片进行编程写入。

8)P92　双总线驱动板　由于外部设备与微机主控制箱的连线长，分布电容大，因此必须经总线驱动才能保证外部连接设备的正常工作。其中一路驱动键值数码显示单元，另一路驱动指示灯报警板。

9)P34　彩色中文 CRT 接口板　本机使用的彩色中西文 CRT 显示器通过此接口与微机相连。此板包括扫描及同步发生器显示 RAM、彩色信号发生器、中文字符库(一般可存放 256 个字符)等电路，色彩共有 7 种，测点号闪光作为报警提示，CRT 每屏可显示 8 行内容，每行可显示 16 个字符。

10)P44　彩色图符 CRT 接口板　此接口受中央处理器 CPU 直接控制，可以显示彩色图像信号。每帧图像占内存 4KB×8bit，另有 4KB×8bit 用于选择色彩及闪光。因而用户可根据自己的需要，编入各种图案。

11)P101　高分辨率绿色 CRT 显示接口板　功能同 P34 板，但接口板中存放了国家一级汉字库及 ASCII 码共 4096 个。CRT 每屏可显示 16 行内容，每行可显示 32 个字符。

12)P110　32 路隔离开关量输入板　此板有 32 路隔离的开关量输入线，每线最大输入电流 20mA，可供外接开关式传感器、按钮或作自动退出用。

13)P111　32 路隔离开关量输出板　此板有 32 路隔离的开关量输出线，每根线的驱动能力为 300mA，供传感器，继电器及远距离传送用。

14)P105　隔离 8 位 A/D 变换接口板　此板能将测量箱来的 4～20mA 模拟量信号转换成精度为 8 位的数字量，与该板内的 8 根输出线配合，则可选通多达 256 个传感器来的信号。除此之外，此板还设有 8 根输入线供自动退出或其它用。

15)P119　隔离 12 位 A/D 变换接口板　此板功能完全同 P105 板，采用 12 位的数字量，可用于对测量精度要求较高的使用场合。

16)P38　16 路 D/A 输出板　此板由单片微机控制 16 路 D/A 输出，每路输出 0～10mA，可带 16 只表头指示。本机可插 2 块 P38 板最多带 32 只表头

17)P120　3 路隔离 10 位 D/A 输出板　此板具有 3 路独立的 D/A，输出 0～10mA 或 4～20mA，亦可输出 0～10V。主要用于 PID 调节控制，适用于各种控制场合。

18)P118　3 路 F/V 测速板　此板将转速脉冲变换成电压量，再通过 A/D 接口实现对转速的数字显示及控制。同时具有对正反转速的识别功能。

19)P96　双路脉冲变压器式网络通讯板。

20)P54　+5V/10A、+12V/2A、−12V/0.5A 开关式稳压电源板。

CJBW−3 型作为集中监视报警用时，主控制箱选用 P61、P94、P126、P92、P101、P105、P54

共 7 个插件单元，就可组成全套集中监视系统，其它印刷板插件供功能扩展用。

1.5.3 测量发讯柜或箱

测量发讯柜（箱）是传感器探头的放大及变送单元，用微电脑控制，原理见图 9.5.3—4。

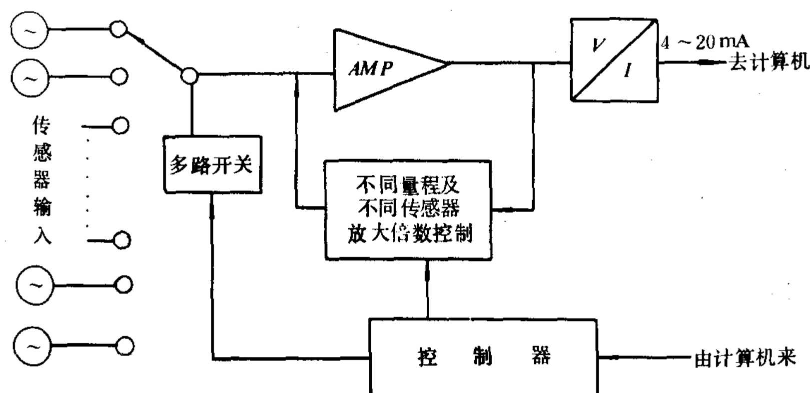


图 9.5.3—4 测量发讯箱原理图

传感器信号经多路开关送到放大器 AMP 及 V/I 变换器变为 4～20mA 的国际标准信号，送往计算机。

计算机可以控制此测量电路测量到任何传感器的信号值。经一系列“问答”过程，完成对所有测点的测量工作。同时包括中位值滤波、三判一滤波、指数升降滤波、冷端修正、非线性修正和环温总补偿等处理和修正。以得到准确的测量值。

测量板每块可接入 8 个测量点，可根据具体系统的大小确定测量板的数量。

1.5.4 打印显示等外围设备

1）故障打印机　故障记录采用 P40 型彩色打印机，当测量参数越限报警或故障排除时，打印机动作，记录故障及恢复状况。

2）参数报表打印机　参数报表记录采用 KI－8320C 型高级汉字打印机，定时地将整个系统监视的参数以表格的形式打印下来，可代替轮机日志。

3）自动编程或测量参数显示 CRT　供菜单式自动编程及显示监测系统中的故障状况。

4）报警灯板组件　报警灯板组件由驱动器及发光二极管指示灯组成，由总线驱动板带动。

5）键盘数码显示组件　组件中有按键 36 个，供编程及人机对话时操作。数码显示采用 8 只长寿命发光数码管。用来显示参数值及报警上下限，亦可用来显示年月日、时分秒等。还有一些自检指示灯、量纲指示灯、电源指示灯、退出开关及退出指示灯等。

6）逆变装置　在 24V 直流供电时，通过逆变装置变成交流再变压供电。2 种电源的转接对于直流输出端来讲是无瞬断的，即使频繁转接，亦不会产生电源干扰。

7）交流恒压器　采用 WAD－2 型交流恒压器以恒定交流输出电压。

1.6 全自动编程方法

本系统使用时不必编制用户程序，使用时只需要简单地回答 CRT 屏幕的一些提问，用户程序就自动编成。并固化于 EEPROM 中，除非再次进行编程操作来改变。

操作时首先将键盘板上“监控”和“修改”2 只开关开启（相应的 2 只指示灯亮），然后送入 6 位密码，密码可以由用户指定。例如送入如下密码：

1	2	3	4	5	6

在数码显示管上显示出6位密码，供操作者校对，在密码正确的情况下，按下“编程”键，这时屏幕上显示控制方式的目录如下，供用户选用：

①256点监测报警及上下限控制。

②256大步自动程序控制。

③自动定时控制。

④多路PID调节。

⑤自定义特殊调节控制。

⑥通讯协议。

⑦扩展联接。

按“停”键返回

对于集中监视系统仅用第一种控制方式。选择第一种方式即按下“1”键，这时屏幕显示4类编程选择如下：

256点监测报警及上下限控制

1. 起始步号

2. 查询

3. 初始化

4. 目录编制

按“停”键返回

这4种编程的含义，例如：

3. 初始化

即将机内EEPROM的内容全部擦除，并存入初始数据，等待写入新程序。由于此方式将破坏已编写好的正常程序，为了防止误操作，设立一个专用的6位密码，操作时，当按下“3”键初始化方式，屏幕显示：

请输入初始化密码：

这时如密码不正确，CRT立即退出本状态，等待再操作，如果密码正确，则当最后一位密码送入后立即进入初始化程序，清除EEPROM中全部旧程序。

4. 目录编制

前面介绍测量操作时已经介绍显示共有16页，每页最多16个参数，按下“CRT”键时，屏幕显示16页目录，每条目录由15个汉字组成名称，目录后面跟随最多16个测点显示号，在编制目录时先按下“4”键，屏幕上显示第“0”页目录，如下

目录编制

下列15个汉字请输入编码：

0 主机排气温度 000102030405071 91A1B2C　063D585A60

按“↑↓”键左右移动光标

按“编程”键继续，按“停”键使其返回

用“↑↓”键移动填写数码的位置，汉字采用“区位”检索码送入，4个十六进制码代表1个汉字，由用户任意填入目录名称，目录名称后排列16个测点显示号，可任意排列，由数码键填

入，如填入“FF”则表示这个显示点在屏幕上不显示。

每条目录编制完毕，按下“编程键”，将已编的目录送入机内，屏幕显示下一号目录，等待继续编排。

1. 起始步号：

本机按512步顺序高速循环工作，每步必须由用户简单地填入数码，每步测一个点和处理这个点的报警和控制，如用户仅用100个点，那么在101步的显示号中填入“FF”表示结束，程序自动从1～100步周期循环工作。

编程时，按下“1”键后

输入起始步号(1～512)：

按“编程”键继续

按“停”键使其返回

用户打入开始编制的步号，再按“编程”键，这时屏幕显示一个点的全部测量和处理的项目，由用户填入数码，如某栏不用可填“FF”或用“↑↓”键跳过，凡不填的栏，程序自动取消这个功能。例如：

步　　号　　　001

测点名称(8个汉字、输入字编码)：

主机#1排气温度

测点传感器号(0—FFH)：05 .

CRT显示号(0—FFH)：18

量程(输入4位十进制数及小数点)：4000

报警延时周期数(偶数无滤波常数)：05

三次仪表输出口号(0—FFH)：42

分站报警输出口号(输入三位数)：784

显示单位(输入下列各编号)：4

1. 开关量　2. RPM　3. MPa　4. ℃　5. $M^3$1/H　6. %　7. M^3　8. PPM

冷端补偿(0—3)0 非线性补偿(0—7)0 温度补偿(0—7)0

报警上下限数据(输入4位数0—4095)：上限3111，下限1233

控制上下限数据(输入4位数0—4095)：上限3566，下限1123

控制输出口号(前2位为口号第3位为位号)：上限354，下限354

报警退出口号(前2位为口号第3位为位号)：上限2F4，下限2F4

按“停”使其返回，按“↑↓”移动光标，按“编程”继续。

整个表格填好，则可按“编程”键，机内自动编制成程序，并显示下一步内容，供用户继续编第二步，用户需要测量处理多少点就填多少页，为了提高对一个测点响应速度，可以间隔多填，程序自动编完，存于EEPROM中，能长期保存。

2. 查询

为了现场布电缆接传感器方便，传感器号与CRT显示号不一定相同，因而可通过“2”键同CRT对话查得传感器号、显示号、程序步号的对应关系。查询时按下“2”键，屏幕显示：

查　　询

1. 由显示号—查询传感器号及步号

2. 由传感器号—查询显示号及步号

按“停”返回

如果再按“1”键，屏幕显示：

请输入查询显示号：

传感器号：

步号：

按“编程”键继续，按“停”键使其返回

这时送入显示号就查得该显示号相应的传感器号和程序步号，便于检查或修改编程。

1.7 安装和维护

1.7.1 安装

CJBW－3型有三种结构，其安装方法亦有差异：

1)一体化柜式结构：所有单元包括主微机箱、测量箱、CRT键盘数码显示组件等全部安装于一个立柜之中，传感器信号直接接入柜内。

2)集控台式结构：微机系统组件包括主微机箱、CRT打印机、键盘数码显示等分散安装在集控台上，而测点信号全部接到测量柜内，集控台与测量柜之间通过少量电缆相连。

3)集控台/测量箱结构：整个微机系统及其组件安装于机舱集控室控制台，测量发讯箱安装于机舱并经过环形线于集控台连接，每只测量箱最多可接32只传感器，安装方式见图9.5.3—5。

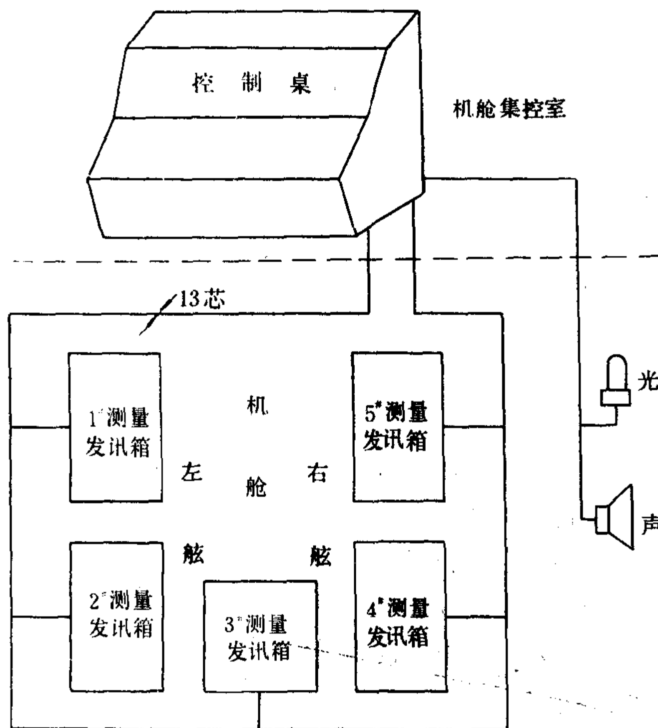


图9.5.3--5 控制桌与测量箱之间的连接图

1.7.2 微机系统故障诊断及检修

1)微机系统故障 检查主机箱内2块CPU板的2只发光二极管指示灯工作情况，如左右2只发光管不断交替闪光，则说明主机系统工作不正常，这时通常为P94板坏，也有可能P61CPV板坏，可通过换板解决。

2)系统能基本工作，但局部不正常：

(1)①操作键盘无效，所有数码管均没有显示，但有试灯、消声、定光功能；

②所有报警灯闪光，但消声定光试灯功能全无；

③报警灯全亮，喇叭不响，数码显示出“8”，3只单位指示灯全亮。

此时可能为40芯扁平插座松掉，或P92板坏，可通过插紧40芯插座或换板解决。

(2)①报警灯全部不亮或每隔16点亮一只，而且消不掉，则P92板坏通过换集成块或插板解决；

②局部报警指示灯失控，即试灯时间时不亮或连续 8 只常亮，则此报警灯板坏。

(3)CRT 图形不对，无图形、颜色不对或者上下不断滚动，P101 板坏，也可能显示器本身出现故障。

(4)报警时灯常亮不闪，巡回显示功能消失，时钟不走，但其它功能正常，P94 板坏。

(5)打印机不动作或工作混乱，P94 板坏或打印机内部故障。

(6)二次仪表指示不准或无指示，P38 板坏或电表本身坏。

3)系统功能正常，但测量数据不对

(1)在 CRT 或数码管上显示的所有测量参数全为最大或最小时，可能 P37 板或测量发讯板坏。

(2)当出现许多参数与实际情况不符时，并伴有乱报警且按消声定光按钮失灵时，可能 P105 板坏或测量发讯板坏。

一般情况下，故障往往来自测量箱，所以建议首先检查这一环节。具体方法可对测量箱进行逐个检查，直至查出毛病并排除。

1.7.3 维护

除了按一般的电气设备维护方法外，还将增加如下几项：

1)每个值班人员在交接班时，应检查各种指示灯是否正常，并按一下试灯按钮，所有的报警灯应亮。

2)每 6 个月作一次全功能试验。

3)每年对测量精度校准一次，具体方法如下：

①每只测量箱对每个种类的传感器选一点进行校准。

②对于测温传感器，可将传感器及标准温度计同时插入一热源来校准；对于压力传感器可将传感器和标准压力表同时放在压力校验器上，用手摇气泵产生压力来校准。

③每种传感器，在测量箱上均有 2 个电位器来修正。即采用二点统调法，规定在传感器满量程的 1/10 及 3/4 二点进行严格反复校准。

2 挪康微机集中监视系统

2.1 概　　述

DATACHIEF－III(DC－III)是挪威 NORCONTROL 公司产品。DC－Ⅲ集控台是以 ND－42 计算机为处理中心的船舶动力装置监控系统。机舱内各种设备及系统的工作参数以及部分设备的运转启停均通过 DC－Ⅲ实现监测与控制。

DC－Ⅲ 包括安全报警系统、电站系统及主机自动操纵系统三部分，它们的主要功能可见图 9.5.3—6 框图。

此外 DC－III 尚可装配主机运转趋势预报系统(DATATREND)

DATAPOWER，AUTOCHIEF－Ⅲ，以及 DATATREND 可查阅有关资料。在此，仅对 DATASAFE 讨论如下。

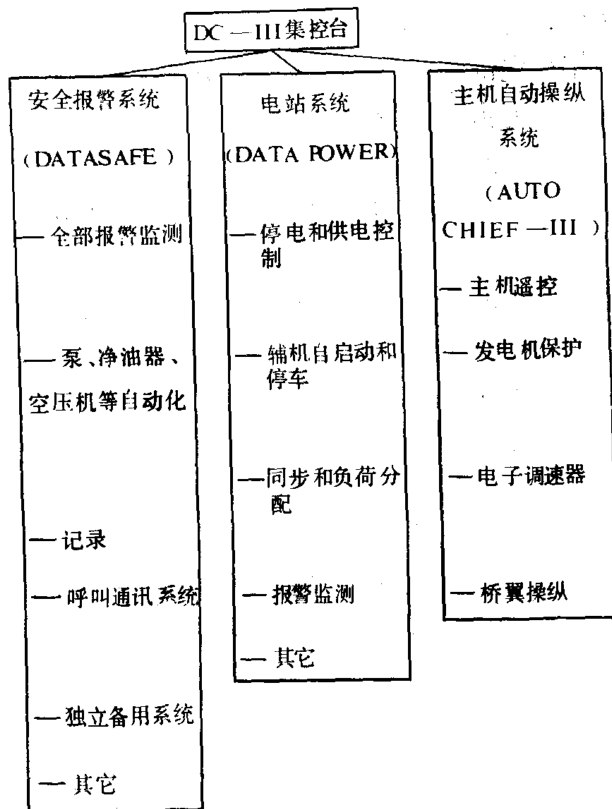


图 9.5.3—6 DC—Ⅲ集控台组成

2.2 监测安全系统(DATASAFE)

本系统包括机舱的监测报警系统和安全系统.前者用来监视主机、辅机和各管路系统。后者可实现泵、净油机、空气压缩机等的自动化,并有自动记录及其它有关功能。

2.2.1 监测报警系统

本系统是DC—Ⅲ集控台的基础部分,通过简单醒目的方法来报警和识别,如图 9.5.3—7 所示。

报警讯号按其功能或联系分组。每一个讯号有一组对应的编码和名称(有报警表可查)。编码由 2 个字母和 3 个数字组成。2 个字母是讯号所属报警组的缩写。3 个数字为每组内的各种讯号的代码。在报警表中列出所有的讯号、模拟量、开关量和信息代码。

报警表中讯号的名称为讯号全称的缩写。由 4 个词汇组成,代表所属系统及讯号种类,集控台的显示屏在键盘输入一定的编码时,即显示对应的讯号代码。

例如 BR=BOILER 锅炉

001=锅炉组的一个模拟量讯号(001—299)

报警的种类用最多 5 个字母与讯号对应起来,这些字母是系统本身执行逻辑运算的结果,再反映到显示屏上。DC—Ⅲ的运行原理参阅图 9.5.3—8。

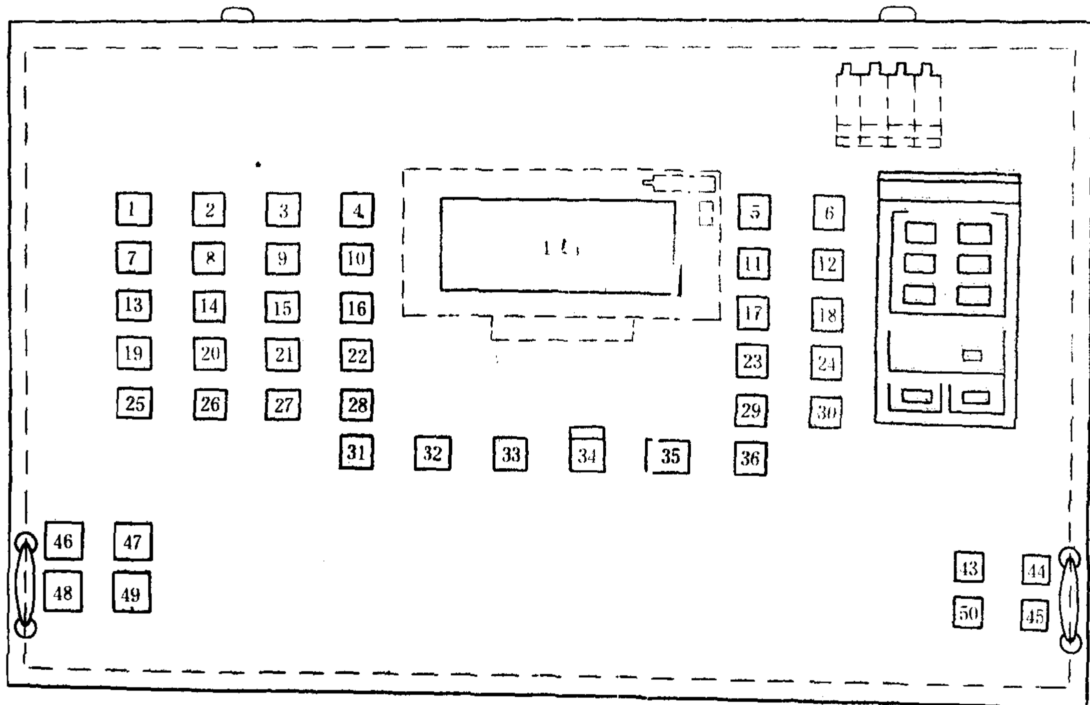


图 9.5.3 7 监测报警系统

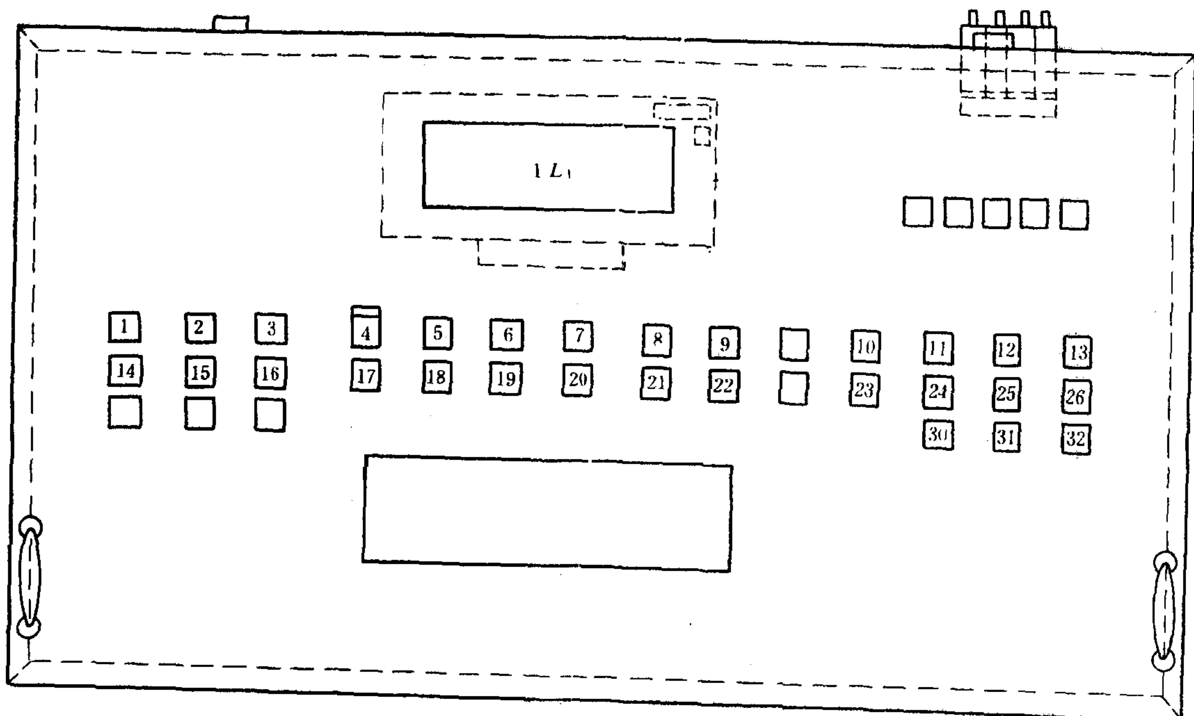


图 9.5.3 8 通讯屏 2B

例如 BR001 STEAM OUTLET P HIGH

BR300 PORT BOILER MALF

BR601 FEED WATER PUMP1 AUSTA

HIGH＝高限报警

MALF＝MALFUNCTION 故障

AUSTA＝AUTO START 自启动

集控台报警屏上有32只红色带灯按钮，每只按钮与一个报警组联接，在报警屏中央有数字显示屏。在测得报警情况时，蜂鸣器发声，并同时伴以灯闪光。新出现的报警其闪光比别的快。

揿一下闪光按钮，被揿的报警组的讯号会在显示屏上显示，作用于报警组的所有讯号均可显示，最多显示5个字母(例如高HIGH、故障MALF、低LOW、跳闸TRIP、自启动AUSTA)。

揿按钮后灯仍闪光，可继续揿压，直至闪光停止为止，此时显示屏上所示的信息即为报警的内容。在故障未清除或功能未恢复正常时，按钮内的灯不熄灭，无灯光的按钮表明该组无报警。

发现报警时，打字机即将报警内容打印出来，打印内容包括时间(格林威治时间)、编码、讯号名称和代表报警情况的5个字母，如果对一个模拟测量点报警时，还打印出测量数值。

在恢复正常状态时，出现RTN字样，即恢复正常(RE－TURN TO NORMAL)。

报警极限可由键盘来调整，这一点将在集控台操作中介绍

2.2.2 安全系统

1)主、辅机的故障减速和停车　用降低转速来减小负荷称为故障减速(SLOW DOWN)，故障关车是用切断燃油的方法来实现，亦称为故障停车(SHUT DOWN)，主机的故障减速和停车的功能不是由安全报警系统来执行的，而是由它来检测情况，最后通过遥控系统来实现，在显示屏上及打印机上会反映出报警系统所检测到的情况。

例如　1D600　DGEN1 AU SHUT

即　1D600　编码

DGEN1　1号柴油发电机

AU SHUT　自动停车

监测系统通常对主机仅显示减速的原因，不监控主机的停车，在打印机打印的信息为：

MM600　M、E、SCAN AIR RQ SLOW

即因扫气空气的参数不符合要求而减速。

2)泵系控制　DC－III集控台中的控制屏1B(见图9.5.3—9)含泵系控制屏。泵系控制是通过计算机逻辑运算来执行的，其功能有：在泵发生故障时启动备用泵；记录某设备的全部状态变化；对各设备某一规定的状态变化报警；"功率检验"在启动大功率设备之前检验可用功率，这样可避免重要用电设备跳闸，或出现失电。如果有足够的可用功率，此设备会立即启动。计算泵、风机、压气机、净油机和其它辅机的工作周期。记录工作周期。

在计算机内存贮有报警系统的全部极限程序，而这些极限值可以通过信息屏(如图9.5.3—8所示)上的键盘来改变，将新的极限值存入系统。

一般情况下，泵系控制分为四组：第一组，单独装置；第二组，并联装置；第三组，并联装置控制重耗电设备；第四组，单独装置控制重耗电设备。

凡自动控制的泵，无论其在集控台控制屏或在机旁开关箱的动作，均受计算机控制。其它则仅由报警系统进行监视与记录。由集控台控制的泵也附有机旁开关箱，用作应急操作。开关箱上所示的控制模式应与集控台一致。

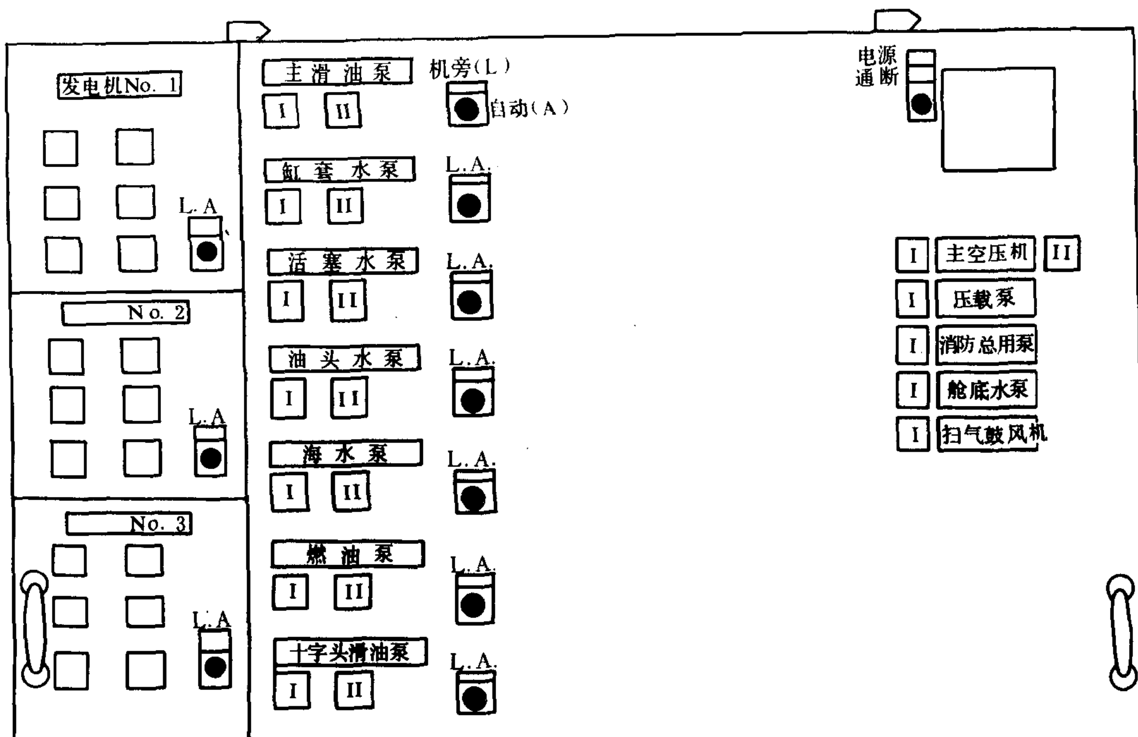


图 9.5.3 9 控制屏 1B

3)报警信息记录　报警与信息记录的形式，例如 1h42min7s 主滑油泵手动启动，记录如下：

01 42 07 ML601 MAIN LO PUMP MASTA

报警与信息排列形式是 5 个词汇，头 3 个是对应设备名称，后 2 个是报警原因或信息。

MASTA＝手动启动(信息)MANUALLY STARTED

MASTO＝手动停车(信息或报警)MANUALLY STOPPED

MASTAF＝手动启动无效(信息)MANUAL START ATTEMPT FAILED

AUSTA＝自动启动(如备车启动，则报警也有信息)AUTOMATICALLY STARTED

AUSTO＝自动停车(信息)AUTOMATICALLY STOPPED

AUSTAF＝自动启动无效(报警)AUTOMATIC START ATTEMOT FAILED

AUSTOF＝自动停车无效(报警)AUTOMATIC STOP ATTEMPT FAILED

RQSTA＝请求启动 REQUESTED START，这一信息是在必须延迟启动一台大耗电量设备时出现。

FAIL＝运转故障 RUNNING FAILURE，即主接触器在停车继电器未动作突然失电(报警)。

RTN＝回复正常 RETURNED TO NORMAL(信息)

4)其它功能　监测系统能计算贮存各种机舱设备运转的累计时间，累计的运转时间可由打印机记录，使用不超过 15min 不予记录。计数器可手动或自动回零。每经过一年就自动回零。手动回零则随时可以进行。

自动记录　揿带灯按钮“自动打印记录”(PRINT AUTOMATIC LOG)，即由打印机记录信息或报警等；如再揿压此按钮，打印立即停止。

艉轴管滑油控制

燃油输送泵控制　由燃油沉淀柜的液位来控制。

2.2.3　备用系统(BACK－UP SYSTEM)(见图 9.5.3—10)。

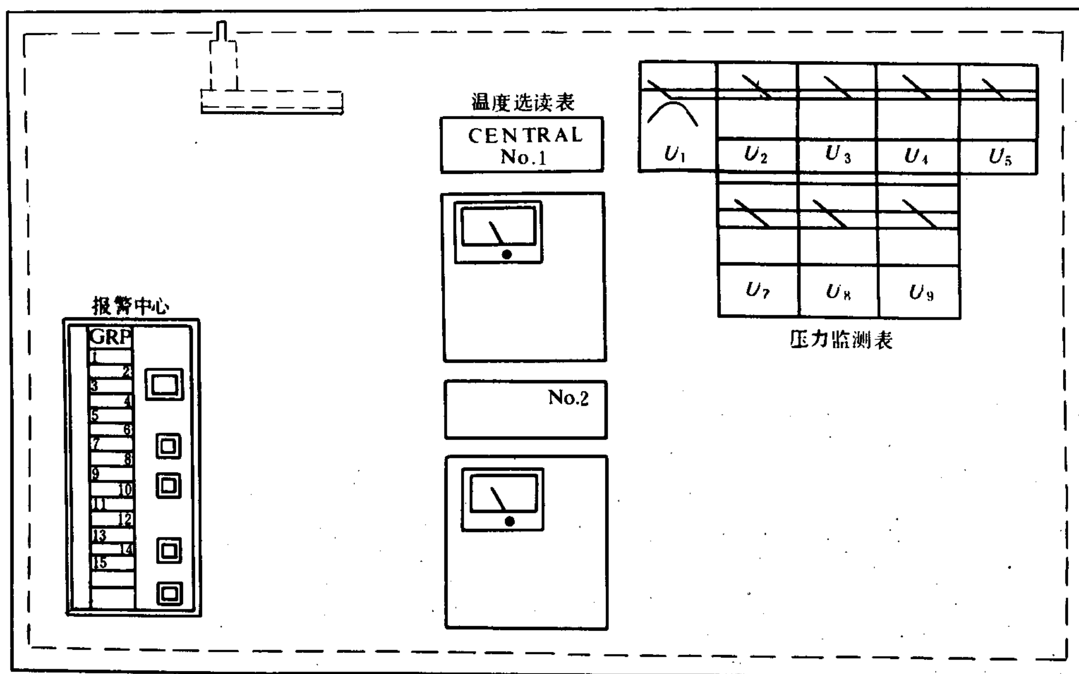


图 9.5.3—10　备用系统

当主集控系统未投入或断电时，由备用系统来负担一些主要设备和系统的监测和报警。备用系统设在集控台右方的竖立屏上。除声和光报警装置外，重要的压力、温度指示仪表与主集控系统共用。因此，集控台停用或发生故障时，对一些重要的压力和温度参数仍可通过仪表来检测。

2.2.4　报警与值班呼叫系统

在集控台左面竖立屏上有一组值班呼叫指示板与驾驶室、轮机员居住舱和餐室构成一个值班呼叫系统。这个系统有两种监视模式：机舱监视与驾驶室、舱室监视。在机舱监视时，只有停车或减速传到驾驶室。在驾驶室、舱室监视时，报警会传到驾驶室和值班轮机员的居住舱。两种监视模式可通过转换开关选择。

2.3　DATA CHIEF－Ⅲ集控台操作说明

集控台面板如图 9.5.3—7 所示。

2.3.1　自检系统

1)计算机故障(COMPUTER FAILURE)　按钮 32，当系统或有关的电子器件有故障，此灯由自检系统点亮。系统开动后还要亮 2min，这是正常的。灯无反映时，要重新向系统输入纸带，故障寻找在自检系统说明“保养指南”中叙述。

2)电源切断(POWER OFF)　按钮 48，揿下“POWER OFF”按钮，则“POWER ON”灯熄灭，主电源切断。

3)电源接通(POWER ON)　按钮 46，第一下揿动，电源送往分配继电器，第二下揿动，电源送往电子器件。检查冷却风机是否在运转。

4)过程接通(PROCESS CONNECT)　按钮 47，用来接通 DC－Ⅲ的报警系统和控制系

统与机舱过程。如在计算机故障灯不亮时，揿下此按钮，灯亮(过程断开“PROCESS DISCONNECT”灯灭)说明报警系统投入运行，备用系统现在不起作用。

5)过程断开(PROCESS DISCONNECT)　按钮49，用来断开机舱过程与集控台报警和控制系统。灯亮(过程接通”灯灭)表示对按钮的揿动被接受，报警与控制系统现在不起作用，备用系统投入运行。另外，在自检系统发现故障时这功能自动进行。

2.3.2 特殊功能图9.5.3—8

1)改变(CHANGE)　按钮17，用来改变系统的极限或数值。一些功能按钮和一个钥匙开关连起来使用。揿动功能按钮，显示要改变的数值或极限；同时转动钥匙并揿此按钮。

——在显示屏上要求“输入”(“INPUT”)

——在键盘上送新数值后，按“RETURN”键

——显示出“新数值”，新数值是一位或多位数，小数部分用逗号分开。

改变的情况，与日期、时间在打印机上一起被记录下来。

2)转上显示屏(COMM TO UPPER DISPLAY)，　用来将信息从下显示屏转向上显示屏的开关。揿压此开关，全部信息会转到上部显示屏上，报警和信息均在上显示屏出现。

3)消除显示/差错信号(CLEAR COMM DISPLAY/ILLEGAL)，　按钮10，用来消去显示内容和结束当前的信息。揿此按钮，显示屏上的内容消失，如果这时仍有信息传输，相应的按钮灯熄灭。另外，指示和判别键盘使用的差错，如果打键盘时出错，按钮“差错”(“ILLEGAL”)内的灯闪光，键盘不能打字。出差错可能有两个原因：

(1)格式错误　在系统等待回答编号“CODE”时，如果编号是ELOO2，而回答成EL2就算错误。格式与各功能是连在一起的。

(2)违反极限　如果EL005作为编号(CODE)的答复，但EL组又不超过三点，就是错误。如果在键盘上打TL002回答编号，而TL组又不存在，这同样是错误。分组情况和它们的尺寸在报警表内。

——按此按钮使灯熄灭，再次传令启动，如果在按RETURN键之前打错一个或两个字母，只要在键盘上将RUBOUT(抹掉)这个键按相应的次数即可消去。

2.3.3 一般信息图9.5.3—8

1)报警高限　按钮2，检查和改变规定的报警高限；

2)报警低限　按钮1，检查和改变规定的报警低限；

3)模拟量输入参数(ANALOG INPUT PARAMETERS)检查和改变某些重要的系统参数，按此按钮，灯亮表明按动有效。

在显示屏上显示出一些有用的参数：

(1)OFF SCAN FLAG 停止扫描

——询问测量点编号(CODE?)

——在键盘上打入编号，结束时打“RETURN”键。

——点对应的名称与“OFF SCAN FLAG”及其状态一起显示。向上或向下，以数值−1或0来表示。此时这一点的数值被冻结，这一数值为最后的测量值，这个数值可借助按钮“显示值”(DISPLAY VALUE)和“CHANGE”来改变。

(2)报警抑制(ALARM INHIBIT FLAG)用来抑制某一测点的报警。

——转动钥匙并按“CHANGE”

——询问新数值“INPUT”

——给新值－1为抑制，0为撤销，结束时按“RETURN”键。

——判断改变显示新值，并保留此点为报警抑制

例如 CODE？　编号？

EWOO3 CYL NO1 COOL W P EWOO3　1号气缸冷却水压力。

ALARM　INHIBIT　FLAG　O 报警限撤销

输入：－1

新数值：－1

在打印记录上：

87、03、24、13、30、29、为87年3月24日13时30分29秒

(3)滤波(FILTER FLAG)

——转动钥匙并按“CHANGE”

——CODE？

——键入新值，－1为要滤波，0为取消滤波，结束按“RETURN”键。

(4)通道地址(CHANNEL ADDRESS)

——CODE？

——键入要改变的编号，结束按“RETURN”键。

——判断显示新值，打印出新值。

4)时钟　按钮5，显示系统内部时间，这个时间反映于所有的记录及报警中。

5)显示表格(DISPLAY TABLE)　按钮7，一次同时能显示8个报警内容。

* 为已确认的报警，＝为未被确认的报警。

6)显示值(DISPLAY VALUE)　按钮6，显示键入的编号的测量数值。

7)打印记录(MAXLOG ON TTY)　按钮26，按此按钮，灯亮，记录输出。再按则停止记录。如要打纸带，可按“MAXLOG ON PUNCH”记录打孔。

8)显示打印内容(PRINT DISPLAYED TEXT)　按钮25，在显示屏上显示打印的内容。

9)复印(PRINT REPEAT)　按钮12，在一段时间内打印一个测量值。

10)纸带打孔(PUNCH TAPE)　按钮24，根据数据对纸带打孔，开打孔器，然后按此按钮，灯亮，显示屏显示：

(1)系统常数

(2)安全极限

选择数：

打孔结束，按此按钮，灯灭。

11)读带(READ TAPE)按钮11，将纸带装入阅读器，开动阅读器(RUN)，按“READ TAPE”。如读到错误时，出现信息 SY601 TAPE ERROR。

12)表快/慢翻动(ROLL FAST/SLOW)　按钮21，用来改变显示屏图像转动的速度。

13)表翻动(ROLL TABLE)　按钮20，显示屏按0.5s出现一新字行的速度转动。

14)扫描时间　在校验传感器时用来检查和改变扫描时间，缩短扫描时间将获得更高的变化灵敏度。

15)表值(TABLE VALUE)　按钮8，查测量点的各种数值。

16)记录纸顶(TOP OF PAGE)　按钮32，在打印机移动记录纸行格，以便从下一页顶部开始记录。

2.3.4 报警系统图 **9.5.3—7**

1)消除声音报警(ACOUSTIC ALARM OFF) 按钮45,按此按钮,灯光灭声停。

2)补充报警信息(ADD ALARM INFO) 按钮35,用来在显示屏上示出测量数值和实际报警极限。揿“ADD ALARM INFO”,如报警是一个模拟量讯号,则在显示屏上示出测量值及其编号,实际报警极限表在同一行的括号里,测量值不断地受到修正。

3)分组报警灯 指示在某组内出现一个或多个报警。分组报警灯按两种频率闪光。快闪表示组内最新的报警。当组内所有报警均被应答后,分组灯的闪光即变为常亮。每按一次按钮,可显示出8个报警点。

4)报警测试(ALARM TEST) 按钮36,检查报警系统是否良好。

5)功能测试(FUNCTION TEST) 按钮43,顺次揿这些闪光的按钮,检查按钮是否良好。

6)灯测试(LAMP TEST) 按钮50,揿此按钮,全部灯点亮,按多久亮多久。

7)信息记录(MASSAGE ON LOGGER) 按钮44,每一个新信息出现时,打印机将打印下来,同时此灯闪光。按此按钮,闪光停止,灯熄灭。

2.3.5 安全系统信息 图9.5.3—8

1)自动打印记录(PRINT AUTO LOG) 按钮13,揿下此按钮,键入自动记录的时间间隔。当信息传送完,揿下停止自动记录,或按“CLEAR”按钮。

2)打印运转小时(PRINT RUNNING HOURS) 按钮31,记录由安全系统监测的空压机、发电机等的运行时间。揿此按钮,将以小时数打印出来。完毕后,灯灭。运转时间以四分之一小时当作一小时,调整时也要按四分之一小时进行,调整见“SYSTEM CONSTANT”系统常数调整。

3)故障停车极限(SHUT DOWN LIMIT) 按钮16,显示泵、发电机故障停车的极限,与“CHANGE”配合亦可修改停车极限值。

4)启动备车极限(START BY LIMIT) 按钮14,用于检查或改变泵、发电机的启动备车极限。

5)时间延迟(TIME DELAY) 按钮3,用于检查或与“CHANGE”配合改变各开关量信号的时延值。

6)系统常数(SYSTEM CONSTANT) 检查和改变系统内的各种常数。见“DATA TREND”使用指南中的“系统常数表”。

3 西门子微机集中监视系统

3.1 概 述

SIMOS 31和SIMOS 32是联邦德国SIEMENS公司生产的微机集中监视系统,用来监视船舶主柴油机、辅机、发电机、舵机、分油机、冷藏机、空气压缩机,各种泵、锅炉、油柜、水柜、舱底水等的温度、压力、转速、液位等各种参数的变化情况和各种设备的运行状态。当工作参数越限或设备出现故障时能发出报警和灯光显示。SIMOS 32系统的监测点最多可达500个。

SIMOS 31和SIMOS 32集中监视系统均采用多微机技术,由一个主计算机和一个(或

多个)子计算机组成系统,子计算机对监测对象进行数据采集和初步处理。主计算机执行各种显示、打印、修改等项功能,并控制系统报警器和各灯光显示板。操作人员可以通过键盘对系统进行通道定义、参数设定或修改。驾驶室、机舱集控室、各轮机员房间均有模拟图示板,供操作人员随时掌握和了解系统的工作和报警情况。计算机还能够记忆出现的报警和故障事件,打印输出。

SIMOS 31 和 SIMOS 32 集中监视系统还具有自检功能。系统中有专门的监视板和专门的诊断程序。从而保证系统的可靠性。

3.2 STMOS 31 集中监视系统

3.2.1 STMOS 31 集中监视系统结构

图 9.5.3－11 为 SIMOS 31 集中监视系统简图。该系统由 3 个部分组成:上面为驾驶室、餐厅及各轮机员房间的报警指示灯板。中间部分为主计算机和子计算机系统,是系统的核心部分。下面为各监视点的传感器,信号经接线板送入计算机。

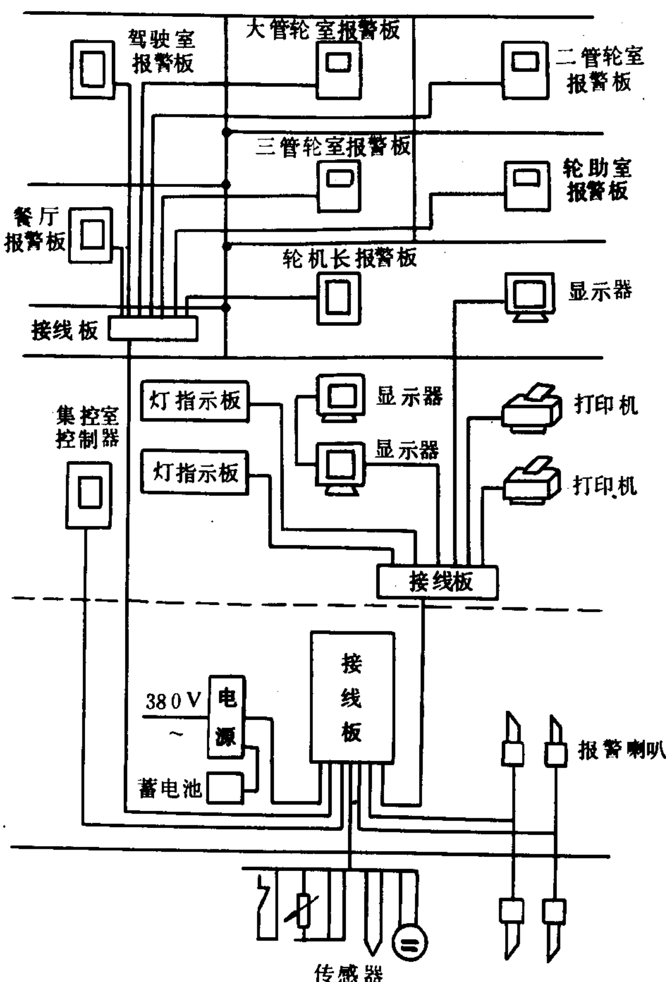


图 9.5.3－11 SIMOS 31 集中监视系统简图

系统的计算机部分、模拟量输入输出及开关量输入输出的印刷电路板、电源等主要部分安装在机舱集控室内的一个铁柜中。控制台上有显示器,报警和报表打印机以及操作键盘、报警指示灯板和报警喇叭。

3.2.2 SIMOS 31 集中监视系统的功能

STMOS 31 集中监视系统的子计算机系统对各种模拟量信号和开关量信号进行扫描采样和初步数据处理,再将测量数据传送到主计算机系统。由主计算机进行数据分析处理,输出报警信号。操用人员通过键盘输入各项命令。由主计算机执行各项功能操作。主要功能操作有:

1)故障和报警显示 CRT 显示器上显示出故障或报警的点号、名称、测量值。

2)事件显示。 CRT 显示器上分页显示现有的和发生过的故障和报警,共 3 页,按事件发生时间顺序排列。

3)分类显示各种参数测量值 按温度、压力、液位、电气、速度、其它共 6 类进行参数分类显示。

4)设备分类显示参数测量值 按主机、辅机、发电机(＃1－＃3)、电源、舵机、分油机、油柜和舱底水,SIMOS 系统及其它设备分类显示各种设备有关的测量值。

5)点显示　显示各点的名称、上下限值、报警延时等数据。

6)报警打印　当出现越限参数后，打印机进行打印记录，故障消除后也自动打印，还可按指定功能键后打印现有的报警和故障点。

7)上下限值修改　键锁开关置“SET”位置，可按键修改某一通道的上下限值。如输入有误或该点上下限值不能修改，CRT 上显示出“ILLEGAL”字样。

8)修改报警延时时间　键锁开关置“SET”位置后，修改报警延时时间，这时先显示原值、再输入新值。

9)时间显示　键锁开关置“SET”位置后，可显示当地时间或格林威治时间，包括年、月、日、时、分、秒。

10)更改日期和时间　键锁开关置“SET”位置后，按键更改日期和时间。包括当地时间和格林威治时间。

11)显示各缸排烟温度的偏差是否在允许范围之内。

12)打印出各个参数的上下限或报警延时时间。

13)显示温度、压力等模拟量，A/D 转换后的二进制数值。

14)打印报表记录和设置打印的时间间隔。

3.2.3　SIMOS　**31** 集中监视系统硬件。

1)计算机系统

(1)微型计算机板(型号 6　AA5　103—OAC　70)SIMOS　31 集中监视系统中主计算机和子计算机系统均使用型号为 SAB8085A 的 CPU。主机板上的 CPU、有 4K 字节 RAM 和 16K 字节 EPROM，此外还有四块可编程序芯片、并行接口芯片 8255、异步同步通讯接口芯片 8251、定时计数器 8253、中断控制器 8259(见图 9.5.3—12)。

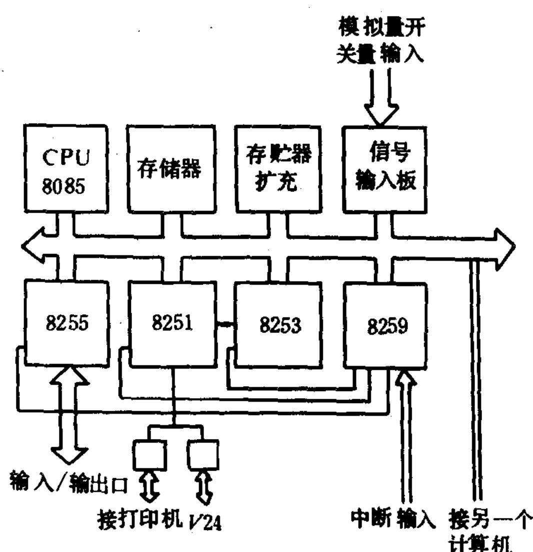


图 9.5.3—12　计算机板框图

(2)存贮器扩充板(型号 6AJ5 103—OA70)8K RAM 和 64K EPROM 插座。根椐程序的长短决定使用 EPROM 片的多少(每片为 4K 字节)。8K 字节 RAM 用电池做为备用电源，断电后，在几个星期内 KAM 中的信息不会丢失。

(3)通讯接口板(型号 USARTG33928—M1425)板上有 4 个通讯接口芯片 8251，通讯线上的电流为 20mA，数据传送率为 110 到 9600 波特，由程序选定。通讯接口板用于主计算机和子计算机系统之间，或计算机与外围设备之间进行数据串行传送。

2)系统的外围设备

(1)操作键盘　键盘上有 10 个数字键，3 个符号键，17 个功能键共 30 个内部键，还可有 34 个外部键(也可不用)共 64 个。其中某些功能键，如修改报警上下限值或更改时间等，需用钥匙打开锁后才能操作。

键盘电路板上有一个 8251 口与计算机通讯接口板上的 8251 相连，用赤传送数据。还有 8748 芯片，它的 8 位数据线与 8251 数据线相连，同时接到输入/输出口 8243(见图 9.5.3—13)。8748 通过 8243 芯片对键盘进行扫描，检查那一个键被按下，再把信息送给主计算机的

CPU，调用相应的程序执行。

(2)显示器(CRT) SIMOS 31 集中监视系统有一个显示器，用来显示报警点号、名称以及测量数据等等。

显示器的尺寸为 14in，屏幕显示 24 行，每行 80 个字符。主计算机系统中的通讯接口板上的 8251 芯片与 CRT 的接口用 2 根导线连接。CRT 与主计算机系统之间导线最大长度为 1km，导线电阻 100Ω。

传送字符，采用 7 位 ASCⅡ码，第一位是起始位，第九位是奇偶校验位，最后为一到二位停止位。

(3)打印机 STMOS 31 集中监视系统用的打印机型号为 PT31，分报警打印机和报表打印机两台。每行打印 32 个字符。主计算机系统的通讯接口板上的 8251 和打印机板上的 8251 相连。两者之间以异步串行方式进行数据传送，传送速率为 9600 位/s。字符用 7 位 ASCⅡ代码表示，加一位起始位，二位停止位。如果打印机使用的 24V 电源电压低于 18V 或打印纸用完能自动报警。

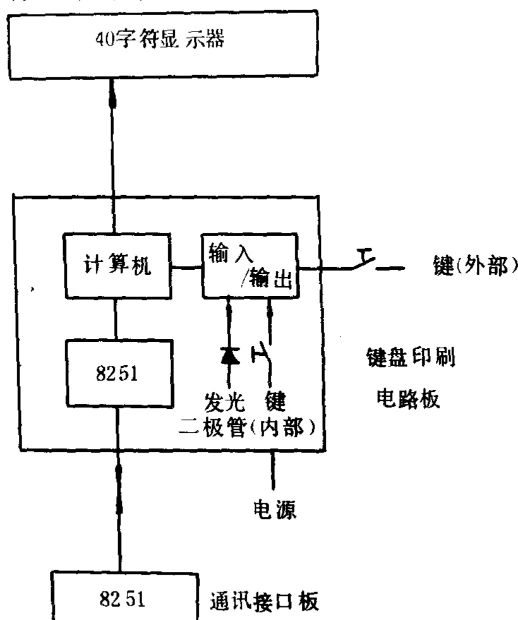


图 9.5.3 13 键盘接口

(4)报警指示灯板 驾驶室、机舱集控室，每个轮机员房间设有报警指示灯板。如出现报警，指示灯亮，蜂鸣器响。驾驶室和机舱的报警指示灯板上还有呼叫按钮，按下按钮，轮机员房间指示灯亮，蜂鸣器响。

3)输入输出印刷电路板

(1)开关量输入板(型号 BE/32E24V，G33928－M1424)。每块板有 32 路开关量输入，开关闭合输入电压约 24V，断开时输入电压约 0V。外部输入电路与内部电路之间用光电偶合管隔离。每块板上有 4 个小红灯，一个小红灯亮表示一组(8 个开关量)中有一路或几路工作不正常，计算机中的自检程序进行故障诊断，控制小灯的亮灭。

(2)开关量输出板(型号 BA/16A，24V，50mA，G33928－M1427)每块开关量输出板有 32 个通道，每一个通道使外部一个开关断开或闭合。输出通道额定电压 24V，额定电流 50mA。外部开关量输出电路和内部计算机电路用光电偶合管隔离。同开关量输入板一样，面板上有 4 个小红灯，用来表示每组开关量通路是否有故障。

(3)模拟量输入板 电阻温度计输入板(型号 AE－PT100/16E，G33928－M1429 和热电偶输入板(型号 AE－NiGr－Ni，10V，20mA，G33928－N1422)两种，每块板接 16 路传感器输入。电阻温度计输入板用于型号为 PT100 的电阻温度计的输入，采用三线输入，输入部分是一个惠斯顿电桥，电阻温度计为桥中一个臂，测温范围为 0－150℃，面板上有 2 个小红灯，表示每组(8 路)的电阻通道是否有故障。根据传感器的不同还有 3 种不同形式输入板采用镍铬－镍热电偶传感器时，型号为 AE－NiCr－N1/16E，每路测温范围为 0～600℃。用于输出为 0～10V 的传感器时，型号为 AE－10V/16E。用于输出为 0～20mA 或 4～20mA 的传感器时，型号为 AE－20mA/16E。

模拟量信号经多路转换器切换和模数转换器，变成 10 位二进制信号送到计算机中进行处理，模拟量测量误差为 1%。

3.2.4 SIMOS 31S 集中监视系统软件

STMOS 31S 集中监视系统的软件，包括系统软件，应用软件和数据库三部分。

1）系统软件存贮在计算机板的 EPROM 中，主要包括：初始化程序；监控程序；日期和时钟程序、时钟的同步程序；数据管理；主计算机和子计算机系统之间的相互联系。

2）系统应用软件执行扫描检测、报警和人机对话等功能，主要包括：对各模拟量信号，开关量信号进行采集和处理程序；处理报警程序和阻塞报警程序；系统各印刷电路板自检程序；模拟量信号线性补偿程序；柴油机排气温度监视程序；报警指示板故障灯管理和应答处理程序；显示和打印程序。

以上应用软件由系统软件中的监控程序进行控制的。

3）数据库中包括下列内容：各测量点名称，平滑系数 K 的值，报警上下限值，阻塞报警的条件，防止重复报警的幅差范围，对模拟量进行线性补偿的准则。

3.2.5 故障检查

SIMOS 31S 集中监视系统中，主计算机系统和子计算机系统中，各有一块监视用印刷电路板，它的型号是M1426。其功用主要为：监视内部电压，外部电压、测试 RAM 备用电池电压、监视计算机 2MHz 时钟信号、监视程序是否正常运行等。

主系统的故障检查按图 9.5.3—14 流程图所示进行。

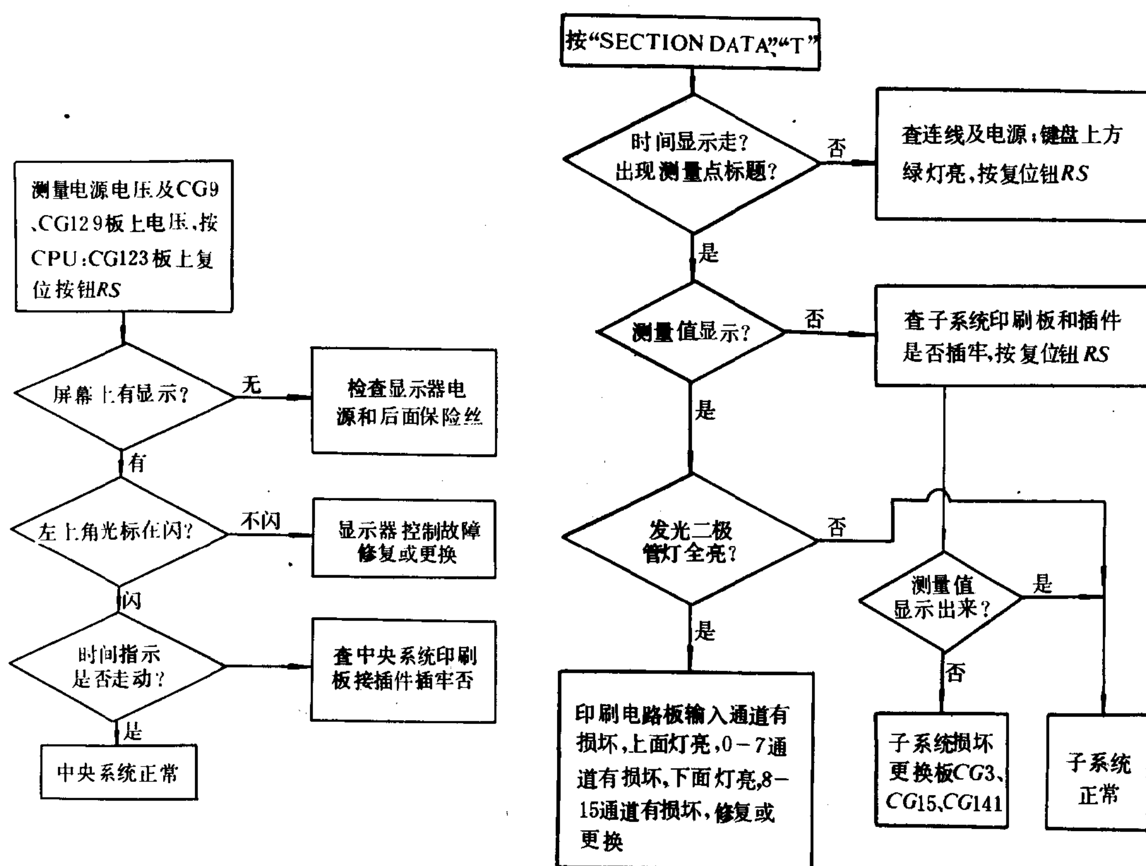


图 9.5.3—14 中央系统故障检查

图 9.5.3—15 子系统故障检查

子系统的故障检查按图 9.5.3—15 流程图所示进行。

3.3 SIMOS 32 集中监视系统

3.3.1 SIMOS 32 集中监视系统简介

图 9.5.3—16 是 SIMOS 32 集中监视系统简图。系统由带有微型计算机的"智能"箱（也称报警箱）、输出单元、模拟图示板等组成。被监视的模拟量和开关量信号输入到计算机箱进行

处理。报警信号由输出单元中的系统报警控制器发出。每个计算机箱可接40路模拟量或开关量信号，系统可根据监视对象来决定计算机箱的个数，然后进行组合。每个计算机箱都有专用键盘，可进行参数设定、修改各种功能操作。

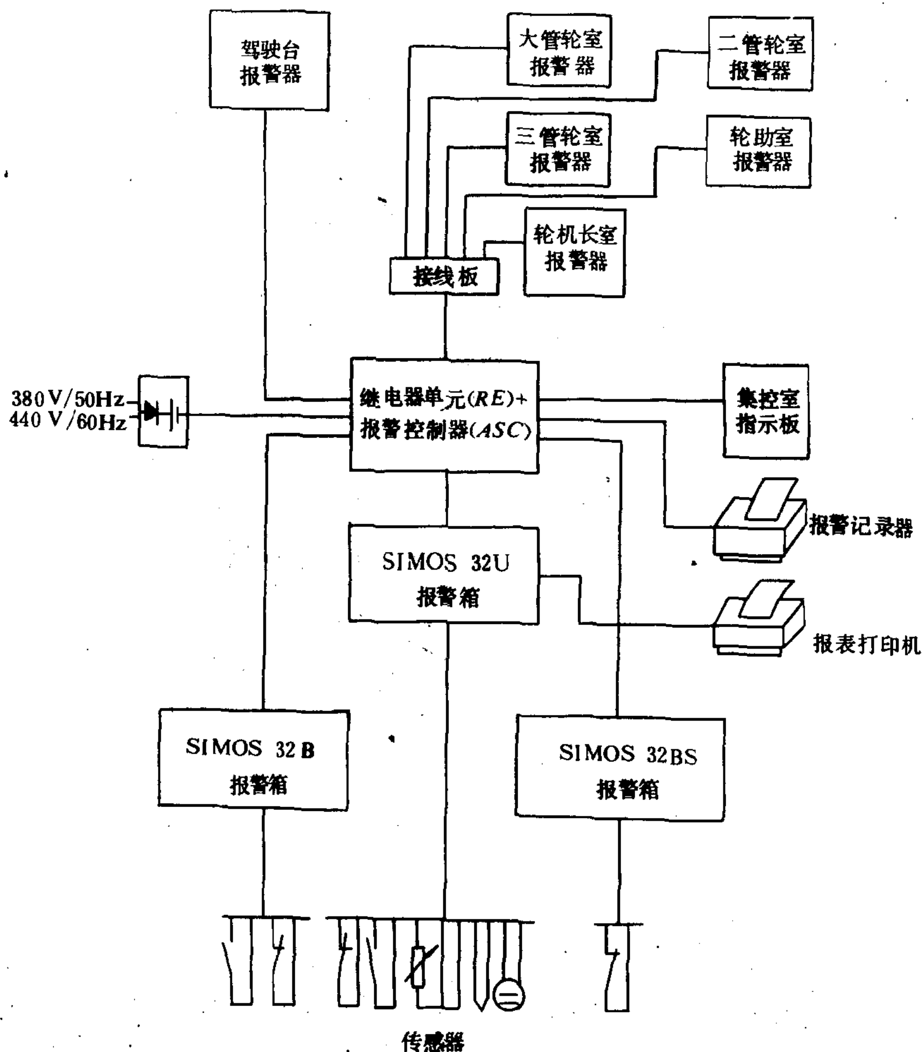


图 9.5.3—16 SIMOS 32 系统组成简图

3.3.2 报警箱

SIMOS 32 集中监视系统由4种类型报警箱组成，SIMOS 32U、SIMOS 32B、SIMOS 32K、SIMOS 32 BS。除SIMOS 32BS外，每个箱都有3个微型机组成，并各可接40路输入信号。其中32U为通用型，即可接模拟量信号又可接开关量信号，32B为开关量输入箱，不能接模拟量信号，32K专为冷藏系统设计，既可输入模拟量又可输入开关量信号。

40路输入信号每10路为一组，每路对应一个LED指示灯，表示该通道工作是否正常。面板上有16个组合键，2个报警音响、灯光应答键、键盘上方有液晶显示器、可显示16个字符，通过键盘操作可在液晶显示器上逐点显示测量值等。

U.B.K型报警箱内部计算机系统工作原理见图9.5.3—17。

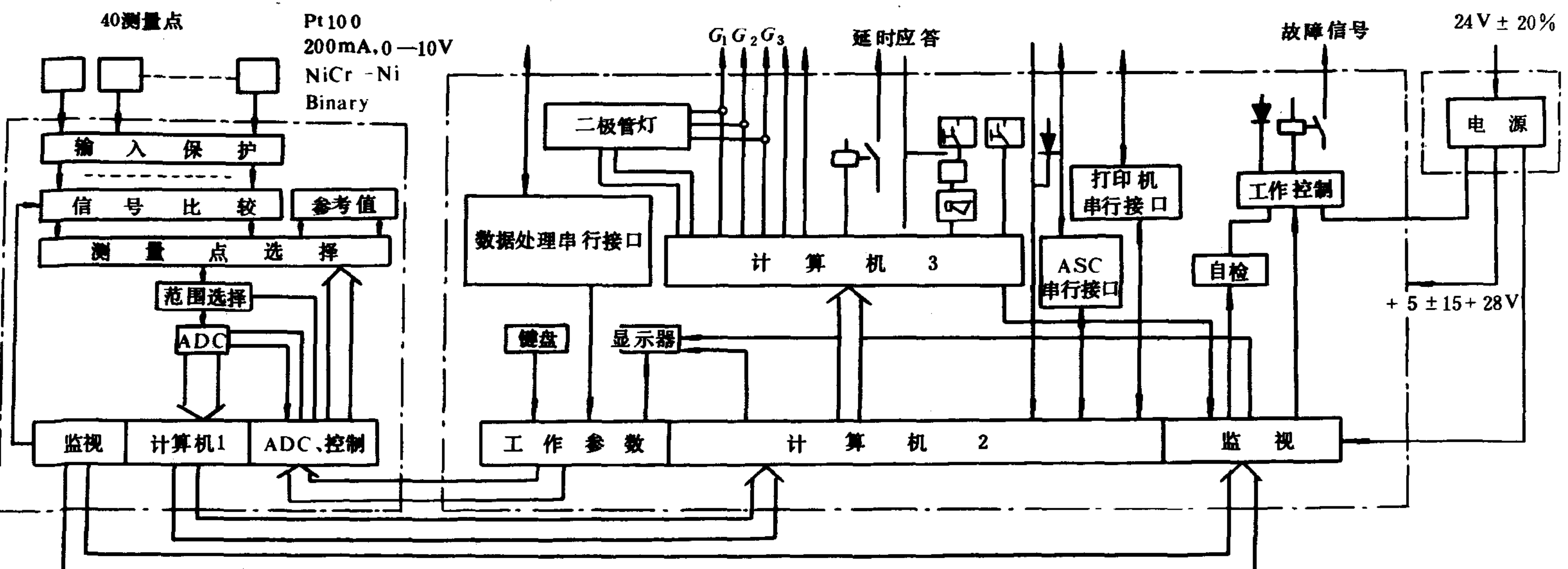


图9.5.3-17 报警箱计算机系统原理框图

其中计算机1对40路输入信号进行分时多路切换、扫描、采集和初步分析处理，将结果传送给计算机2，计算机对数据进行分析处理，通过串行接口与报警系统控制器(ASC)和打印机进行数据传送。箱面板上的LED指示灯和报警音响信号由计算机进行控制。

带有计算机的报警箱的系统软件存贮在48K字节的ROM中，不能改动。在进行参数设定或修改时，相关的数据被存放在RAM中并传送到EEPROM中。EEPROM中数据不受电源失电影响，可以重复进行改写。

报警箱后面有插口，供各种传感器信号输入以及报警箱之间的连接。

SIMOS 32集中监视系统按各种传感器以及开关量信号包括以下几种：热电阻温度计Pt100D1V、镍铬－镍热电偶、电流0～20mA或4～20mA、电压0～10V；开关量传感器使用触点式，触点负载24DC，4、8KΩ，闭合输入电流大于2mA。

SIMOS 32 BS型报警箱中没有计算机系统控制。它用来接60路开关量信号，箱面板上为6组(每组10路)指示灯板，每路对应一个LED灯，BS箱可接到U或B型报警箱上。最多允许接5个BS型报警箱。

3.3.3 输出单元(OUTPUT UNITS)

输出单元由继电器单元(RE)和报警系统控制器(ASC)组成。

继电器单元(RE)由一组继电器组成，采用电流隔离输出，用来控制驾驶室，机舱集控室，各轮机员房间的模拟指示板上的报警灯和报警蜂鸣器。

报警系统控制器(ASC)共有10个串行接口，1个接报警打印机，9个接报警箱。系统规定第一个串行接口必须接U型报警箱，并定义此箱为“主箱”。主箱通过串行接口接一个系统打印机。系统中的大部分主要功能由主箱中的计算机来执行。如系统的时钟更改或进行点报表打印等。

报警系统控制器(ASC)接收各报警箱传送的信息，控制继电器单元(RE)中各继电器的接通和断开。

3.3.4 操作键盘

带计算机的U、B、K型报警箱上均有一个操作键盘，由17个键组成。这些键大部分是多重功能键，见图9.5.3—18。

键盘最下面两个键是报警声、光信号的应答键，按下后使报警音响消音，报警灯闪变为定光。功能键除可用做数字键和字母键外，定义功能如下：

D P/REP 1	E L/GMT 2	F SERV 3	L + 4
P C/PNT 5	Q S/TIM 6	S NO 7	T YES 8
X C/PMY 9	C/EXG 0	SYM *	- MP 1
STORE BACK UP	RUB OUT	CLEAR	ENTER

图9.5.3—18 操作键盘

P/REP 通道数据查询

L/GMT 地方时间或格林威治时间查询

C/PNT 输入或修改通道数据

S/TIM 输入或修改日期或时间

C/PMY 输入或修改模拟通道数据

C/EXG 输入或修改排烟通道数据

SERV 请求设备维护

SYM 排烟温度对称显示

STORE BACKUP 数据传送到EEPOM中存贮

CLEAR 取消显示或停止打印输出

RUB OUT 退格键

由于液晶显示器上每次只能显示16个数字或字符，所以连续显示时，在按上述指定功能

键后，再按“＋”或“－”连续向前或向后显示出要查询的内容。

3.3.5 SIMOS 32 集中监视系统软件功能

1）监视周期 模拟量扫描一周的时间为700ms；开关量扫描一周的时间为350ms。

2）采样数据的平滑处理 对模拟量信号采集时为滤除干扰信号软件采用数字滤波平滑处理（也称动态滤波），其数学模型为：

$$M_G = M_A \cdot (1-\frac{1}{2^K}) + M \cdot \frac{1}{2^k}$$

式中：M_G 是经平滑处理的值；M 是新值；M_A 是原来值；K 称平滑系数，取值在 0—5 之间。

SIMOS 32 系统中 K 取值的规则如下：

传感器类型	平滑系数 K
镍铬—镍	5
0/4—20mA	3
0—10V	3
Pt100 热电阻	3

如果 K＝0、$M_G = M$，则不经过平滑处理。K 值选择可以通过键盘输入或修改。

3）超过范围的测量值处理 当测量通道发生短路或断路时，测量值将超出测量范围，对此，软件将监视这一故障并显示 1NSTRUMENT L1M1T H1GH(ILH) 和 1NSTRUMENT L1M1T LOW(ILL)表示传感器指示值超过上限或下限值。根据传感器类型不同，超过上下限时将不做为越限数据处理和报警。

4）测量值线性化处理和补偿 由于测量传器采用 Pt100 热电阻和镍铬—镍热电偶，热电阻的阻值变化与温度变化不是完全线性关系，软件中有线性化处理功能，处理方法采用将测量区分 20 段分段线性拟合的方法，对镍铬——镍热电偶采用测量区中点线性拟合方法。热电偶冷端补偿通过每个箱有一热电阻测量室温来进行。

5）排烟温度的监视

柴油机各气缸的排烟温度除监视是否越限外，还监视各缸对平均排烟温度的偏差，并根据此偏差确定其“浮动”的越限值。原理见图 9.5.3—19。

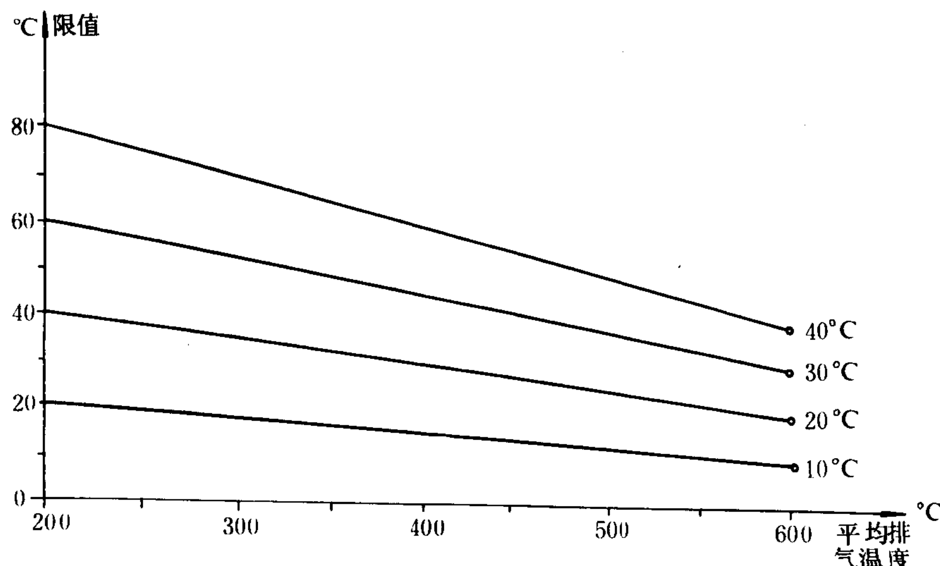


图 9.5.3—19 气缸排烟温度浮动上下限值原理

6)报警延时和闭锁功能　对每个监视通道可以设定 0～999s 的报警延时时间，对传感器故障 ILL 和 ILH 报警系统不予理会。

每个报警箱中的一些通道报警信号能通过触发报警闭锁来禁止。对于已经报警的点，闭锁后的变化是快速闪光的灯变成慢闪，定光显示的灯熄灭。

每个报警箱的 36、37、38、39 号测量点可以做为闭锁输入，故每个箱可阻塞 4 个通道报警，要阻塞的测量点可以任意设定，闭锁时间在 0～999s 之间由程序选定。

7)港口报警闭锁　当船舶停泊在港口内时，机舱集控室中的图示板被关闭，为封锁每个报警箱的报警，各有一个附加闭锁输入，此输入有效后，该警箱的所有通道都被阻塞。并用 LED 灯显示。

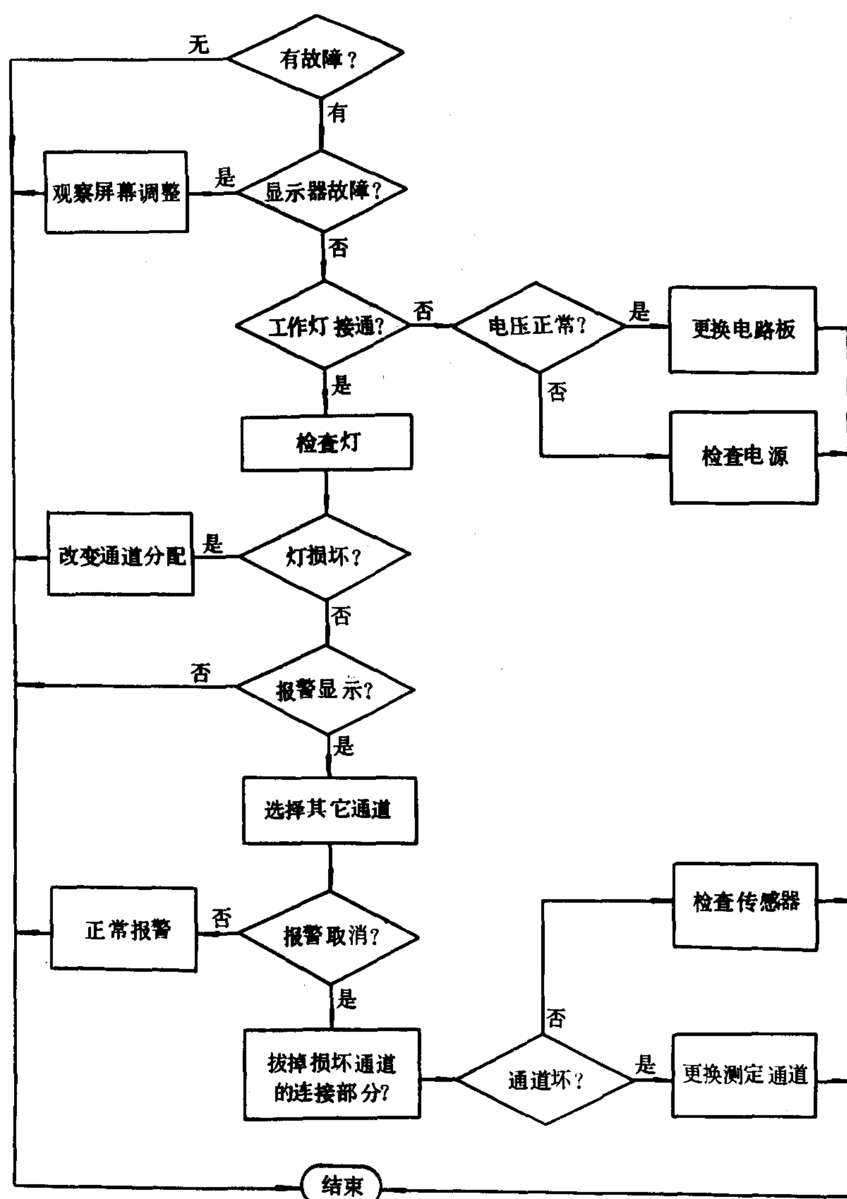


图 9.5.3　20　故障查找流程图

3.3.6 SIMOS 32 集中监视系统的故障诊断

1)程序自动检查

系统在运行中，自动定期运行检查程序，以诊断计算机系统和主要设备是否出现故障，如出现故障，进行报警。

诊断程序内容主要对报警箱中的计算机部分检查。具体检查项目和时间：

(1)计算机 1　每 10s 测试参考通道值是否高于或低于限值；每分钟测试 RAM 和 ROM 存贮器；每小时测试所有通道有否短路、地址和扫描周期、每秒测试与计算机 2 之间的数据交换。

(2)计算机 2　每小时测试 RAM 和 ROM 存贮器；每 2ms 测试监控设备和输出部件。

(3)计算机 3　每 0.5s 测试 LED 灯对控制电路的故障和断路；每 10s 测试 RAM 和 ROM 存贮器；每秒测试计算机 3 与计算机 2 之间的数据交换是否正常。

2)故障查找与处理

图 9.5.3—20 为查找故障的流程图。

当故障报警发生后，根据故障指示确定产生的位置，找出根源后采用处理方法，一般首先处理电源部分故障，然后是输出单元、各报警箱。

4　UMS900 集中监视系统

4.1　UMS900 系统组成

UMS900 系统是丹麦 STL 公司研制生产由 STELLA 计算机组成的监视系统。STELLA 计算机以 INTEL iAPX186 为基础，构成标准微机模块。

UMS900 系统由标准模块 ALPHA(α)单元和 BETA(β)单元组成。α 单元用于信息处理(报警系统)、程序控制(PLC)及闭环控制(PID 调节装置)等。每一 α 单元包括 32 个 I/O 通道，通过标准接口输入模拟量或二进制开关量信号，亦可通过标准接口输出二进制信号。作为监视装置的 α 单元可装于机器处所任何场合，所有 α 单元通过传输线 STL－NET 与中央控制室的主机模块 β 单元连接，实现终端监视 UMS900 系统框图如图 9.5.3－21 所示。UMS900 系统的监视容量及监视内容可以任意组合变更。用户可根据需要随时在 STL 网络上“挂上”新的 α 单元进行扩充，而不需要增加其它设备线路。其最大监视容量可达 1500 点。

4.1.1　16 位微处理机 iAPX186

iAPX186 是一块具有 68 个引脚的芯片，其芯片内部结构见图 9.5.3－22。

CPU：　具有 4 个 16 位通用寄存器(AX、BX、CX、DX)；4 个 16 位“指示器”寄存器(S1，D1，BD，SP)；4 个 16 位段寄存器(CS、DS、SS、ES)；1 个 16 拉指令器和 1 个 16 位状态寄存器。16 位 ALU 执行 8 位或 16 位算术及逻辑运算。

DMA　提供 2 个高速 DMA 通道。能以字节(byte)或字(bit)为单位对 I/O 空间和存贮器空间的任意组合实现双向传送，并可用编程的方法来控制 DMA 的进程。

计时器：　由 3 个独立的 16 位计时器/计数器组成。其中 2 个用来计外部事件数，提供从具有任何占空比的 CPU 时钟或外部时钟中导出的波形。或在计到指定次数的“事件”之后中断 CPU。第三个计时器只计算 CPU 时钟，并且可以用来在达到 CPU 预先编程的时钟周期数以后中断 CPU。

中断控制器：　这个控制器仲裁在所有内部和外部源之间的中断请求，它可以作为主控制器与 2 个外部 8259A 中断控制器直接级联。此外也可作为一个外部中断控制器的从中断控制

器。

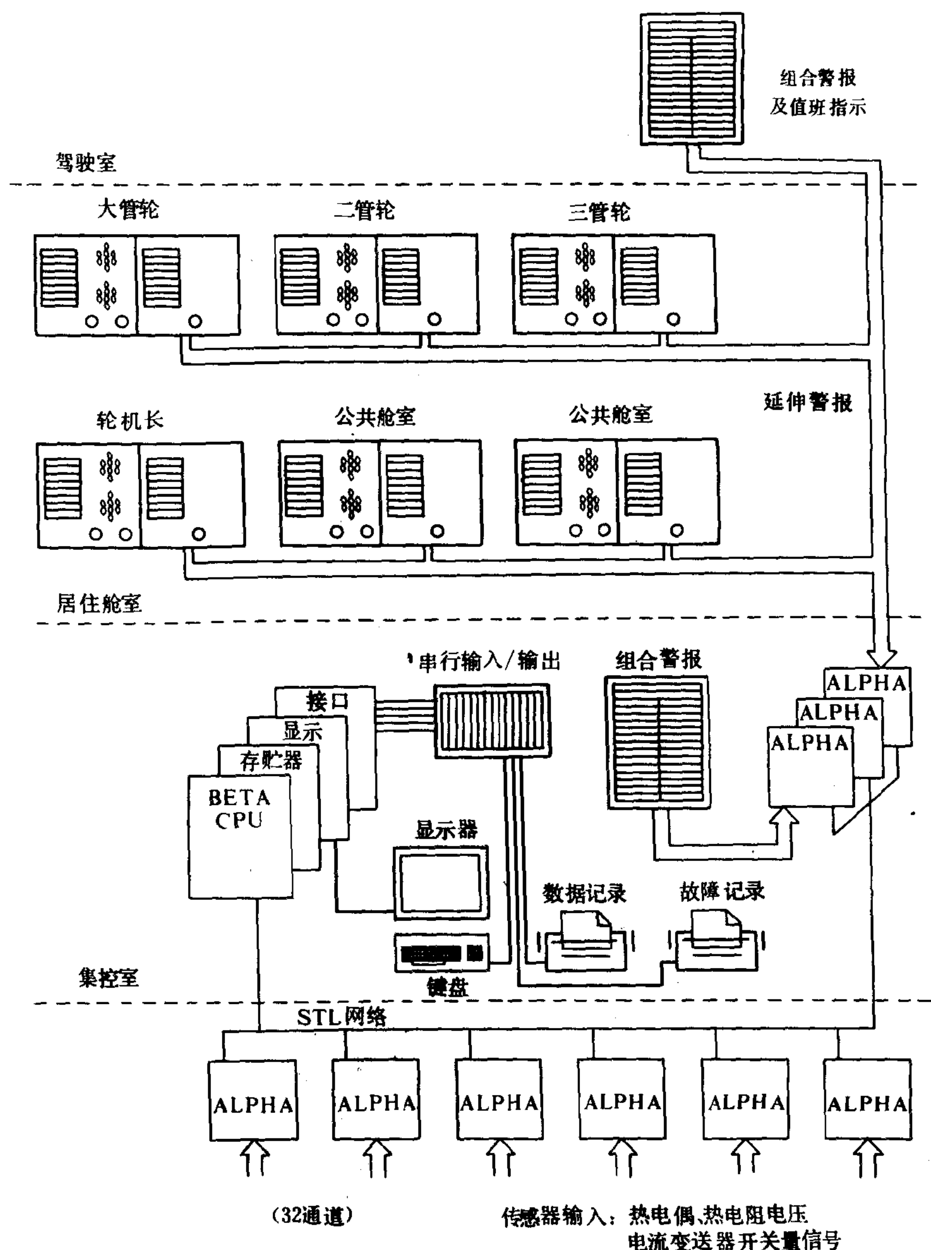


图 9.5.3—21　UMS900 监视系统

时钟发生器： iAPX186 包含一个时钟发生器和晶体振荡器，该晶体振荡器的时钟频率是 CPU 时钟频率的二倍。如使用外接振荡器，其频率亦应二倍于 CPU 的时钟频率。

片选和准备就绪信号发生器： 用来选择存贮器或外围设备。6 条输出线可用作存贮器寻址，7 条输出线可用作外围设备寻址。

为了能分别地寻址，一个典型的 iAPX186 系统主存贮器区域片选线分成 3 组，分别用于存贮器最高地址的启动 ROM 区，存贮器最低地址的中断向量区以及存贮器中部的程序存贮区。每个区域的容量是用户可编程序的。最低存贮器单元和最高存贮器单元的地址固定在 00000H 和 FFFFFH。中部存贮器起始地址是用户可编程序的。

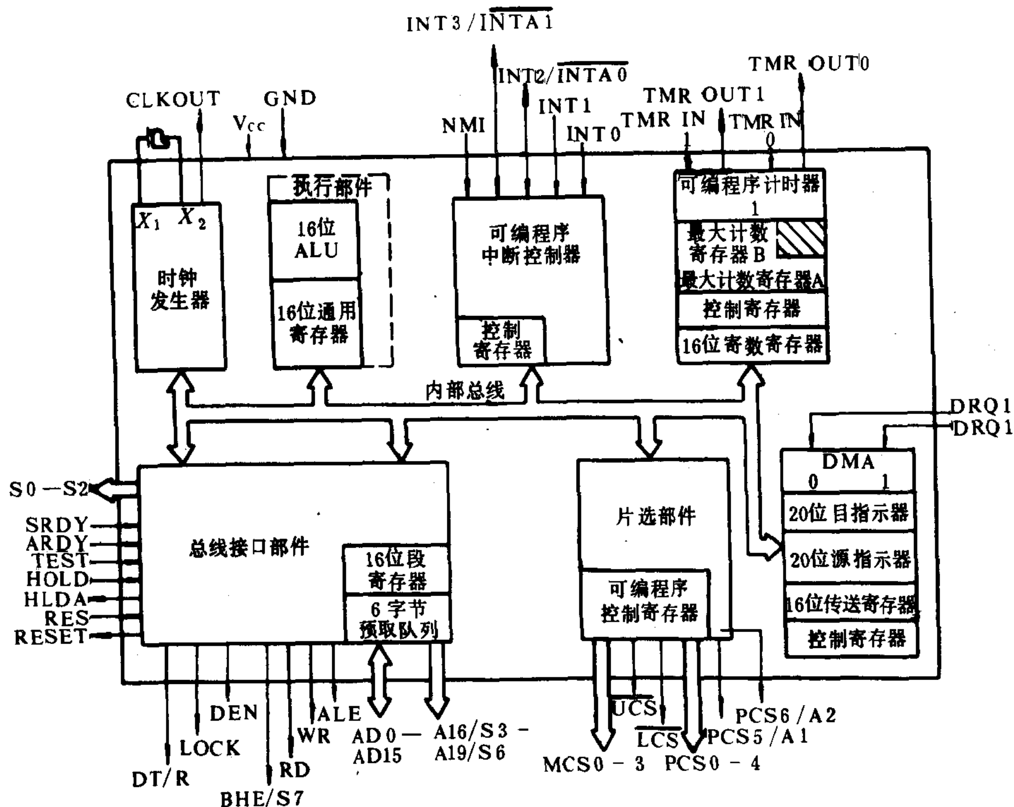


图 9.5.3—22 iAPX186 方框图

7 条外围选择线中的每一条寻址高于一个可编程序的基地址的 7 个相邻的 128 字节的块。这个基址可以放在存贮器空间中，也可放在 I/O 空间中，以便实现外围设备的 I/O 或存贮器映象。

每一编程片选区域与一组可编程序的准备就绪位相联系。这些准备就绪位控制一个集成的等待状态发生器。这样就能对与该片选区相关的存贮器区进行访问时自动插入数个可编程序的等待状态(0 到 3)。另外，每组准备就绪位中包括一个决定外部准备就绪信号(ARDY 和 SRDY)是否被使用或被忽略(即尽管在外部引脚上还没有返回一个准备就绪信号，总线周期也将终止)的准备就绪位。总共有 5 个准备就绪位集，它们各自能为最高存贮区，最低存贮区、中部存贮区，外围设备 0～3 和外围设备 4～6 产生独立的准备就绪信号。

iAPX186 片脚功能见表 9.5.3－1

表 9.5.3－1 **iAPX186 片脚功能表**

	名 称	功 能		名 称	功 能		名 称	功 能
1	AD15	地址 数据	2	AD7	地址/数据	2	AD14	地址/数据
4	AD6	地址/数据	5	AD13	地址/数据	6	AD5	地址/数据

续上表

	名 称	功 能		名 称	功 能		名 称	功 能
7	AD10	地址/数据	8	AD4	地址/数据	9	V_{SS}	地
10	AD11	地址/数据	11	AD3	地址/数据	12	AD_{10}	地址/数据
13	AD0	地 址/数据	14	AD9	地址/数据	15	AD1	地址/数据
16	AD8	地址/数据	17	AD0	地址/数据	18	DRQO	数据请求
19	DRQ1	数据请求	20	TIMIN0	计时器 0 输入	21	TIMINI	计时器 1 输入
22	TIMOUTO	计时器输出	23	TIMOUT	(计时器输出)	24	$\overline{RES}$	复位
25	$\overline{PCSO}$	外围选片	26	V_{SS}	地	27	$\overline{PCSI}$	外围片选
28	$\overline{PCS2}$	外国片选	29	$\overline{PCS3}$	外围片选	30	$\overline{PCS4}$	外围片选
31	$\overline{PCS5}$,A1	片选	32	$\overline{PCS6}$	42 片选	33	$\overline{LCS}$	存储器片选
34	$\overline{UCS}$	存储器片选	35	MCS3	存储器片选	36	MCS2	存储器片选
37	$\overline{MCS1}$	存储器片选	38	$\overline{MCSO}$	存储器片选	39	DEN	数据允许
40	DT/R	数据收发	41	INT3/$\overline{INTAI}$	中断/响应	42	NT2/$\overline{INTAO}$	中断/ 响应
43	V_{CC}		44	INT1V_{SS} INT1	中断请求	45	INTO	中断请求
46	NMI	非屏蔽中断请求	47	$\overline{TEST}$	总线试验	48	$\overline{LOCK}$	总线封锁
49	SRDY	同步准备就绪	50	HOLD	总线请求保持	51	HLDA	总线保持响应
52	$\overline{S0}$	总线周期状态	53	$\overline{SI}$	总线周期状态	54	$\overline{S2}$	总线周期状态
55	ARDY	异步准备就绪	56	CLKOUT	时钟输出	57	KESET	系统复位
58	X2	晶体	59	X1	晶体	60	V_{SS}	地
61	ALE/QSO	允许地址锁存/队列	62	$\overline{RD}$/$\overline{QSMD}$	读入/队列	63	$\overline{WR}$/QSI	马/队列
64	$\overline{BHE}$/ST	总线高位有效	65	A19/S6	地址/状态	66	A18/S5	地址/状态
67	A17/S4	地址/状态	68	A16/S3	地址/状态			

4.1.2 α单元

α单元是以 iAPX186 微处理机为 CPU 的微型计算机,其存贮容量可扩展到 64KB E-

PROM，用于基本程序（数据处理、编译程序等）；4KB EEPROM，主要存贮用户程序；16KB RAM 为工作用存贮器。

α 单元包含 32 个 I/O 通道，以实现用户可编程序的信息处理。

1）技术条件

电源：24VDC　±30%

功耗：1A（二进制输出功耗）

输入一输出通道：可编程序通道 30 路（二进制输入，输出及模拟量输出）

专用通道 2 路：用于串行脉冲序列发送或二进制输出

二进制输入：NO/NC，"1">12V，"0"<4V，负载阻抗＝2.6KΩ

二进制输出：24V/1A，

模拟量输入：电压信号：0－10VDC，±5VDC，0－6VDC，7.5VDC、NiCr/Ni、FE/CO

电流信号：0－20mA

电阻信号：0－5KΩ，RTD（电阻温度计）

A/D 转换器：10 位加符号位，转换速度 100μs，

滤波器：一级滤波器 lkHz，20dB/dec，1kHz 以下低频采用软件滤波。

环境温度：55℃

振动：1－13.2Hz±1mm

2）结构　按组装方式分为 2 种型式

（1）面板型装置式　采用欧洲标准 19"框架组装式，公用接口及 I/O 接口均按装在箱体内部。

（2）STL 中继箱型式　STL 中继箱包含 α 单元，公用接口及 I/O 接口。箱体防护等级 IP56，可装于机舱任何处所。

3）α 单元结构

α 单元系统框图参见 9.5.3－23，其基本组成分 4 个部分。

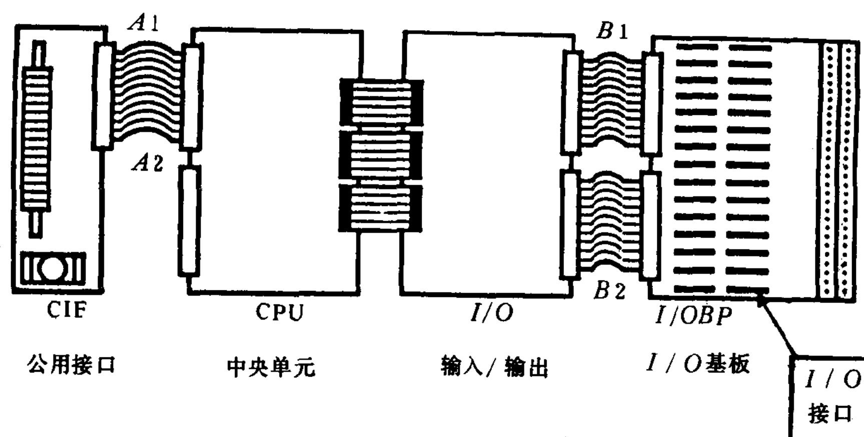
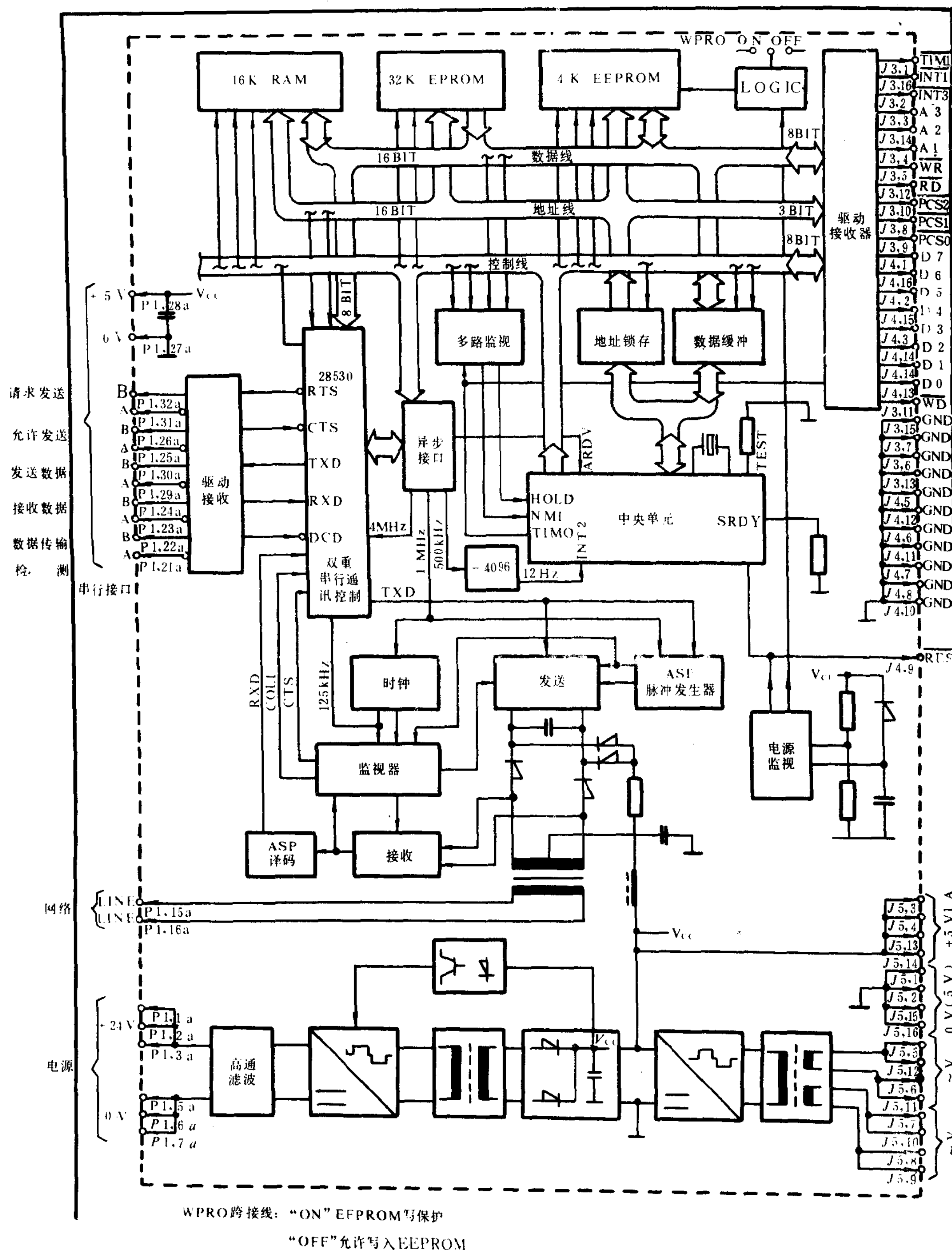


图 9.5.3－23　α 单元结构图



WPRO跨接线："ON"EEPROM写保护

"OFF"允许写入EEPROM

图 9.5.3—24　α—CPU 原理图

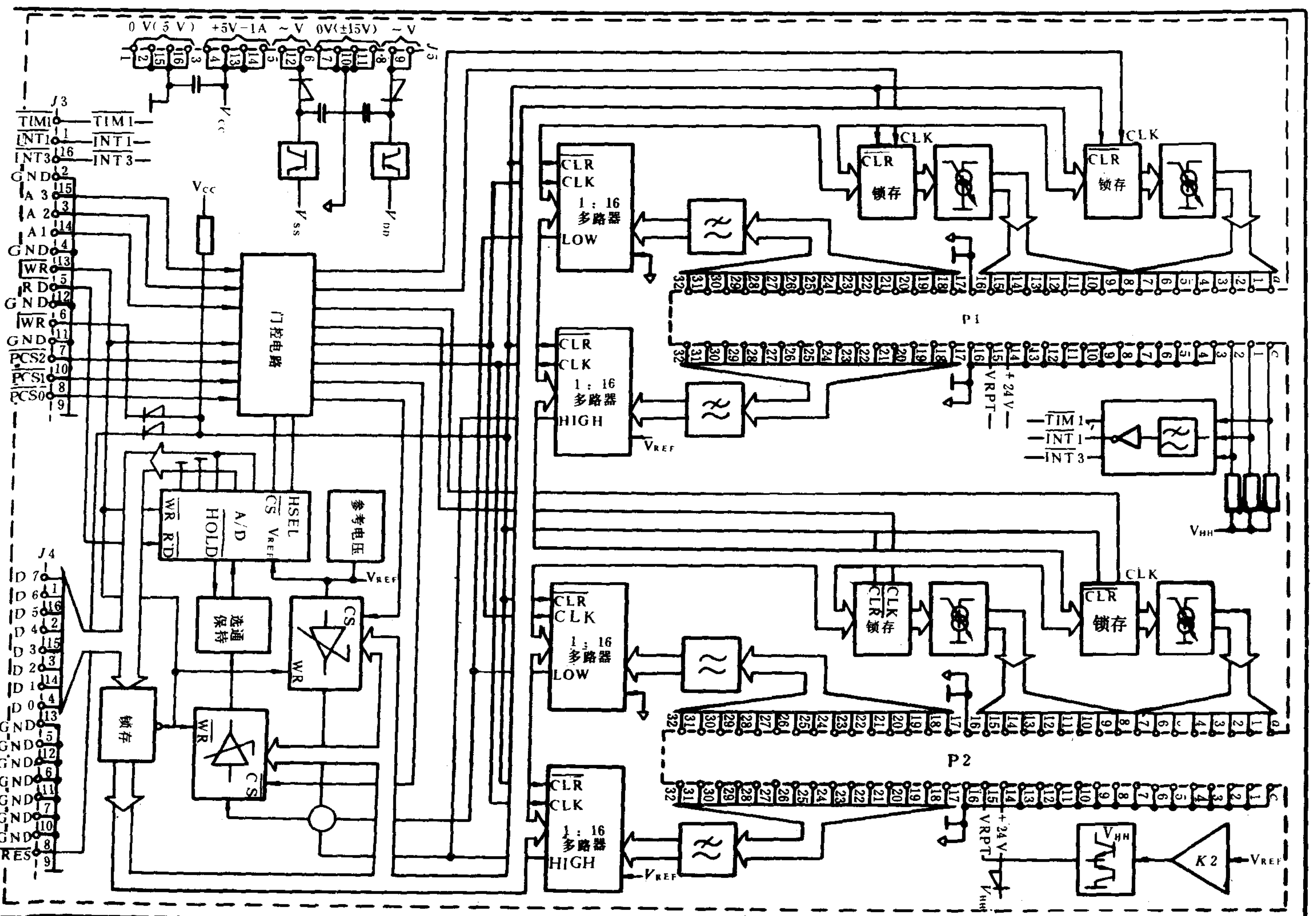


图 9.5.3-25 α—I/O 原理图

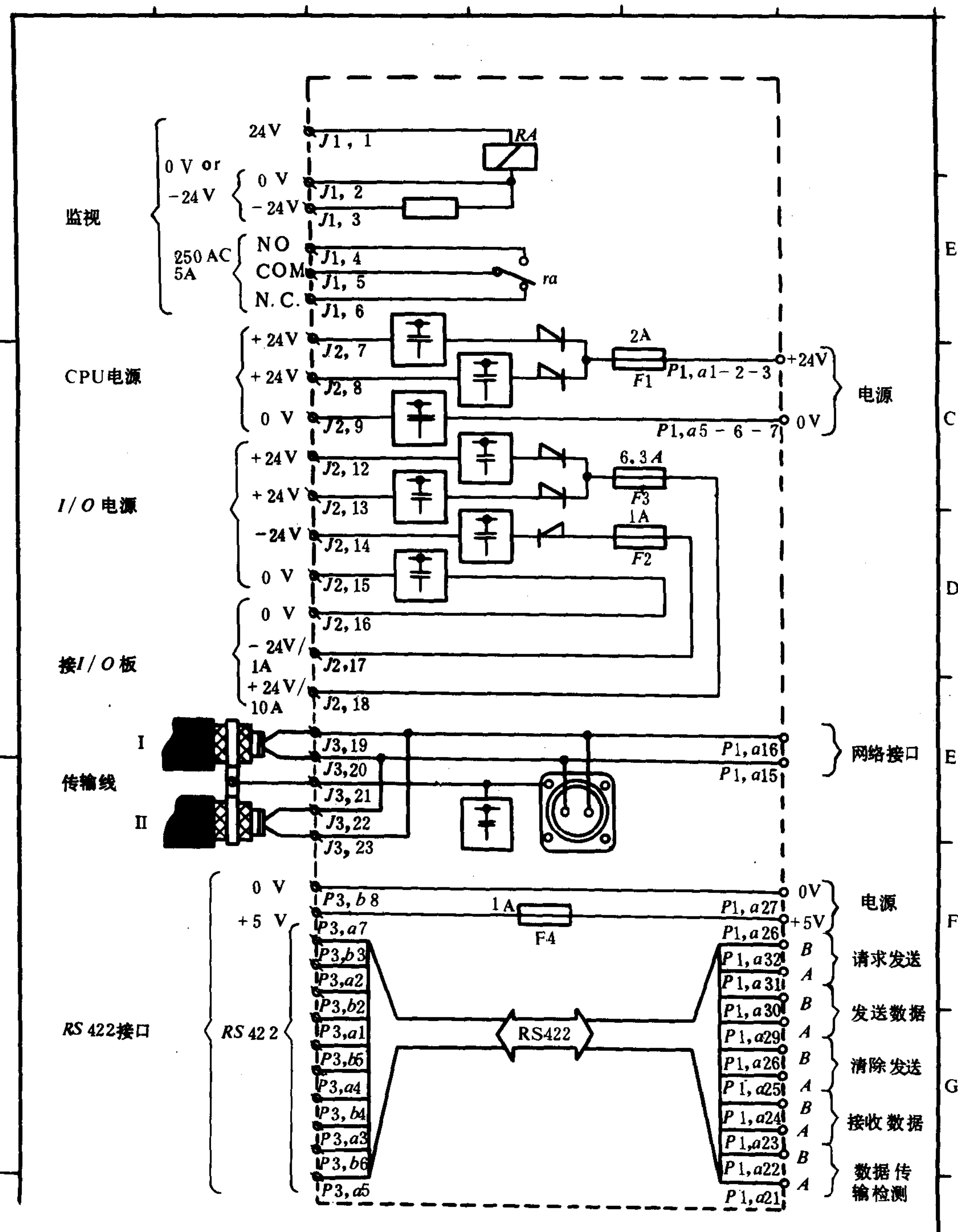
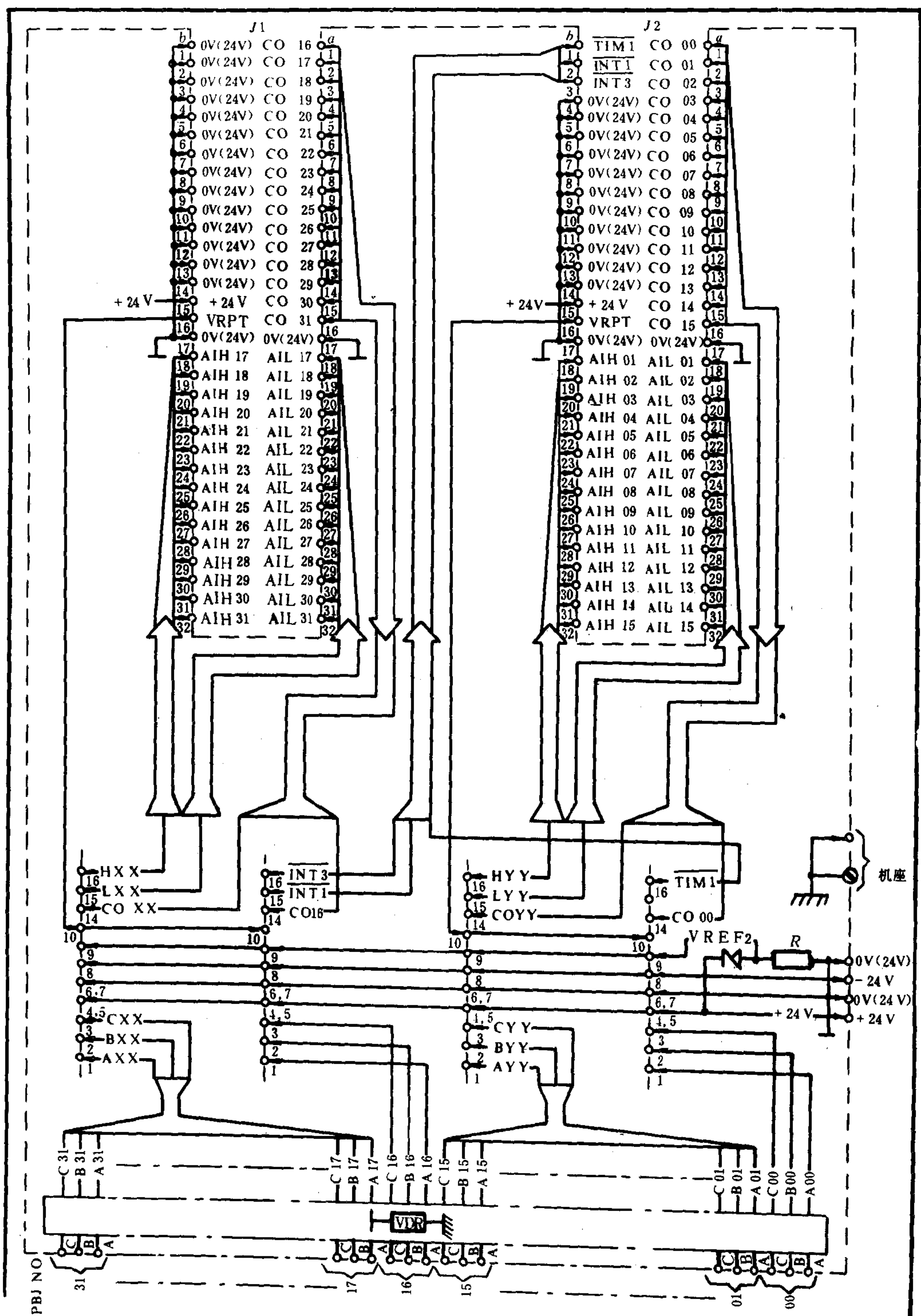


图 9.5.3-26 α公用接口原理图

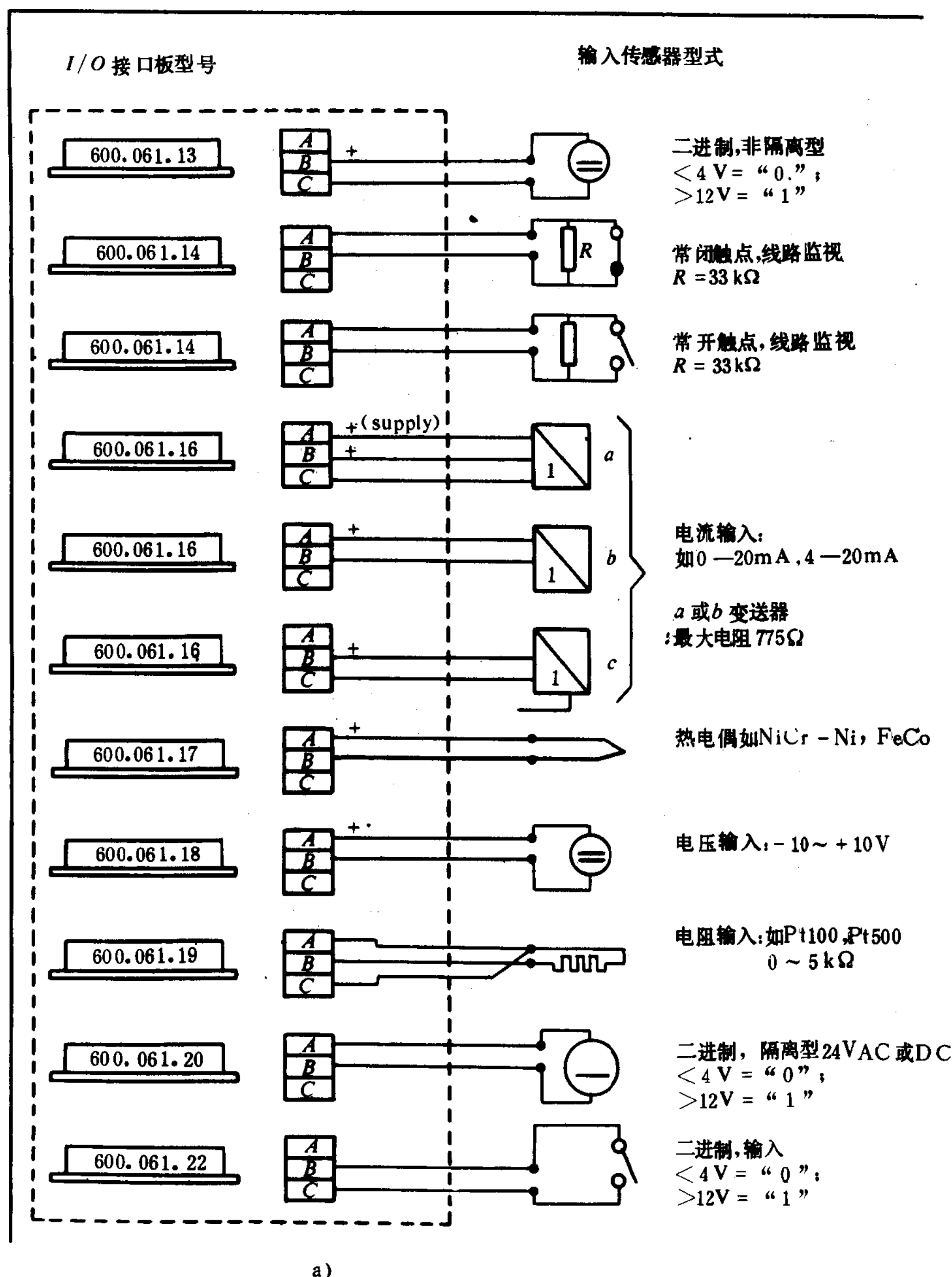


注：CO：现行输出

AIL：输入低

AIH：输入高

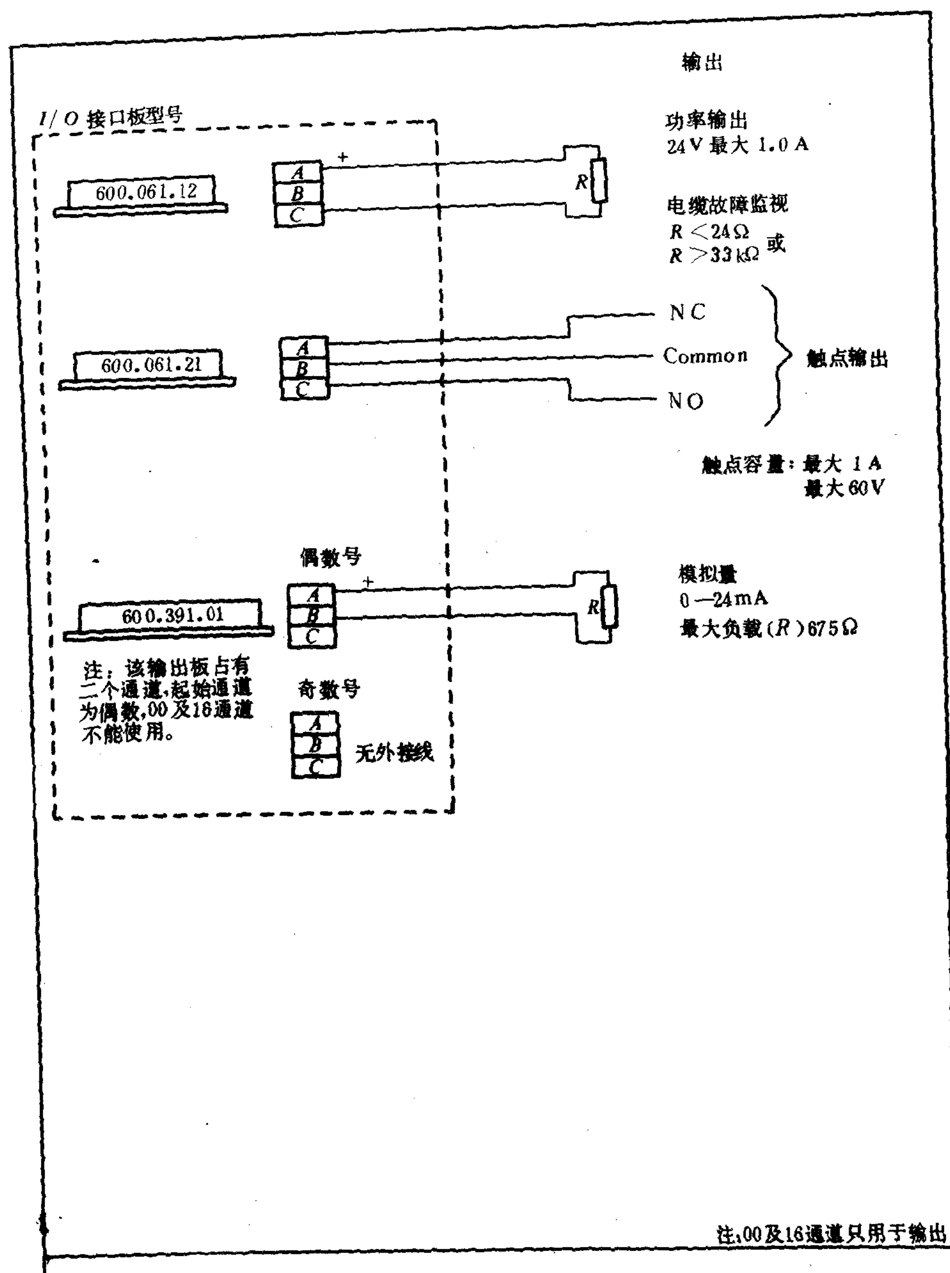
图 9.5.3-27 α-I/O 接口原理图



I/O 接口板型号
输入传感器型式
600.061.13
A
B
C
+
二进制,非隔离型
<4 V= "0.";
>12V = "1"
600.061.14
R
常闭触点,线路监视
R =33 kΩ
600.061.14
常开触点,线路监视
R = 33 kΩ
600.061.16
+(supply)
+
1
a
600.061.16
b
电流输入:
如0 —20mA ,4 —20mA
a 或b 变送器
最大电阻 775Ω
600.061.16
c
600.061.17
热电偶如NiCr - Ni, FeCo
600.061.18
电压输入: - 10~ + 10V
600.061.19
电阻输入:如Pt100 ,Pt500
0 ~ 5 kΩ
600.061.20
二进制, 隔离型24VAC或DC
<4 V = "0";
>12V = "1"
600.061.22
二进制,输入
<4V = "0";
>12V = "1"

a)

图 9.5.3—28



b)

图 9.5.3—28　输入—输出接口单元

a)输入接口单元；b)输出接口单元

(1)α—CPU 单元(图 9.5.3—24)

α—CPU 单元包含 CPU，64KB EPROM，16KB RAM 及 4KB EEPROM，一个通用异步接收/发送器(UART)通过 STL—NET 用于串行同步数据传送(SDLC)，并通过标准接口 RS422 供外部通讯选用。CPU 基板内部电源由 DC/DC 变换器提供。

自检功能：存贮器(EPROM、RAM、EEPROM)监视；输入输出自检，包括熔丝监视，电缆断线、短路监视。

(2)α—I/O 单元(图 9.5.3—25)

α—I/O 单元包含多路转换控制器，A/D 转换器以及控制逻辑电路等。32 路 I/O 通道的输入模拟量和二进制信号经 α—I/O 采样转换后，经数据总线送往 CPU 单元。输出二进制和模

拟量信号经数据传输线从相应通道输出。

(3)α—公用接口(图 9.5.3—26)

公用接口用于①提供 CPU 单元 24V 电源;②提供 I/O 接口±24V 电源;③STL—NET 接口;④显示终端接口或测试用的 RS422 接口;⑤监视器(由α单元的二进制输出信号驱动)。

(4)I/O 接口(图 9.5.3—27)

I/O 接口由一块 I/O 基板和各种类型的 I/O 接口板组成。I/O 接口共有 32 个通道,第 0 和第 16 通道专用于二进制输出,其余通道可任意定义为二进制输入、输出以及模拟量输入。

对应于不同输入、输出物理量,I/O 接口具有不同类型结构。图 9.5。3—28 为各类输入、输出接口电路图。

4.1.3 BETA(β)系统

β 系统的主要功能为:①通过显示终端进行数据传输;②对α单元编制程序;③对数据传输实行监视。

β 系统通过 STL—NET 与网络中的α单元进行信息交换,亦可与其它β系统联机通讯。

β 系统的基本结构如图 9.5.3—29 所示。它以 iAPX186 组成β—CPU,包含 32KB EPROM 16KBRAM、4KB EEPROM 存贮器。β—CPU 通过 796 多总线(MULTIBUS)与系统中的存贮器单元和 I/O 设备实现数据通讯,亦可经 385 串行接口与外部通讯。

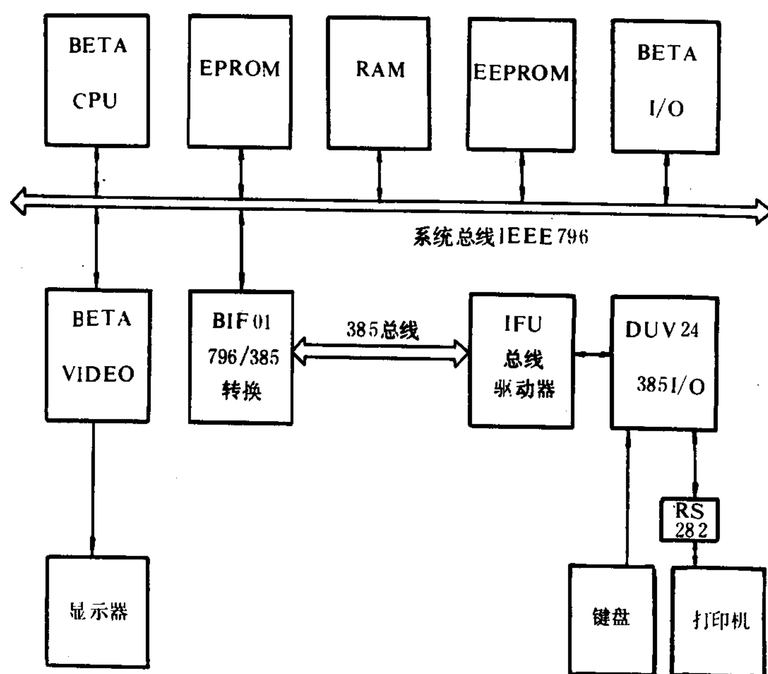


图 9.5.3—29 β系统结构图

1) β—CPU:

主要技术条件

电源	5VDC ±5% ,MAX3.3A、常用 2.1A
总线接口	IEEE 79b
通讯传输	STL—NET 28530
CPU	iAPX186
存贮器	EPROM 32KB RAM 16KB EEPROM 4KB

注：通过 796 总线可扩充到 1M 字节

β—CPU 原理框图如图 9.5.3—30 所示。

g)存贮器单元(β—MEMORY)

β存贮器地址分配参见图 9.5.3—31。

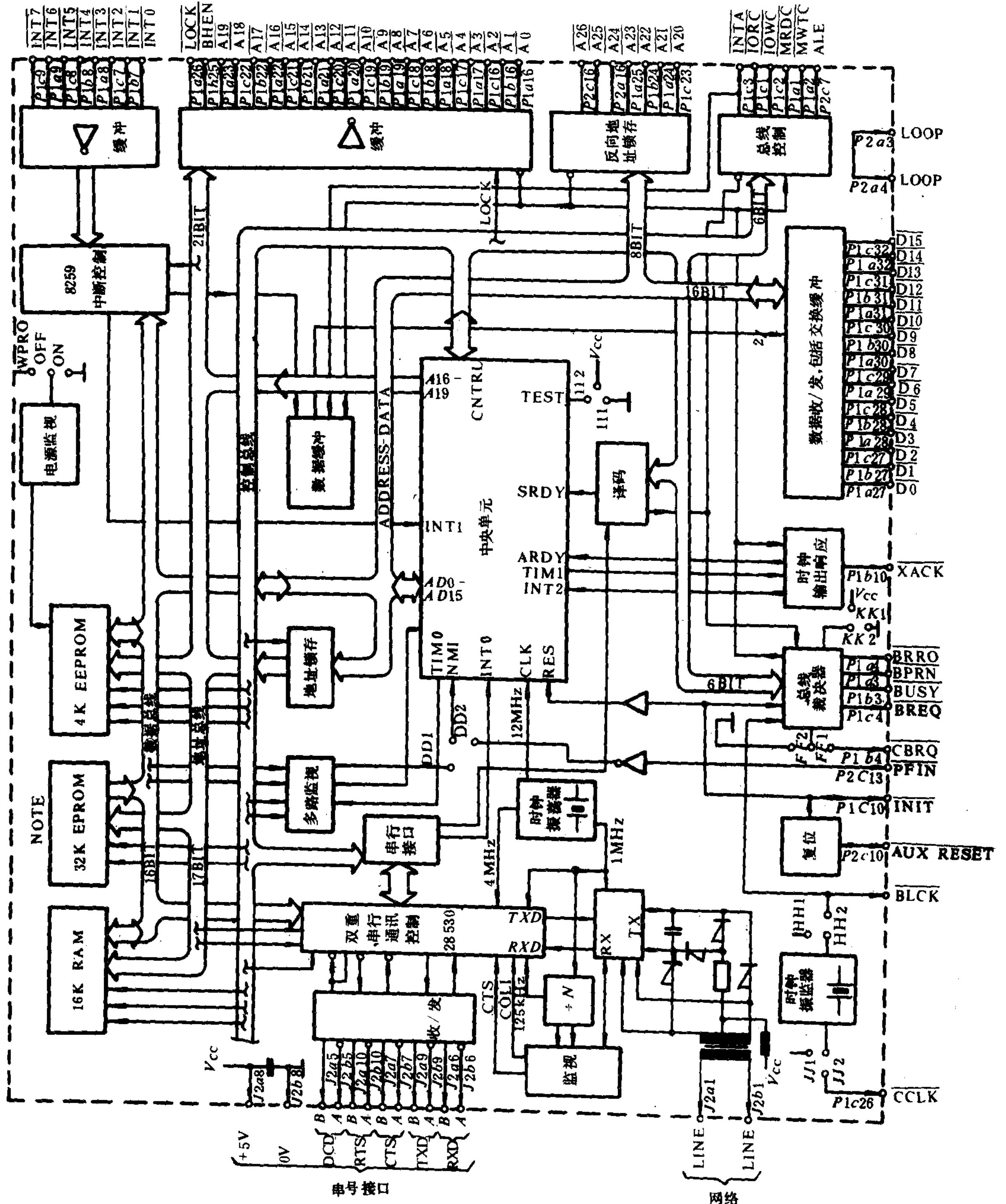


图 9.5.3—30 β—CPU 原理图

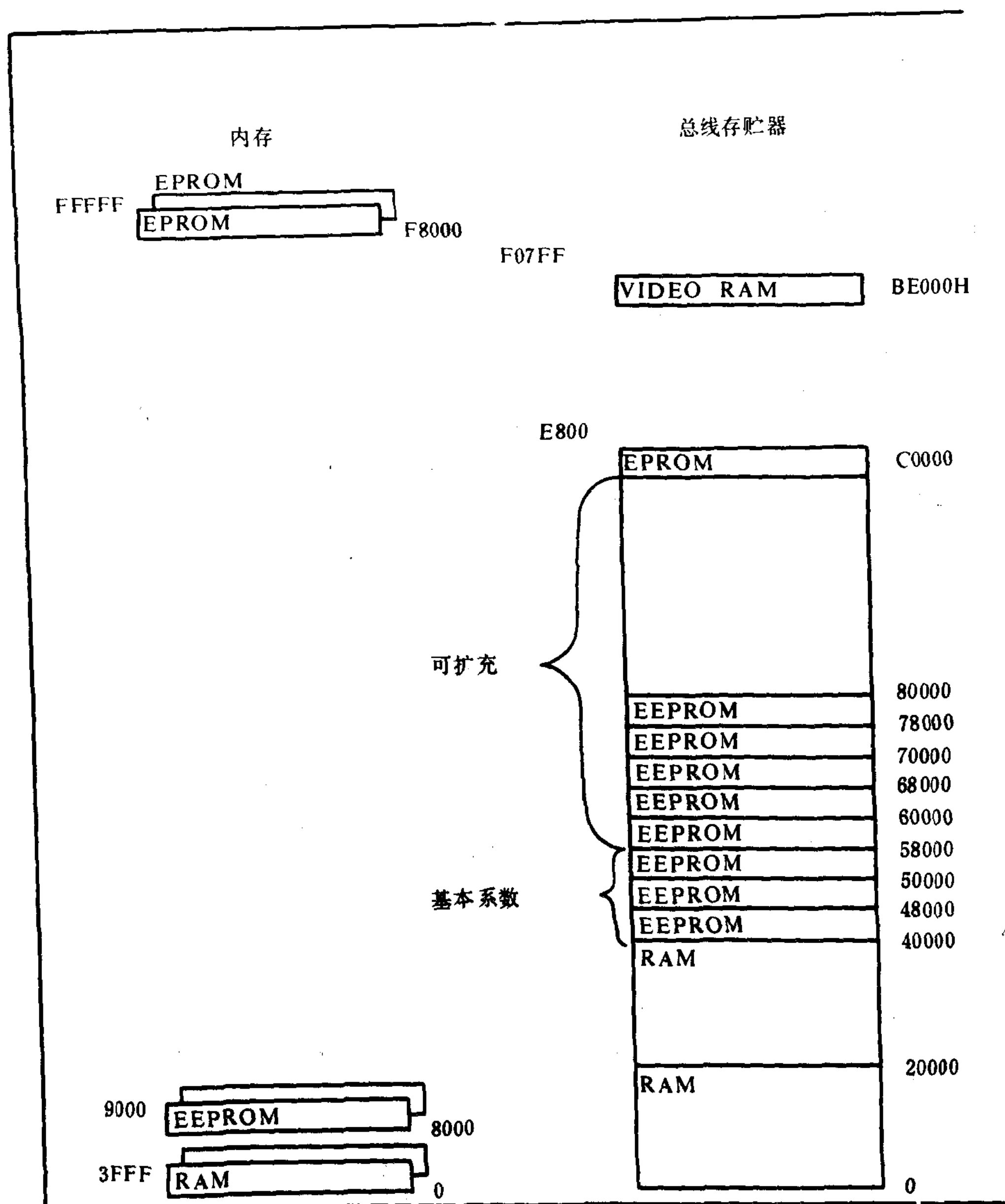


图 9.5.3－31　存贮器地址分配图

3)总线接口

IEEE796 多总线(MULTIBUS)采用异步通信方式，具有多重处理功能的系统总线。它由 24 根地址线，16 根数据线，12 根控制线，9 根中断线及 6 根总线交换线组成。与 MULTIBUS 系统总线相接的印刷板有 2 个多芯插头 P1 及 P2，用来把它插入总线基板，就相当于实现了与 MULTIBUS 的接口。在 β 系统中，这个总线接口可接入多达 21 个模件，并可插入 3 个主设备 β－CPU，其优先级别取决于模件的排列次序。表 9.5.3－2a 和 2b 为 IEEE796 系统总线的信号引脚分布表。

表 9.5.3－2a **IEEE 796 多总线信号和引脚编号**

总线控制	a1	$\overline{MRDC}$ 存储器读命令	b1	$\overline{BCLK}$ 总线时钟	c1	$\overline{IORC}$ I/O 读命令
	a2	$\overline{MWTC}$ 存储器写命令	b2	0V	c2	$\overline{IOWC}$ I/O 写命令
	a3	$\overline{BPRN}$ 总线优先输入	b3	$\overline{BUSY}$ 总线忙	c3	$\overline{INTA}$ 中断响应
	a4	BPRO 总线优先输出	b4	$\overline{CBRQ}$ 公共总线请求	c4	$\overline{BREQ}$总线请求
	a5		b5		c5	
	a6		b6	0V	c6	
中断	a7	$\overline{INT0}$ 中断请求	b7	$\overline{INT1}$中断请求	c7	$\overline{INT2}$中断请求
	a8	$\overline{INT3}$中断请求	b8	$\overline{INT4}$中断请求	c8	$\overline{INT5}$中断请求
	a9	$\overline{INT6}$中断请求	b9	0V 中断请求	c9	$\overline{INT7}$中断请求
总线控制	a10		b10	$\overline{XACK}$传送响应	c10	$\overline{INIT}$初始化
电源	a11	+5V	b11		c11	
	a12	+5V	b12		c12	
	a13		b13	0V	C13	
	a14	+5V	b14		c14	
	a15	+5V	b15	$\overline{INH1}$禁止 RAM	c15	$\overline{INH2}$禁止 PROM
	a16	$\overline{A0}$	b16	$\overline{A1}$	c16	$\overline{A2}$
地址	a17	$\overline{A3}$	b17	0V	c17	$\overline{A4}$
	a18	$\overline{A5}$	b18	$\overline{A6}$	c18	$\overline{A7}$
	a19	$\overline{A8}$	b19	$\overline{A9}$	c19	$\overline{A10}$
	a20	$\overline{A11}$	b20	0V	c20	$\overline{A12}$
	a21	$\overline{A13}$	b21	$\overline{A14}$	c21	$\overline{A15}$
	a22	$\overline{A16}$	b22	$\overline{A17}$	c22	$\overline{A18}$
	a23	$\overline{A19}$	b23	0V	c23	$\overline{A20}$
	a24	$\overline{A21}$	b24	$\overline{A22}$	c24	+5V
	a25	$\overline{A23}$	b25	BHEN允许高字节	c25	+5V
时钟	a26	LOCK锁定	b26	0V	c26	CCLK公共时钟
数据	a27	$\overline{D0}$	b27	$\overline{D1}$	c27	$\overline{D2}$
	a28	$\overline{D3}$	b28	$\overline{D4}$	c28	$\overline{D5}$
	a29	$\overline{D6}$	b29	0V	c29	$\overline{D7}$
	a30	$\overline{D8}$	b30	$\overline{D9}$	c30	$\overline{D10}$
	a31	$\overline{D11}$	b31	$\overline{D12}$	c31	$\overline{D13}$
	a32	$\overline{D14}$	b32	0V	c32	$\overline{D15}$

表 9.5.3－2b　　　　　　　　　　**IEEE 多总线信号和引脚编号**

a1		b1		c1	
2			0V	c2	
3	LOOP				
4	LOOP				
5					
6			0V		
a7		b7		c7	ALE 地址锁存器开放
8					
9			0V		
a10		b10		c10	$\overline{\text{AUXRESET}}$辅助复位
11	+5V				
12	+5V				
13			0V		$\overline{\text{PFIN}}$电源故障中断
14	+5V				
15					
16	$\overline{\text{A24}}$		$\overline{\text{A25}}$		$\overline{\text{A26}}$
17	$\overline{\text{A27}}$		0V		$\overline{\text{A28}}$
18	$\overline{\text{A29}}$		$\overline{\text{A30}}$		$\overline{\text{A31}}$
a19		b19		c19	
20			0V		
21					
22					
23			0V		
24	+5V				
25	+5V				
26			0V		
a27		b27		c27	
28					
29			0V		
a30		b30		c30	
31					
32			0V		

4.1.4　局部网络 STL－NET

在微型计算机系统中，数据交换和数据传输均通过局部地区网络(LOCAL AREA NETWORK)进行。LAN 的拓朴结构常用的有 3 种，①星形网络；②环形网络；③公共总线网络。

STL－NET 属于公共总线网络结构，采用开环双线传输，如图 9.5.3－32 所示。

技术条件：

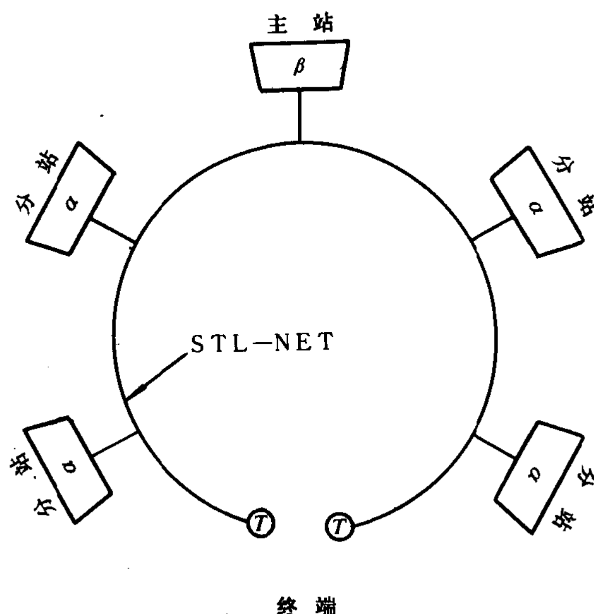


图 9.5.3－32 STL 传输网络

技术条件：

电缆	RG22U 同轴电缆
接插件	UHF 型，α 通用接口
连接方式	输出变压器
传输速度	125 Kb/s
耐 压	2 KV DC，1KV AC
传输距离	2 km
最大直线单元	48
传输控制方式	同步 HDLC (HTGH－LEVEL DATA LIND CONTROL)间接
传码长度	最大 1500 字节，正常 32 字节
数据校验	CRC (CYCLIC REDUNDANCY CHECK)
碰撞检测	包含

4.2 SLS 用户程序手册

STELLA 系统的 ALPHA 单元是一种可编程序控制器(PC)，它具有执行面向用户程序的功能，这种用户程序可直接用 SLS 语言编写。SLS 语言将传统的逻辑电路和模拟电路定义成各种程序段。可根据需要将编制程序通过键盘送入 BETA 系统的数据库(DATA BASE)，随后“装入”ALPHA 单元，存放在 EEPRDM 中，“绘制”成各种功能控制电路。

4.2.1 SLS 汇编语言

4.2.1.1 参数点类(POINT TYPES)

SLS 程序中变量参数的存储点称为参数点。在 α 单元中有 3 类参数点：

输入参数点 INP：32(00H－1FH，或 0－31)

内部参数点 PT：512(00H－IFFH，或 0－511)

常数点 CONNO：43(00H－2AH，或 0－42)

注 1：输入通道 0 及 16(INPOH 及 INPIOH)用于硬件测试。

注 2：内部参数点 0－31(PTOH－PTIFH)用于对输入信号(包括二进制信号在内)的有效性监视。“0”表示信号值在有效范围内。“1”表示信号超出有效范围。

1)输入参数点 INP、NINP：输入参数点是输入模拟量和二进制开关量信号的参数的定义点。编写方式如下，

助记号　　序号

INP〈CHNNELNO〉　　例：INP14H(N0.14 通道的输入参数)。

NINP〈CHNNELNO〉　　例：NINP14H(NO.14 通道的输入参数的反码)。

2)内部参数点 PT，NPT

内部参数点是 RAM 存储器中的存储单元，用于存放模拟量或二进制量变化值。编写方式如下：

PT〈Number〉　　例：PT38H　　(内部参数点 38H)

NPT〈Number〉　　例：NPT38H　　(PT38H 参值的反码)

内部参数点的序号从 0 开始编写，最大值为 511(00H－1FFH)

3)常数点 CONNO，NCONNO

常数点是 EEPROM 中的存储单元，常数点的数值范围规定为－32768 至 32768，由 SLS 编辑程序确定。编写方式如下：

CONNO〈Number〉　　例：CONNO15H(常数点 15H)

NCONNO〈Number〉　　例：NCONNO15H(CONNO15H 参值反码)

4)相关点数据

参数点的定义亦可用该点的相关点编号。编写方式如下，

RPTX　　相当于 PT(n+X)

NRPTX　　相当于 NPT(n+X)

相关点的偏移量为－32768 到＋32768。采用参数的相关点编号，可以简化程序段。

4.2.1.2 定义

1)参数点定义

(1)模拟量参数点定义

PDEF〈参数点序号〉

BLKTIM〈序号〉〈采样时间×1/10S〉

〈定义段〉

〈副作用〉

符号意义：

PDEF　　在 PDEF 这一行，确定参数点的序号。

BLKTIM 包括采样时间、参数点序号及采样时间值。

采样时间、参数点序号在α单元内的采样时间表中予以定义，其序号为0－15。采样时间则由定义值乘以1/10s，最大采样时间为65534×1/10S，相当于1h49min。

〈定义段〉　定义段描述运算过程。

〈副作用〉　副作用操作码用以使SLS编译程序识别与运算结果有关的操作意义。

一个参数点的定义可以包含一定数量的定义段和副作用。

注1：模拟点的参数值是一个整数，其变化范围为－32768至＋32768，如果运算结果超出此范围，SLS编译程序分别定义为－32767或32767。

注2：所有参数点定义完毕，应输入EXIT码，以示退出编辑。

〔例〕模拟参数点定义

语句　注释

PDEF 38H　定义参数点序号为38H

BLKTIM 3H，20　采样时间参数点序号3H，间隔2s运算一次。

PT50H　若PT50H的参数有变化

SUBB　减法运算开始

PT108H
PT105H　参加减法运算的2个参数序号

SUBE　减法运算结束；

AREFP　38H为模拟量参数点。

EXIT　定义结束，退出编辑程序。

(2)二进制(BINARY)参数点定义

PDEF〈pointNO〉

〈定义段〉

〈副作用〉

…

〈定义段〉

〈副作用〉

符号意义：

PDEF在PDEF行确定参数点序号。参数点定义可包含一定数量的PDEF行。

〈定义段〉　定义段描述运算过程。每当二进制参数点源操作数改变时，即进入运算过程。

〈副作用〉　副作用指示编辑程序根据定义段运算结果以确定下一步操作。例如助记号REFP(REFERENCE PINI)表示计算值存放在PDEF行定义的参数点中。

二进制参数点的数值只能是“0”或“1”。

〔例〕二进制参数点定义

语句		注释
PDEF	59H	定义参数点序号为59H
ANDB		加法运算
PT39H		
PT56H		
ANDE		加法结束
REFP		59H是二进制参数点

EXIT　　　　　　　　定义结束,退出编辑程序

(3)二进制输出

一个二进制参数点可用 OUTP 或 NOUTP 语句复制到 ALPHA 单元的一个输出通道。一个参数点的定义可包含一个或多个 OUTR/或 NOUTP 语句。

PDEF〈参数点序号〉

(OUTP〈通道序号〉)＋

(NOUTP〈通道序号〉)＋

〈定义段〉

〈副作用〉

二进制参数点 PT〈序号〉的数值复制到指定通道,NOUTP 的数值则为上述值的反码。

〔例〕语　句

PDEF98H

OUTP5H

NOUTP6H

ANDB

PT85H

PT39H

ANDE

REEP

说明:PT98H 的数值等于 PT85H 与 PT39H 数值的"与"运算。运算结果写入输出通道 5H，其反码写入输出通道 6H。

2)通道定义

所有输入/输出通道定义如下

PDEF(通道编号)

CHANNL〈supervision〉〈type〉〈gain〉〈offset〉〈filter〉

CHANNL　NO:I/O 通道序号

supervision ＝0	无监视要求
supervision＝1	输入信号＜40 出错,无线性监视。 应用:正常开路的二进制输入信号具有并联电阻的电缆断线故障监视
supervision＝2	无监视要求
supervision＝3	二进制输出信号"0",＞113 出错 二进制输出信号"1",＜481 出错 应用二进制输出通道监视,INP 的模拟值范围 0～800
supervision＝4	＜－850 出错 ＞850 出错 应用:模拟量输入值 ,范围－800 至＋800
supervision＝5	＞1020 出错 补偿电缆故障、出错、电阻测量、线性监视 应用:热电阻测量

supervision＝6　　　　　＞1020，出错

应用：模拟量输入最大值监视

〈type〉　　　　　　　　备用码，通常设定为 0

〈gain〉〈offset〉在 α 单元中，不同类型的输入信号均由输入接口电路转换成－10V 到＋10V 的电压信号，该电压信号经放大器输入到 A/D 转换器，放大器具有可编程序失调值和增益。

〈gain〉确定放大系数。增益范围为 1 到 255，即放大系数＝256/增益

〈offset〉确定失调电压增值，增长率为 20mV，失调范围为 0～255 相当于 0 至 5.1V

〈filter〉信号通道滤波器装置，其规定如下，

filter ＝0　无滤波器

＝1　0.5HZ　3dB 一级滤波器

＝2　4H，3dB 二级滤波器

〔例〕 开关输入，常开型

PDEF5H

CHANNL　1，0，255，0，0

〈supervision〉方式 1

〈type〉无要求规定为 0

〈gain〉＜255(放大系数＝256/255)

〈offset〉＝0(失调电压 OV)

无滤波器

表 9.5.3－3 为输入模拟量参数表

表 9.5.3－3　　　　　**输入模拟量参数表**

电压信号

Veltage signals

I/OInterface Unit type600.0618 I/O 接口单元型号

输入信号量程 Input signal range 0%	100%	增益 失调值 〈gain〉，〈offset〉	A/D 输出 Input signal after A/D conversion 0%	100%
0V	6V	102，150	－753	753
－5V	5V	171，0	－749	749
－7.5V	7.5V	255，0	－753	753
0V	10V	171，250	－749	749

Current signals 电流信号

I/O Interface unit type 600.061.16 I/O 接口单元型号

输入信号量程 Input signal range 0%	100%	增益 失调值 〈gain〉，〈offset〉	A/D 输出 Input signal after A/D conversion 0%	100%
4mA	20mA	28，60	－731	731
0mA	20mA	34，50	－753	753

Thermocouple signals 热电偶

I/OInterface Unit type 6001.061.17 I/O 接口单元型号

FeCO thermocouple 铁铝合金

输入信号量程 Input signal range 0%	100%	增益 失调值 〈gain〉,〈offset〉	A/D 输出 Input signal after A/D conversion 0%	100%
0℃	400℃			
0mV	21.846mV	1,1	−512	47
0℃	600℃			
0mV	33.096 mV	1,1	−512	335
0℃	800℃			
0mV	45.498 mV	1,1	−512	653
0℃	1000℃			
0mV	57.942mV	1,1	−512	971

NiGr/Ni thermocouple 镍铬/镍合金

输入信号量程 Input signal range 0%	100%	增益 失调值 〈gain〉,〈offset〉	A/D 输出 Input signal after A/D conversion 0%	100%
0℃	400℃			
0mV	16.395mV	1,1	−512	−92
0℃	600℃			
0mV	24.902mV	1,1	−512	125
0℃	800℃			
0mV	33.277 mV	1,1	−512	340
0℃	1000℃			
0mV	41.269	1,1	−512	544
0℃	600℃			
−2.9 mV	21.99 mV	1,1	−586	51
(cold junction constant at 70℃)				

Resistance signals 电阻信号

I/O Interface Unit type 600.061.19 I/O 接口单元型号

P6 / 100 电阻热电偶

Pt 100 resistancethermometer

输入信号量程 Input signal range 0%	100%	增益失调值 〈gain〉,〈offset〉	A/D 输出 Input signal after A/D conversion 0%	100%

续上表

0 ℃	100 ℃			
100 ohm	138.5 ohm	1,6	−451	558
0 ℃	150 ℃			
100 ohm	157.31 ohm	1,7	−963	540
0 ℃	250 ℃			
100 ohm	194.07ohm	2,8	−737	495
0 ℃	400 ℃			
100 ohm	247.04ohm	2,9	−993	934
0 ℃	600 ℃			
100 ohm	313.59ohm	4,11	−753	647
−30 ℃	60 ℃			
88.22 ohm	123.24 ohm	1,5	−247	671

P_t500 电阻热电偶

P_t500 resistance thermometer

输入信号量程 Input signal range 0%	100%	增益 失调值 ⟨gain⟩,⟨offset⟩	A/D 输出 Input signal after A/D conversion	
0 ℃	100 ℃			
500 ohm	692.5 ohm	4,30	−563	698
0 ℃	150 ℃			
500 ohm	786.55 ohm	5,33	−758	742
0 ℃	250 ℃			
500 ohm	970.65 ohm	8,38	−794	745
0 ℃	400 ℃			
500 ohm	1235.20 ohm	13,44	−725	758
0 ℃	600 ℃			
500 ohm	1567.95 ohm	19,53	−740	737
−30 ℃	60 ℃			
441.10 ohm	616.20 ohm	3,27	−751	776

Pt1000 电阻热电偶

Pt 1000 resistance thermometer

输入信号量程 Input signal range 0%	100%	增益 失调值 ⟨gain⟩,⟨offset⟩	A/D 输出 Input signal after A/D conversion 0%	100%

续上表

0℃	1000℃			
1000 ohm	1385 ohm	7,61	−716	724
0℃	150℃			
1000 ohm	1573.1 ohm	10,66	−758	745
0℃	250℃			
1000 ohm	1940.7 ohm	17,75	−717	736
0℃	400℃			
1000 ohm	2407,7 ohm	25,87	−733	742
0℃	600℃			
1000 ohm	3135.9ohm	40,106	−701	698
−30℃	60℃			
882.2 ohm	1232.4 ohm	6,54	−755	777

Other resistance signals 其它电阻信号

输入信号量程 Input signal range 0%	100%	增益 失调值 〈gain〉,〈offset〉	A/D 输出 Input signal after A/D conversion 0%	100%
0ohm	100ohm	2,3	−768	543
0 ohm	150 ohm	3,4	−683	628
0 ohm	200 ohm	4,5	−640	671
0 ohm	250 ohm	4,6	−768	870
0 ohm	500 ohm	9,13	−740	717
0 ohm	1000 ohm	18,26	−740	717
0 ohm	2000 ohm	36,52	−740	717
0 ohm	5000 ohm	88,128	−745	745

3)复制参数点

语句 COPYTO 用于将某一定义点的参数(模拟量或二进制量)复制到其它 α 单元的参数点中。复制程序是在该点参数发生变化时执行的。编号方式如下:

PDEF 〈参数点序号〉

BLKTIM〈序号〉〈采样时间×1/10s〉

(COPYTO〈目的地址点〉〈α 单元〉)+

〈定义段〉

〈副作用〉

参数点定义可以包含一定数量的 COPYTO 行。注意,每一 α 单元中 COPYTO 及 COPY-PT 语句总数不能超过 176 条。

〔例〕 语句	注释
PDEF 79H	PT79H 的参数
COPYTO 85H,8H	复制到 α 单元 8,PT85H 中

COPYTO　38H,9H　　　　　及α单元 9,PT38H 中

ANDB　　　　　　　PT79H 是 PT35H 与 PT36H 与逻辑结果

PT35H

PT36H

ANDE

REFP　　　　　　该点是参考点

注：如果 COPYTO 行前面是二进制定义段，则当该定义段置"1"时执行复制。当然，参数改变时同样执行复制。

语句 COPYPT 用法与 COPYTO 相同。编写方式为：

PDEF〈序号〉

〈定义段〉

(COPYPT〈源参数点〉〈目的地址点〉〈α 单元〉)+REFP

COPYPT 操作码置于定义点中，被复制的点可任意选择，复制条件与 COPYTO 相同。

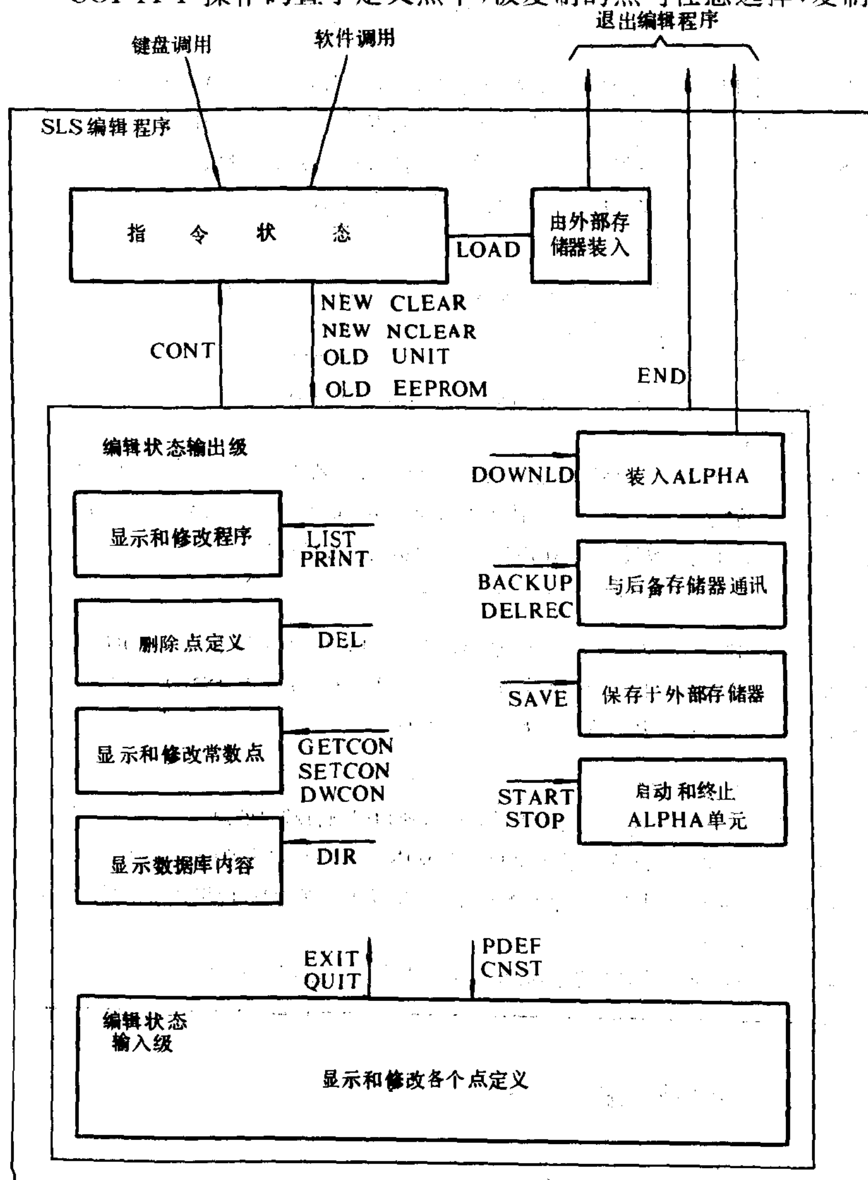


图 9.5.3－33　SLS 编辑程序结构图

4)置常数

常数的编写方式：

CONST〈数值〉

〈数值〉是模拟量时为－32768 至＋32768 之间，是二进制数时为 0 和 1。

例如：CONST260

表示常数值为 260

NCONST〈数值〉

为常数值的反码

ONE　置常数值为 1(模拟量或二进制量)

ZERO　置常数值为 0(模拟量或二进制量)

4.2.2　SLS 编辑程序

SLS 编辑程序结构如图 9.5.3－33。

SLS 编辑程序(又称为 BETA STL－DIROS 编辑程序)可以由键盘调用(按专用的软键 START EDITOR)，也可以由软件调用(参见软件调用 SLS 编辑程序)。编辑程序将 STELLHPLC 简明参考手册中所陈述的 SLS 指令译成十六进制代

码形式。编辑程序被调用后即处于指令状态。

在指令状态下，程序员可以告诉编辑程序将要编辑哪个程序，它是一个新程序(NEW-CLEAR)还是一个已存储在系统中的现存程序(NEW NCLEAR，OLD UNITX，OLD EEP-ROMX)。程序员还可以指定通过一个串行通讯线从外部存储器输入一个程序(LOAD)。

编辑程序可以从指令状态进入编辑状态。在编辑状态下，它可以完成下述功能：

——显示和打印 SLS 程序

——建立，修改和删除点定义

——设置常数点和置常数

——将 SLS 程序装入 ALPHA 单元

——通过串行通讯线将 SLS 程序保存在外部存储器中

注意：SLS 编辑程序允许使用宏指令和符号代码。

1)指令状态

状态指令	功 能 说 明
NEW CLEAR	编辑程序消除 BETA 系统 SLS 缓冲器中的内容。向已清除内容的 ALPHA 单元编辑程序时应使用本指令。如果从键盘上调用编辑程序，则编辑程序要询问 ALPHA 单元的序号及 SLS 符号表的容量(点数和定义表的容量)。所输入的符号表容量值存入指定的 ALPHA 单元。如果由软件调用编辑程序，符号表容量由系统内部约定
NEW NCLEAR	编辑程序保留 SLS 符号表中的内容。需要增加和修改现存的 SLS 程序时，应当使用本指令。使用本指令不改变符号表的容量
OLD LINITX	编辑程序将序号为 X(0H≤X≤F5H)的 ALPHA 单元中的 SLS 程序复制到 BETA 系统中的 SLS 缓冲器中。 EEPROM 中的常数点(CONNO)也被复制到 SLS 缓冲器中。需要增加或修改 X 号 ALPHA 单元中现存的 SLS 程序时，应当使用本指令。实际的符号表也从数据库中复制到 SLS 缓冲器中，而符号表的容量则按 ALPHA 单元中指定的数值确定
OLD EEPROMX	编辑程序将 BETA 系统数据库(EEPROM)中的 SLS 程序复制到 X 号(OH≤X≤F5H)ALPHA 单元中作为备份，其中包括 SLS 代码，EEPROM 常数(CONNO)和最新的符号表。SLS 符号表的容量按 BETA 系统数据库给出的值设定
LOAD	编辑程序等待 SLS 程序通过串行输入端口输入使用时须将端口的地址，终止字符和超时时间预置在启动模块上。由控制字符 XOFF 和 XON 决定串行通讯的停止和启动。在接收到终止字符后，编辑程序即开始编译 SLS 程序。如果发现错误，则打印出错误信息。编译完成后，系统退出编辑程序。 注：在开始串行通讯发送文件之前，必须向编辑程序发出 LOAD 指令

在执行为状态指令之后，编辑程序将进入编辑状态。

2)编辑状态

编辑程序可使用 2 种操作模式：外部定义和内部定义。

外部定义模式可以显示，打印和检验导引程序，建立和删除点定义段。

在内部定义模式下，编辑程序一次只可进入一个定义 点、显示、修改和检验点定义段。

(1)外部指令

指令形式	功 能 说 明
PDEF A	编辑程序退出外部定义，进入内部定义，执行完此指令后，可以检查或修改点定义段
LIST ALL	如果编辑程序是由键盘调用的，则它将显示全部的点定义段
LIST A	显示点定义段 A
LIST A－C	显示序号为 A 至 C 范围内的点定义段(C>A)
PRINT ON	打印 VDU 所显示的内容
PRINT OFF	撤消 PRINT ON 功能
DOWNLD X	编辑程序利用传输级和 STL 标准 ALPHA－BETA 通讯信号将 SLS 符号表的内容传送到序号 X 的 ALPHA 单元中去。执行完 DOW NLD X 命令后，退出编辑程序。如果要再次调用编辑程序，可使用软件调用式按相应的软键。 注：在执行 DOWNLD X 指令之前，编辑程序中断 ALPHA 单元中的 SLS 解释程序。在执行完 DOWNLD X 指令之后，必须再启动 SLS 解释程序(写入 START X)。X 应在 0≤X≤OF5H 范围内
SAVE	编辑程序将 SLS 缓冲器中的代码以 ASCII 码的形式传送到串行端口。端口号及超时时间由预置模件设定。 注：在使用 SAVE 指令之前，将接收媒介设置成接收模式
CNST A,X	CNSTA,X 在 X 号 ALPHA 单元中的点定义 A 的功能与 PDEFA 非常相似，但执行本指令须调用 ALPHA 单元 X 中的编辑程序并且将改变现存点定义常数，诸如定时器数值等。由 EXIT 指令结束点定义的编辑，然后所改变的常数装入 ALPHA 单元。在改变 ALPHA 单元常数之前，自动中断解释程序；改变之后，由中断点自动启动。 注：CNSTA,X 指令中，点定义 A 的结构必须与 X 单元中的点定义A的结构必须与 X 单元中的点定义 A 的结构完全一致，只是常数有所不同。建议本指令只同 SLS 缓冲器中 ALPHA 单元 X 中的程序一起使用。(0≤X≤OF5H)
DWCONA,VALUE	编辑程序在 BETA 系统 SLS 缓冲器中对 CONNOA 设置为数值。当装入程序时(DOWNLDX)，本指令对 ALPHA 单元起作用
GETCONA,X	编辑程序显示 X 号 ALPHA 单元中 CONNOA 的值。 注：CONNOA 并不设置在 BETA 系统 SLS 缓冲器中
SETCONA,VALUE,X	编辑程序立即在 X 号 ALPHA 单元中设置 CONNO A 的数值。 注：CONNO A 不设置在 BETA 系统中，当发出 DOWNLD 指令时，它被重写在 ALPHA 单元中

指令形式	功能说明
CONT	使编辑程序反回到指令状态。当由软件调用编辑程序时,CONT 可以很容易地将 ALPHA 单元程序分成若干个程序段存放在多个 SLS 缓冲器中;当由键发送 CONT 指令时,其作用类似于 END 指令
STOPX	编辑程序中断 X 号 ALPHA 单元中的 SLS 解释程序(0≤X≤OF5H)
STARTX	编辑程序从起始段开始启动 X 号 ALPHA 单元中的 SLS 解释程序。(0≤X≤OF5H)
END	退出编辑程序。如果需要,可以由软键或软件再次调用
BASEX	基数转换指令。X 为 10 时,编辑程序输出为十进制数;X 为 16 时,编辑程序输出为十六进制数。全部输入成为十进制数或为十六进制数。十六进制数后须加上字符 H
BEGIN I	本指令仅可由键盘调用。在写入 SLS 代码之前,本指令将改变显示器 RAM 的空间容量。此容量等于 I 乘以门级。
CODE ON	本指令仅可由键盘调用。除了原码之外,可以将 SLS 代码以十六进制数的形式输出
CODE OFF	停止 SLS 代码以十六进制数的形式输出
DEL A	编辑程序删除点定义(公式表)A
BACKUPA	编辑程序将 SLS 代码和符号表保存在数据库中(EEPROM)。这个备份的标号为 A
DIR	显示数据库 SLS 代码目录
DELREC X	删除数据库中 X 编号的记录
DELSLS A	编辑程序删除 A 号 ALPHA 单元数据库中 SLS 代码和符号表
SYMBOL NAME A	定义符号 NAME 并将其与点定义 A 连在一起
DELSYM NAME	删除符号 NAME
DELSYM ALL	删除本 ALPHA 单元中的全部符号
RESERVA,B	保留 A 编号至 B 编号的点定义以避免被编辑程序调用
MACDEF NAME	定义宏指令 NAME。在 NAME 之后可以有许多形式参数和宏结构
ENDM	终止宏结构
MACDEL NAME	删除宏指令 NAME
MACRO NAME	调用宏指令 NAME。在 NAME 之后可以有许多有效参数 注:在输出级调用一个宏指令时,宏结构中必须包含全部公式表。在发出 EXPAND 或 DOWNLD 指令之后,才能扩展宏指令
EXPAND	扩展宏指令

注:上述提及的所有数字均为十六进制数,在每个数字之后须写上字母 H。

(2)内部指令

如前所述,用户可以利用外部指令 POEFA 和 CNSTA,X 进入内部定义。当用键盘调用编

辑程序且已进入内部定义后，CRT 将显示下述 2 个条件之一：

①NEWAMOEBE 点定义已不存在，可以开始建立点定义。

②OLD AMOEBE 点定义已存在，CRT 显示点定义的第一行，可以开始编辑点定义。

在内部定义时，可以使用下述指令：

指令形式	功能说明
—	编辑程序移至前一行并显示此行内容
+n	点定义段中，编辑程序向前移 n 行并显示此行内容
—n	点定义段中，编辑程序向后移 n 行并显示此行内容
n	编辑程序移至编号为 n 的行并显示此行内容
LIST n	编辑程序向前移 n 行并显示这些行的内容
n,n	显示指定范围内编号的行
LIST ALL	显示全部点定义段
DEL n	删除由当前行开始的 n 行内容
DEL ALL	删除点定义段的全部内容
QUIT	终止编辑点定义且取消所作的全部修改。编辑程序反回外部定义
EXIT	终止编辑点定义，保留所作的全部修改。编辑程序检查语法是否正确。如由键盘调用，将显示某一条语法错误。在这种情况下，如语法错误未予修正，编辑程序不会由 EXIT 指令而退出内部级。如果编辑程序由软件调用，则将显示错误代码并退出内部级
CHECK	检查并修正点定义的语法
CODEON	除了 SLS 代码外，以十六进制数形式输出 SLS 代码
CODE OFF	终止以十六进制数形式输出 SLS 代码
PRINT ON	打印输出 CRT 显示的 SLS 代码
PRINT OFF	取消 PRINT ON 功能
MACRO NAME	调用宏指令 NAME。NAME 之后可以附加一系列有效参数 注：在内部级调用一个宏指令时，宏结构须包含一部分点定义，其中不包括 EXIT

3）软件调用

如果需要由软件调用 BETA SLS 编辑程序，用户须将一信息送至标志 EDTSTART－SEM。信息缓冲器中的前二字节须为 1 和 2 。编辑程序等待处理过程 WAIT－CMD 的终止信息，如果接收到这一终止信息，WAIT－CMD 过程将－ED－ACK－SEM 认可标志传达给用

户。然后，用户可以发出一个信息给标志 EDT－DW－SEM，这个信息包含由编辑程序读出信息缓冲器（ASC Ⅱ 码形式）。

如果编辑程序检索出语法错误，它就将一个 ASCII 错误码写入信息缓冲器的第三和第四字节。信息缓冲器的第一个字用来记录错误数（当出现错误时，这字首先被置为 1）。当下一个代码为 DOWNLDX，CONT 或 END 时，编辑程序中止执行过程。当到达信息缓冲器结尾处，但未收到上述那些代码时，则发出出错信息并且编辑程序中止执行过程。

如果需要更多地修改导引程序，用户可以在信息缓冲器中写入 CONT 语句作为最后一条指令。执行这条指令后，编辑程序中止执行过程，停留在标号 EDT－DW－SEM。利用这个方法，可以省略 EDTSTART－SEM 的执行过程，等待 EDT－ACK－SEM 的响应。

当完成编辑程序后信息缓冲器回到由信息定义给出的起始标号。

注：如果由键盘调用编辑程序，则 ASCII 信息缓冲器中每个指令后的参数和返回符之间必须有一逗号分开。每个新的信息缓冲器必须由状态指令启动。

4）错误代码

SLS 编辑程序所发出的错误代码如下所述。当由软键调用编辑程序时，错误代码显示如下的文字样式；当由软件调用编辑程序时，仅显示错误代号。

1　定义段中起始/终止序号不 协调
2　参数太大
3　型式不符
4　错误的副作用
5　副作用的异常终止
6　参数太小
7　空逻辑门
8　定义段结构冗长
9　文字超出语句范围
10　错误的状态指令
11　装载 MODULE 语言的输入异常终止
12　错误的 SLS 点
13　模拟/数字不匹配
14　STL 网络中断
15　无接收器
16　无发送器
17　PROM 错误
18　SLS 解释程序未中断
19　点定义中的 SLS 码未按正确顺序写入
20　欲修改其中常数的点定义序号不在 ALPHA 单元中
21　SLS 符号表的容量超出
22　PARM1/PARM2 后面的付作用没有符合 PARM1/PARM2 的参数
23　发送器和接收器不同步
24　数据库错误
25　串行装载缓冲器溢出

26　　信号不匹配。再试一遍

27　　串行信号保存

28　　CONNO 表超出

29　　装载错误

4.3　UMS900 操作功能

4.3.1　主要功能

UMS900 系统的各项功能是通过键盘(KEYBOARD)操作，由 VDU 及打印机显示打印实现的，UMS900 的操作使用分为 3 个等级

1)一般级——日常操作使用。

2)特殊级——调整修改参数。

3)密语级——新建或修改系统结构。

表 9.5.3—4 列出了 3 种操作方式及其功能。

4.3.2　键盘

1)键盘布置

操作键盘布置如图 9.5.3—34 所示。键盘的左边为普通操作键盘，右边部分由数字键和功能键组成，此外中间上方设有钥匙开关，用于特殊级操作。

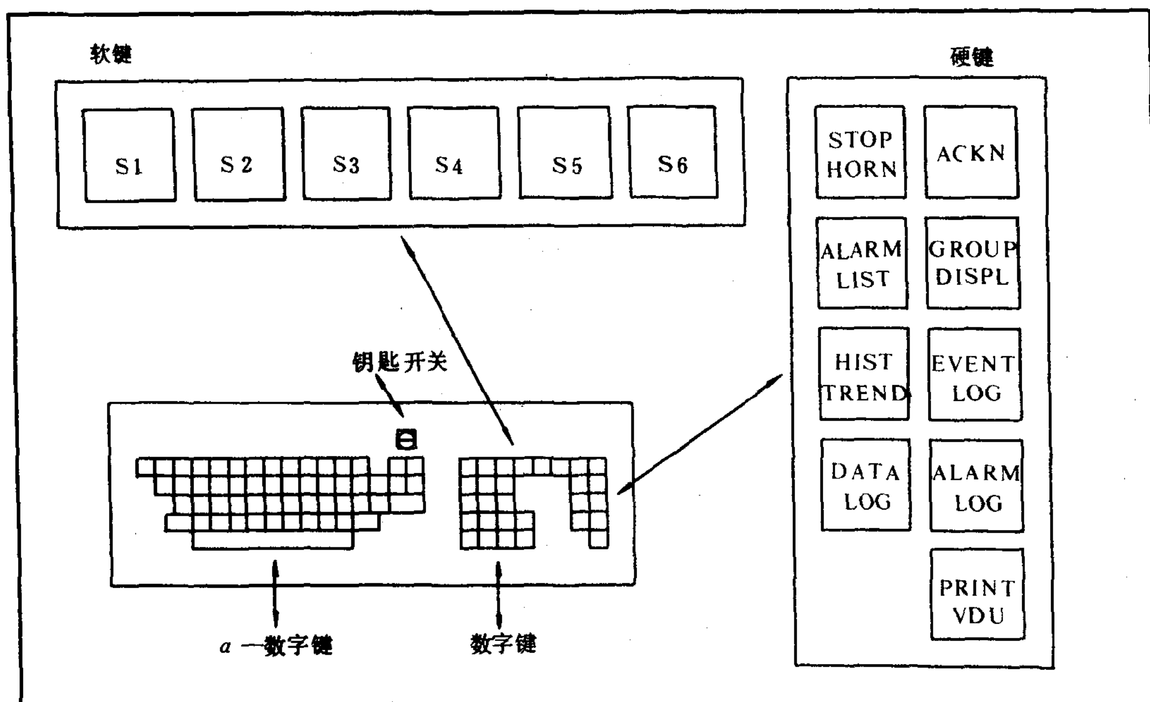


图 9.5.3—34　操作键盘布置

表 9.5.3－4 **键盘操作表**

操作级别	操作方式	功能	图例
一般级		1 警报点显示表(ALARMLIST)	见图 9.5.3－36a)
	软键	2 通道参数显示(CHANNEL DISPLY)	
(UNPRIVILEGED LEVEL)	硬键	3 组合警报显示(GROUP DISPLY)	
		4 趋势分析表(HISTORICAL TREND)	
		5 警报过程记录表(EVENTLOG)	
		6 轮机日表(DATA LOG)	
		7 故障记录(ALARM LOG)	
		8 显示记录(PRIN VDU)	
		1 通道参数修改(CHANNEL MODIFICATION)	
		2 时间校正(TIME ADJUSTMENT)	
	操作键	3 打印控制(PRINT CONTROL)	
特殊级	L＋	4 文本编写(TEXT EDITOR)	
(PRIVILEGED LEVEL)	钥匙开关	5 日志定时记录(LOG INTERVALS)	
		6 警报分组(GROUP MODIFLCATION)	
密语级(PASSWORD PRIVILEGED LEVEL)	操作键＋钥匙开关＋密语	1 通道定义(CHANNEL DEFINITION) 2 新建模件结构(CONFIGURATION CREATION) 3 修改密语(PASSNORD MODIFICATION) 4SLS 编程(DIRECT PROG IN SLS)	见图 9.5.3－36b)

2)功能键

功能键可分为硬健(HARDKEY)和软健(SOFTKEY)2 类。硬键的功能可从键上标注说明予以识别。

软键的功能是通过 UMS900 软 件程序来实现的。键盘上设有 6 个软键 S1—S6，每个软键具有多种操作功能，其实时功能由 VDU 上最低 2 行字符说明予以表示。例如图 9.5.3—36a 中，显示符号为 6“CHANGE KEY”，表示 S6 当前的作用是转换键，如按下 S6，其它 软键 将按 VDU 所表示的意义改变其功能。

功能键的使用　VDU 上显示的画面是通过操作功能键取得的。图 9.5.3—35 列出了硬键和软键操作方式流程图。图中每一行控制键构成一种状态，每种状态具有一定功能。按下某一功能键，将按箭头所示方向或小圆内的行号改变到新的状态。

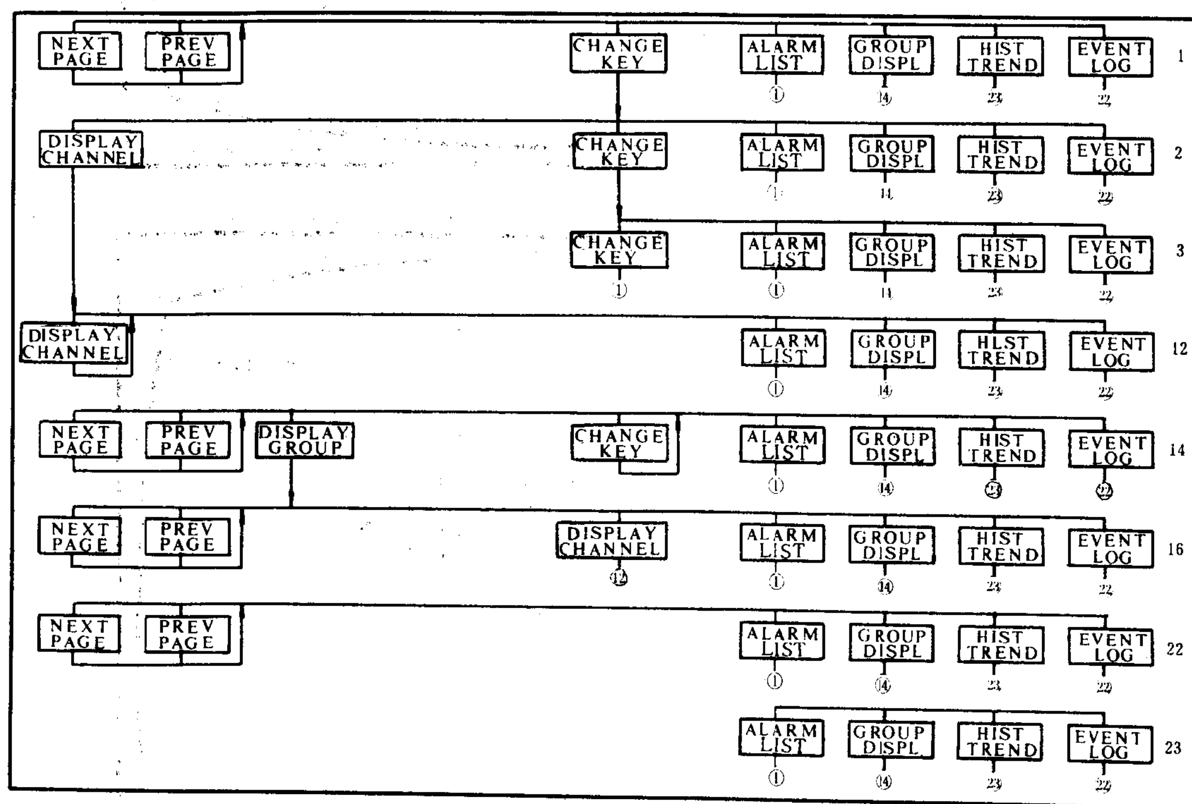


图 9.5.3—35　硬键和软键操作方式流程图

7 ALARMS ALARM LIST PAGE LAST/1
ON DUTY: ENGINE. /1. ENG. 84-01-01 22.05.10

	CHANNEL	DESCRIPTION	STATUS	VALUE	LIMIT	UNIT	TIME
+	215	LUB. OIL INLET	HIGH	53	50	DEG C	18.14.01
+	217	PISTON COOLING WATER OUTLET 4	ALARM	SENSOR FAILURE		DEG C	19.21.02
+	218	PISTON COOLING WATER OUTLET 5	HIGH	84	80	DEG C	19.21.02
+	219	PISTON COOLING WATER OUTLET 6	HIGH	87	80	DEG C	19.21.02
+	222	PISTON COOLING WATER INLET	LOW	0.28	0.35	MPA	19.21.02
+	117	MAIN AIR COMPRESS LUB. OIL PRESS	ALARM	–	–	–	20.08.15
+	223	MAIN ENG INE FUEL	LOW	78	90	DEG C	20.46.32
+	142	EXHAUST GAS DEV. TEMP.	LOW	88.4	-50.0	DEG C	20.54.05

1 NEXT PAGE | 2 PREV PAGE | 6 CHANGE KEY

a)

7 ALARMS:
ON DUTY: 84-01-01 22.08.32

C O N F I G U R A T I O N C R E A T I O N

COMMAND: 8 COPY EE PROM MEMORY
COMMAND: 9 SHOW CONFIGUPATION
COMMAND 10 CREATE NEW CONFIGURATION
COMMAND: 11 CHANGE NAME OF CONFIGURATION
COMMAND: 12 CREATE NEW UNIT
COMMAND: 13 RESTART UNIT
COMMAND: 14 DELETE
COMMAND: 15 READ DESCRIPTION
COMMAND: 255 EXIT

NAME OF CONF IGURATION: TEST BETA

TYPE COMMAND NO:

b)

图 9.5.3-36 VDC 显示

a)警报点显示表;b)结构显示

5　WE－6微机集中监视系统

WE－6系统是日本寺崎电子公司的产品。

5.1　主要部件

包括：微型计算机与接口系统、报警显示板（24灯/单元）、操作板、CRT显示（64字符×16行）、制表记录打印机、和报警记录打印机。

5.2　技术条件

(1)环境温度 0～55℃

(2)相对温度小于95%

(3)船的摆动小于30°

(4)振动　0～13.2Hz，±1mm

13.2～100Hz，±0.7g

(5)电源额定值　220V，AC，50Hz，3∅；24VDC

(6)电源波动　交流电源，电压连续波动范围±10%，3s内间断波动允许±20%；频率连续波动范围±5%，3s内间断波动允许±20%。直流电源，电压波动范围－25%～＋30%。

(7) 功耗　220V，AC时最大为350VA；24V，DC时最大为250W

(8)精度　±1%（满度），环境温度在10～45℃内，精度为±1个数（不包括传感器的精度）

(9)监视方式　连续监视

(10)传感器类型

①温　度　热电阻(Pt100Ω)

②压　力　压力变送器（输出4～20mA）

③触点输入　开关动作时间为500ms

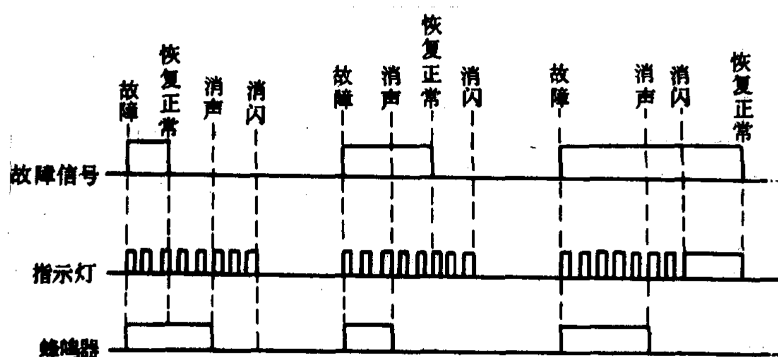


图9.5.3－37　报警形式"A"功能图

④其它输入　可接受电压或电流信号

(11)输入点数　模拟量最多300点输入。开关量最多256点输入

(12)闭锁　最多可闭锁16组输入端

(13)定时器　最多能整定4组报警信号的时间，每组整定范围1～30s

5.3　功　　能

(1)声光报警

①接受温度、压力、液位及触点过程变量信号，越限时发出声光报警，如图9.5.3－37所示。

②接受电动机运转信号，一旦发生故障，系统将发出报警信号，如图 9.5.3—38 所示。

(2)CRT 显示

①编组列表显示。

②单独通道显示　如果需要观看某一个或几个通道的信息，则可以通过“单独通道显示”按钮开关及键盘开关操作选择。

③报警显示　所有发生报警的通道信息，能一次显示出来。

④自动报警显示　把工作异常的通道信息和报警状态，按照它们发生的先后次序自动地显示出来。

⑤时间显示　操作键盘，可在 CRT 屏上显示出当前时间，同时打印机亦能把它记录下来。

⑥更改　操作键盘可以更改下列项目：报警上下限、时间、制表记录间隔和时间延迟。

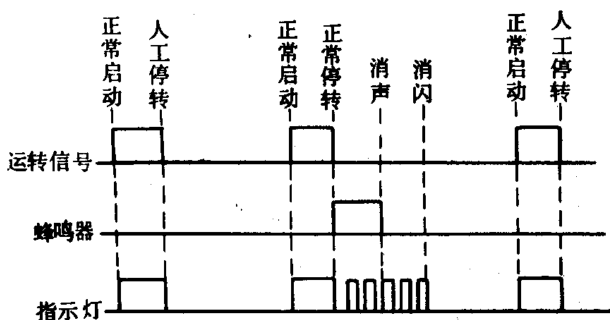


图 9.5.3—38　报警形式“B”功能图

(3)记录　记录可分制表记录和故障记录两种：制表记录由制表打印机执行；故障记录由故障打印机执行。

(4)自检　包括 A/D 转换器、电源、模拟量输入时钟、开关量输入时钟、冷却风扇、开关变量输入接口、制表打印机和故障打印机，其中任何一项发生故障时，相应“监视故障”灯发出闪光，音响器发出声响；揿下“系统失效”开关，CRT 屏上将显示发生故障的信息。

(5)延伸报警

WE—6 系统不仅能够把被监视点的状态在机舱集控室通过各种输出设备显示和记录，而且也能把监视点的报警信号通过延伸报警部件传送到驾驶室、轮机长及轮机员室、过道和餐厅等处。延伸报警信号流程图如图 9.5.3—39 所示。

5.4　结　　构

结构如图 9.5.3—40 所示，它由 4 个部分组成：

(1)微处理器及存贮器部件　包括 M6800 微处理器单元，MPμEMM—101；16Kbit 字节的可编程只读存贮器，PROM　EMP—111；12K 字节的随机存取存贮器，RAM EMR—101。

(2)接口部件　包括有：模拟量输入接口，TMA　EMS—101；开关量输入接口，TM EMS—126；输入/输出和系统监视接口，EMS—911；输入/输出接口，EMS—131；操作板接口，EMV--203；CRT 接口，EMV—212；制表打印机接口，EMT—101；故障打印机接口，EMT—111；指示灯控制器和光电隔离器接口，EMS—141 和 EMS—146。

(3)外围设备

模拟量发送器，ECB—×××；开尖量发送器，ECA—105；取样保持器，ECD—131；表头驱动器，ECD—201；时钟发生器，ECD—111；I/V 转换器，ECD—511；系统监视单元，ENH—112；延伸报警单元和延伸报警控制箱；操作板，EMX—101；CRT 显示器；制表打印机；故障打印机；指示灯驱动器，ECC—×××。

(4)用户应用软件系统

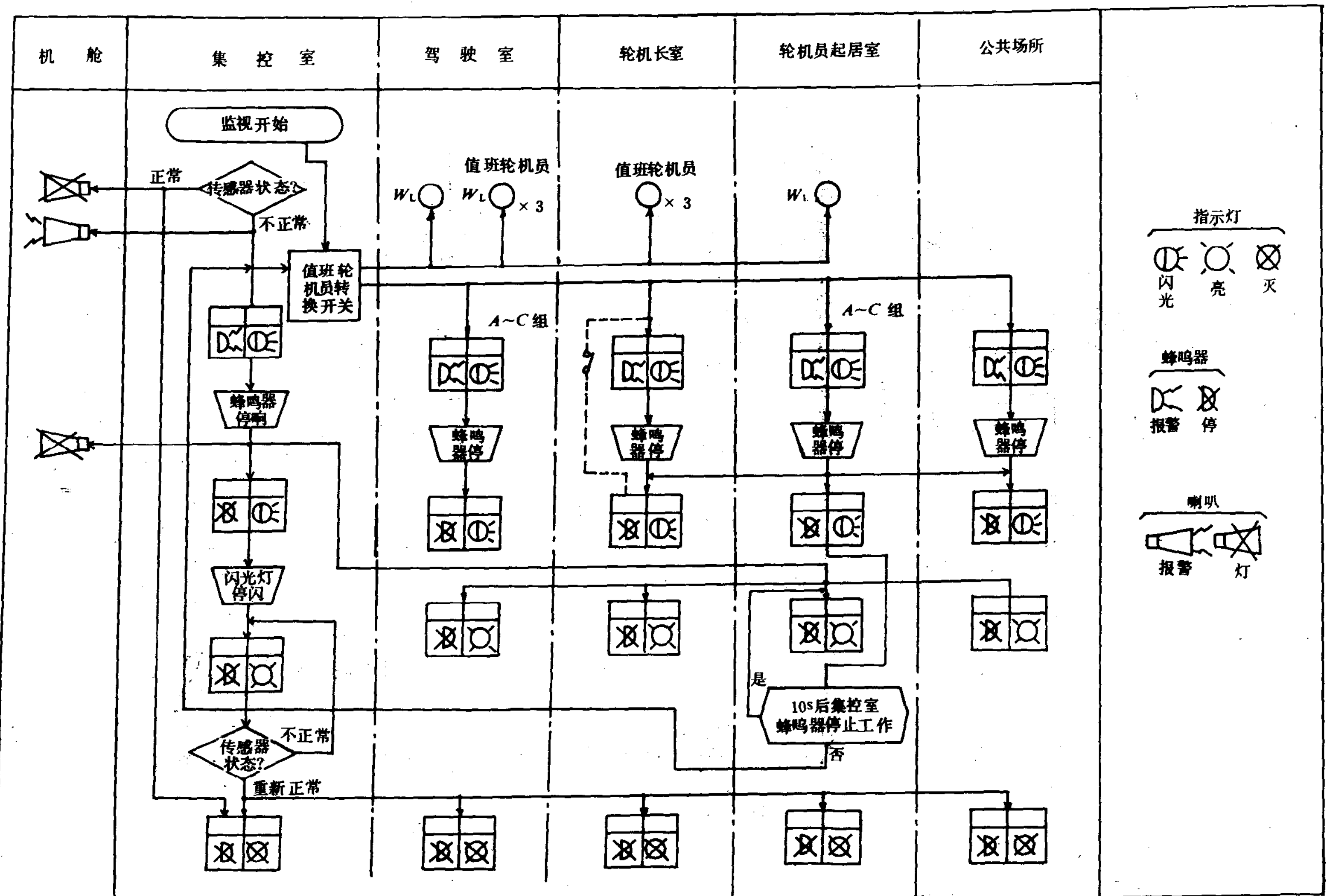


图 9.5.3—39. 延伸报警信号流程图

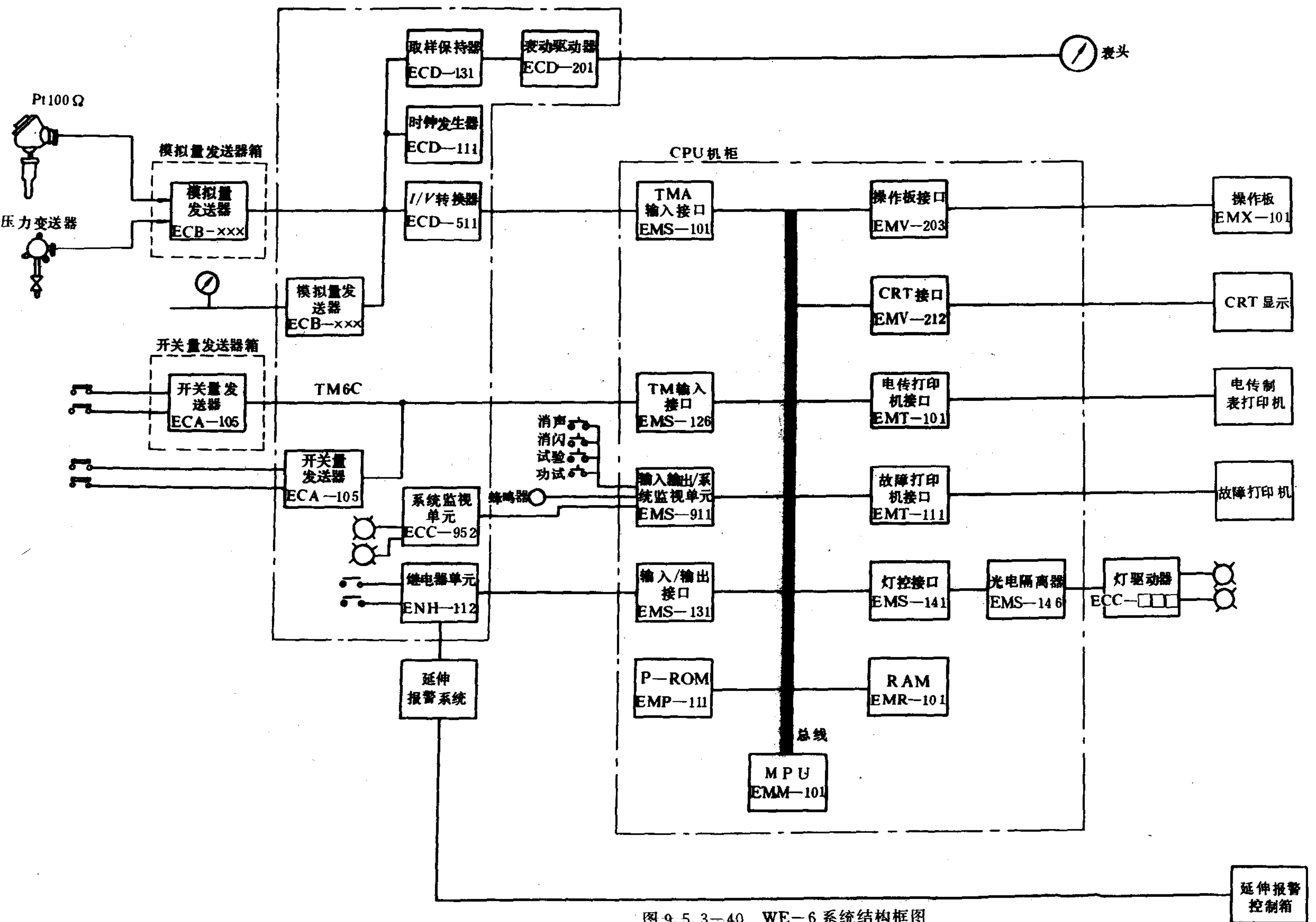


图9.5.3—40　WE—6系统结构框图

5.5 原　　理

5.5.1 软件

软件系统由主程序和中断服务程序两部分组成，如图 9.5.3－41 所示。

当计算机系统接通电源后，主程序立即投入运行，自动执行自检程序。若外界设备有中断请求，则 CPU 立即响应中断，并转入相应的中断服务程序入口地址，执行服务子程序。通常有下列几种服务子程序：开关变量采样子程序、模拟变量采样子程序、时钟子程序、键盘扫描子程序、制表打印子程序、故障打印子程序和 CRT 显示子程序。

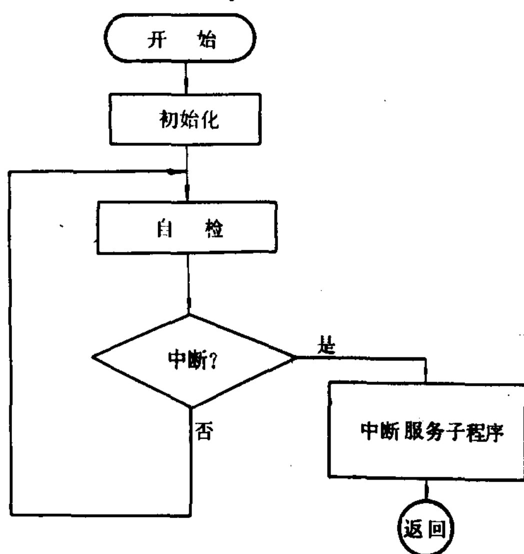


图 9.5.3－41　软件系统框图

5.5.2 硬件

5.5.2.1 WE－6 系统数据采集传输原理　微型机控制的参数监视系统可以由图 9.5.3－42 所示的基本模型表示。

需要采集的数据信息，通常有温度、压力、流量、粘度等模拟量，还有启动器和继电器触点、压力开关、浮子开关等开关量。WE－6 系统中所有模拟量信号均转换成 4～20mA 的统一电流信号；开关量转换成 0～12V 的统一电压信号。

对“无人机舱”的船舶来说，需要采集的数据是大量的，一般多达数百个检测点，它们广泛地分布在主机、辅机、油柜、水柜、锅炉、舵机、空调机及冷藏室等处。

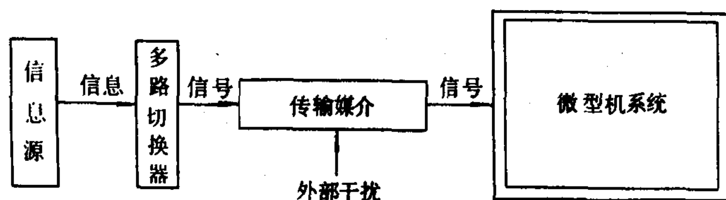


图 9.5.3－42　监视系统基本模型

WE－6 系统数据信息采集传输采用共用线传输系统（WIRE SHARING），这种传输系统以时分多路传输原理为基础，原理框图如图 9.5.3－43 所示。

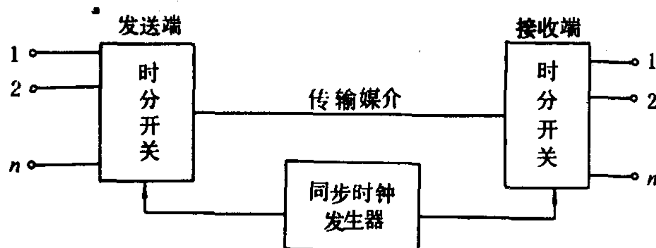


图 9.5.3－43　时分多路传输系统原理框图

为了实现时分多路传输，首先，发送端的时分开关电路按一定的频率对输入信号采样。接收端时分开关的切换频率和发送端的采样频率相同。

5.5.2.2 开关量数据采集输入通道如图 9.5.3－44 所示。

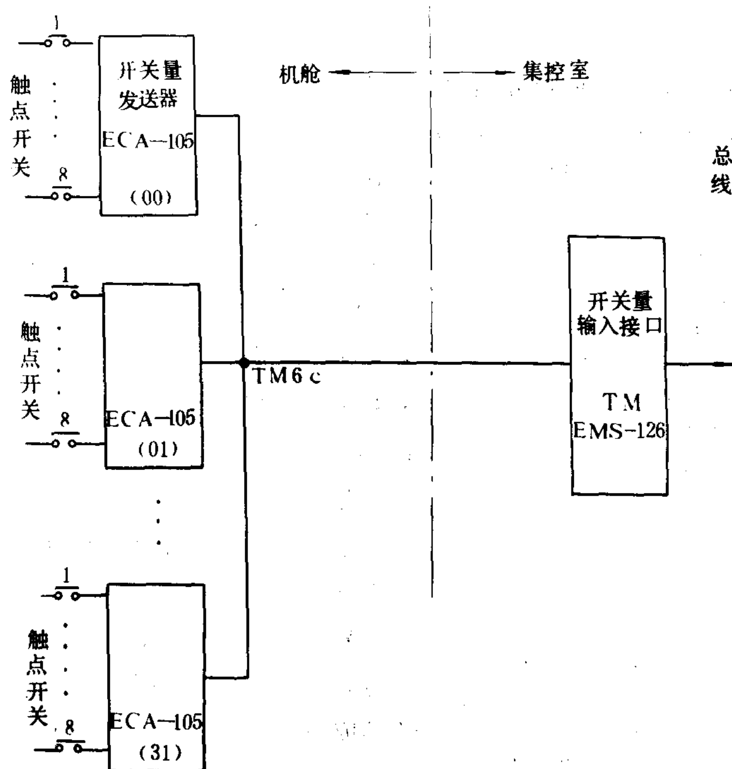


图 9.5.3—44 开关变量数据采集输入通道结构框图

1)开关量多路切换发送器(ECA—105)结构如图 9.5.3—45 所示

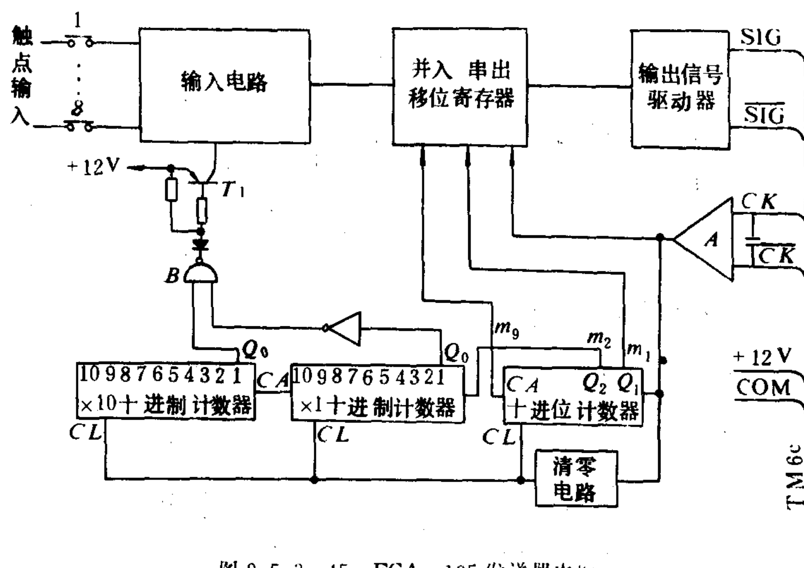


图 9.5.3—45 ECA—105 发送器电路

开关量监视点为 256 点。由于选用 8 位 微机,因此通常把被监视点编成$\frac{256}{8}=32$组,这样采样开关每采一次样正好 8 点。

8 点触点输入信号经输入电路,送至移位寄存器,但要受到×10、×1 计数器输出端子的共同控制。计算机对开关量采集数据,总是设计成从 00 组开始切换采样,按 00、01……、31 组的顺序采样完毕,紧接着清零电路对 3 个十进制计数器清零复位。然后再从 00 组重新开始采样,如此重复地进行来完成发送端的时分多路开关采样的功能。显然实现组与组之间顺序切换是

靠与非门B的控制来完成的，B的两端输入是由×1和×10 十进制计数器来控制的。图9.5.3—45 中的接法正好是00组发送器接通，此时B的输出为“0”，使 T_1 导通，控制输入电路和移位寄存器选通。此后01组发送器的与非门的两个输入端则接到×1计数器的1端和×10计数器的0端。02组、03组、……等均按上述规律连接。

移位寄存器的功能是，接受并行的8位信号，在 m_1、m_9 和CK时钟脉冲信号的控制下，使存入的8位并行信号转变为顺序串行输出信号，经输出信号驱动器变换成具有驱动能力的 $\overline{SIG}$ 和SIG传输信号输出。

2）传输媒介　由6芯电缆线组成传输媒介：时钟脉冲信号CK和 $\overline{CK}$ 两根线；被监视信号SIG和 $\overline{SIG}$ 两根线；电源一根线；共用地一根线。

3）开关变量输入接口（TM EMS—126）

TM EMS—126接口单元结构如图9.5.3—46所示。

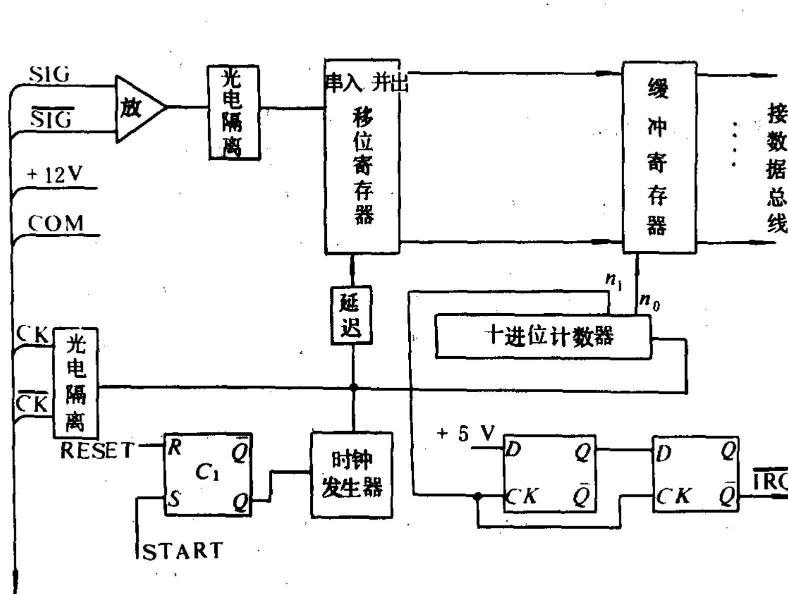


图9.5.3—46　TM EMS—126接口电路

计算机CPU发来 $\overline{START}$（启动）信号，使 C_1 翻为“1”态，控制时钟发生器，使其输出脉冲，并通过光电隔离电路变换成具有驱动能力的 $\overline{CK}$ 及CK同步信号，经6芯电缆线传输给所有开关量多路切换发送器。当第一个CK脉冲信号到来时，m_1 翻成高电平，而B门输出高电平。接着送来第二个CK脉冲信号，m_2 的上跳沿使×1计数器计1，Q_0 端子由“1”变“0”，于是使B输出“0”，遂使 T_1 管导通，控制输入电路把8个开关量送入移位寄存器，同时把第一个开关量信号送上6芯电缆信号线，并传输到EMS—126接口单元的串入/并出移位寄存器。此后，每发一个CK脉冲，串入/并出移位寄存器就接受一个开关量信号，直到第九个CK脉冲到来时，8个开关量全部发送/接收完毕。当第十个CK脉冲到来时，n_0 翻为“1”，使移位寄存器中00组的8个信息，被 n_0 选通接入缓冲寄存器。当第十一个CK脉冲到来时，n1由“0”变“1”，遂使 C_3 翻转输出 $\overline{IRQ}$ 中断申请信号。计算机CPU响应中断，转向中断服务子程序入口，并向接口发出取数控制信号INA，此刻把缓冲寄存器里的暂存00组8个信息送上数据总线，CPU自动地把00组信息存入予先编排好的存贮器单元。同样，当第十二个CK脉冲到来时，自动地把第01组信息，重复上述00组信息传输过程，并和计算机交换01组的数据，直到31组交换结束计算机发来复位信号 $\overline{RESET}$，关闭脉冲发生器。发送器ECA—105的清零电路送出清除3个计数器的信号，这样00组发送器又回到原始状态，等待计算机重新采样。

5.5.2.3　模拟变量数据采集输入通道

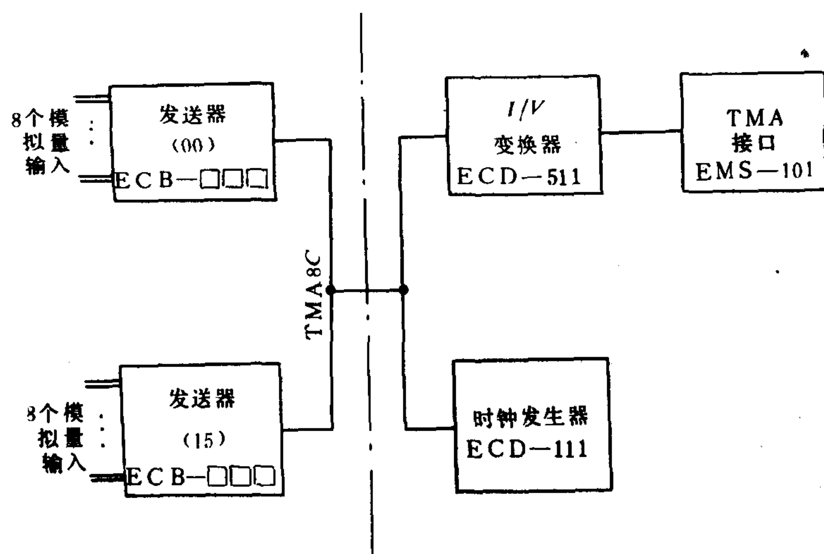


图 9.5.3—47　模拟变量数据采集输入通道电路框图

WE—6 模拟变量数据采集输入通道结构如图 9.5.3—47 所示。

1）模拟变量发送器（ECB—×××）结构如图 9.5.3—48 所示。

8 芯电缆传输线包括有：二根时钟信号线 CK 和 $\overline{CK}$；2 根信号线 SIG 和 $\overline{SIG}$；一根＋24V 电源线；1 根＋12V 电源线，2 根公用地线。

2）模拟变量输入接口 TMA 接口（EMS—101）结构如图 9.5.3—49 所示

时钟发生器产生 100Hz 脉冲信号 CK 和 $\overline{CK}$，当计算机向模拟变量输入通道采集数据时，8 通道多路切换器总是按分时原理，由二进制计数器的 Q_0、Q_1、Q_2 三端输出的控制，把 8 点模拟量一个个轮流发送出去，它可组成 8 个状态，每个状态对应接通一路模拟量。待 8 路模拟量传输完毕，×1 计数器加 1，此时数据采集就转入 01 组发送器，直进行到 15 组发送器，然后由清零电路把 3 个计数器清零复位，从此再从 00 组开始采集数据。模拟量信号（4～20mA）是通过 8 芯电缆线的信号线传输到 I/V 变换器，变换成 1～5V 的电压信号。该电压信号被 TMA 接口接收，经电压跟随器和取样保持器，由 A/D 转换器转换为数字量，再经光电隔离器送到缓冲寄存器，等待计算机来取。当 A/D 转换器工作完成后，向 CPU 发中断请求信号，CPU 响应中断，立即转入中断服务子程序，并发出相应取数信号 INA，把缓冲寄存器中的数送上总线，采入计算机。

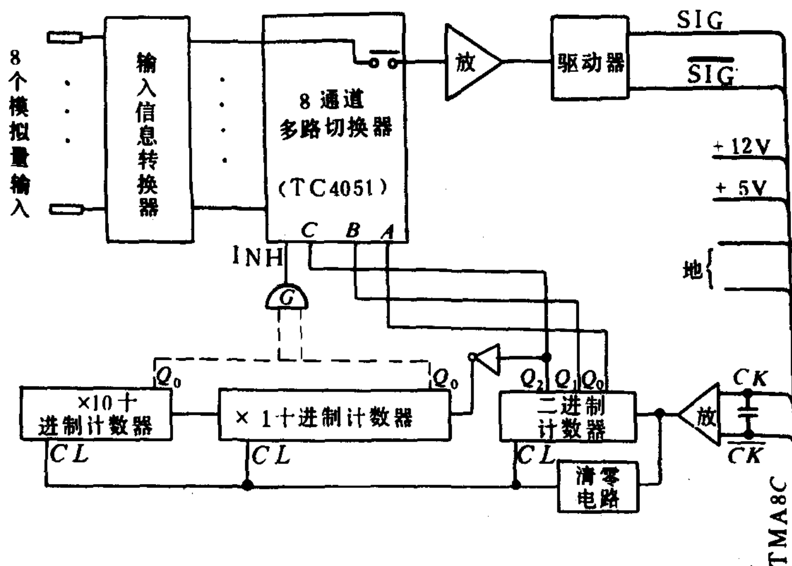


图 9.5.3—48　ECB—×××发送器电路

5.6 常见故障查找及排除

5.6.1 几点说明

1）若 WE—6 系统本身发生故障，则系统故障灯“SYSTEMTROUBLE”发出闪光，若模拟量传感器发生故障，则传感器故障灯“SENSOR TROUBLE”发出闪光。

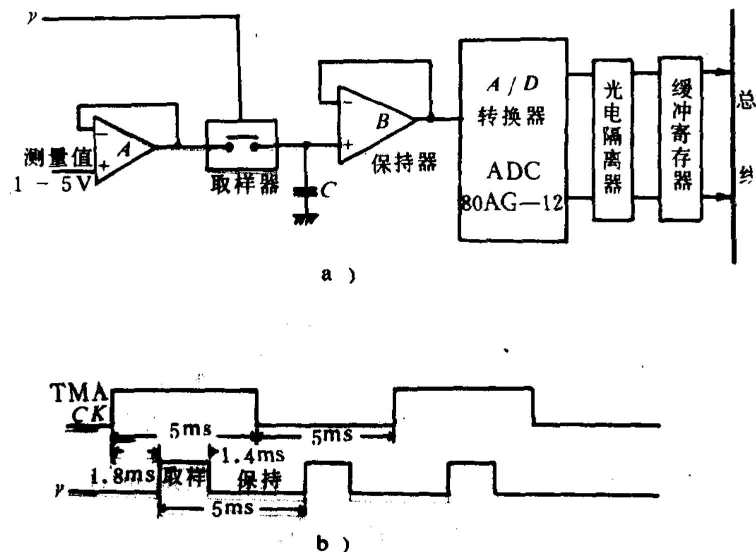


图 9.5.3－49 TMA 接口电路

2)揿下操作板上的系统故障按钮“SYSTEM FAILURE”，则在 CRT 上立即显示出故障信息。

3)在调换元器件和插件板之前必须关断交、直流电源。

4)在故障查找中，必须保证连接线正确、接触可靠和电源电压值都正常

5.6.2 注意点

1)恢复电源时，要注意把更改过的各种设定值，应重新整定到修改过的数值。

2) 在 EMP－111 电路插板上有许多存贮信息不同的 PROM 元件，维修时尽量不要将它们轻易拨下来，按装插入时，务必对号入座，否则整个 WE－6 系统便不能正常工作。

第 4 章　柴油机工况监测系统

1 概　　述

70 年代中期以来，随着微电子技术的蓬勃发展，各国竞相研制用于检测船舶柴油机燃烧和喷油工况的专用微型电子计算机系统，称为柴油机工况监测系统(DIESEL CONDITION MONITORING SYSTEM)。它的应用不仅改变了长期以来用机械示功器测量示功图那种既费力又不准的低效率、低水平状态，而且可以高效地同时测量、计算许多其它有关信息，从而奠定了船舶柴油机进行科学管理的技术基础。

1.1 用　　途

航行船舶的最大开支是燃油。而油耗的大小，对于一个既定的船舶柴油机来说，则是由各缸的负荷分配是否均衡、燃烧是否合理、喷油系统好坏、运行工况选择等因素所直接决定。轮机员可从展开示功图、喷油压力波形、平均指示压力等信息对上述因素作出评价，从而采取相应的改善措施来维持最佳工况。这对于一条刚出厂试航的新船来说也是有意义的。因为制造厂给出的一系列参数(如喷油定时、平均指示压力等)都是对该品种的柴油机给出的，它对于每一个柴油机来说并不见得是最优的。因为每台柴油机安装到船后，磨损情况、曲轴扭应变情况、曲轴与凸轮轴的连接、凸轮轴与油泵的连接等都是稍有不同的。而它们都会影响柴油机的性能和油耗。对于运行中的船舶柴油机，原先调整好的最佳工况，会随着阀芯等机件的磨损而变坏；尤其当燃油品种一旦改变(在远洋船上常遇到)之后，引起柴油机的喷油、燃烧工况的改变。这时就必需用柴油机工况监测系统才能最简捷地弄清情况，采取相应改进措施。

此外，在航运界长期实行的定期检修制度规定了无论船舶柴油机的运行状态如何，到了规定的时间，就应中修或大修。其实，运行管理不好的柴油机没有到规定的时间就可能发生事故；而管理比较好的柴油机则到了规定时间也未必要大修。有了柴油机工况监测系统就可以随时对柴油机进行不解体的状态检测，从而可以更合理的安排检修时间；还可以预防许多恶性事故的发生。这样，定期检修制度可以逐渐改为更科学的状态检修制度。

1.2 功　　能

1)初参数设定由使用者将日期和柴油机结构常数等通过人机对话方式用键盘送入。

2)测量计算能动态地测量气缸压力、喷油(油管)压力、扫气压力(或针阀行程)、转速、上止点位置、曲轴转角位置(其中油管压力和扫气压力测量常作选择功能项)，并作各种有关计算和分析。

3)显示和记录

①气缸压力曲线

②喷油压力曲线

③气缸压力参数

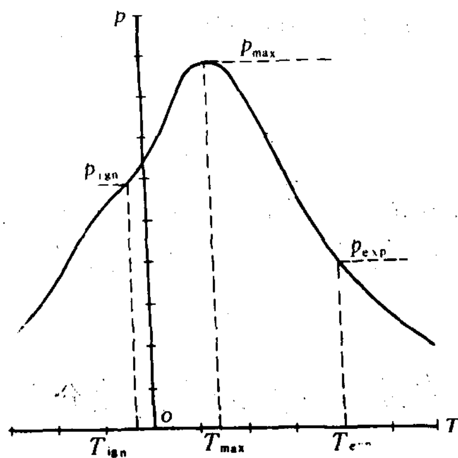


图 9.5.4 1 展开示功图

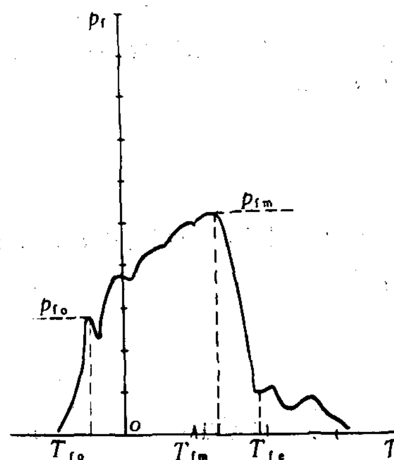


图 9.5.4 2 喷油压力曲线

最高燃烧压力	p_{max}
发火(压缩)压力	p_{ign}(p_{comp})
膨胀压力	p_{exp}
最高压力角	T_{max}
发火角	T_{ign}
膨胀压力角	T_{exp}(常人为给定)

④喷油压力参数

最高喷油压力	p_{fm}
启阀压力	p_{fo}
启阀角	T_{fo}
关阀角	T_{fe}
压升率	p_{fr}

⑤其它输出

转速	RPM
平均指示压力	MIP
指示功率	IHP

有的系统在增加相应的输入量或传感器情况下还能输出耗油率、轴功率、机械效率等数值。

1.3 组　成

柴油机工况监测系统作为专用微型计算机系统，也与一般的计算机应用系统一样由中央处理器、存贮器、接口电路、输出入通道、传感器、放大器、显示器、打印机等构成。通常分成三部分。

1)主机箱　内装微机系统的主要部分。一般要装在机舱集控室的控制柜中或放在操作台上。

2）转接箱　内装传感器的放大器、缸号开关等部件，用多芯屏蔽线与主机箱相连。

3）传感器　气压、油压、转角位置等各传感器在使用前都安装在相应的固定位置，用多芯屏蔽线与转接箱相连。

1.4　操　作

柴油机工况监测系统的软件程序采用菜单结构。通过显示器或打印机及少数几个键使用者与系统可以方便地进行人机对话。使用者不必具备计算机方面的专门知识就可以操作全过程。

2　DMC—200系列柴油机工况监测系统简介

大连海运学院研制的DMC—200系列柴油机工况监测系统主要用于船舶主柴油机。DMC—201/202型是固定式的，其主机箱固定在机舱集控室。DMC—204型为便携式的，整个系统装在两个手提铝皮箱内。

2.1　系统工作原理

为了检测柴油机的燃烧和喷油过程，在柴油机的示功考克上和喷油器前的高压油管上，装上各压力传感器。测得的压力信号经放大、A/D转换后由计算机读入。在柴油机飞轮旁安装两个磁阻式位置传感器，如图9.5.4—3所示。其中“A”传感器测量第1缸上止点位置，“B”传感器检测飞轮齿何时经过。当飞轮上标志第1缸上止点位置的销钉经过“A”时，“A”就会产生一个脉冲信号。同样，轮齿经过“B”时，“B”也会产生一个脉冲信号。这两个脉冲信号经整形放大后也由计算机读入。计算机按程序读入上述4个量，而后自动计算处理，并可显示和打印计算结果。

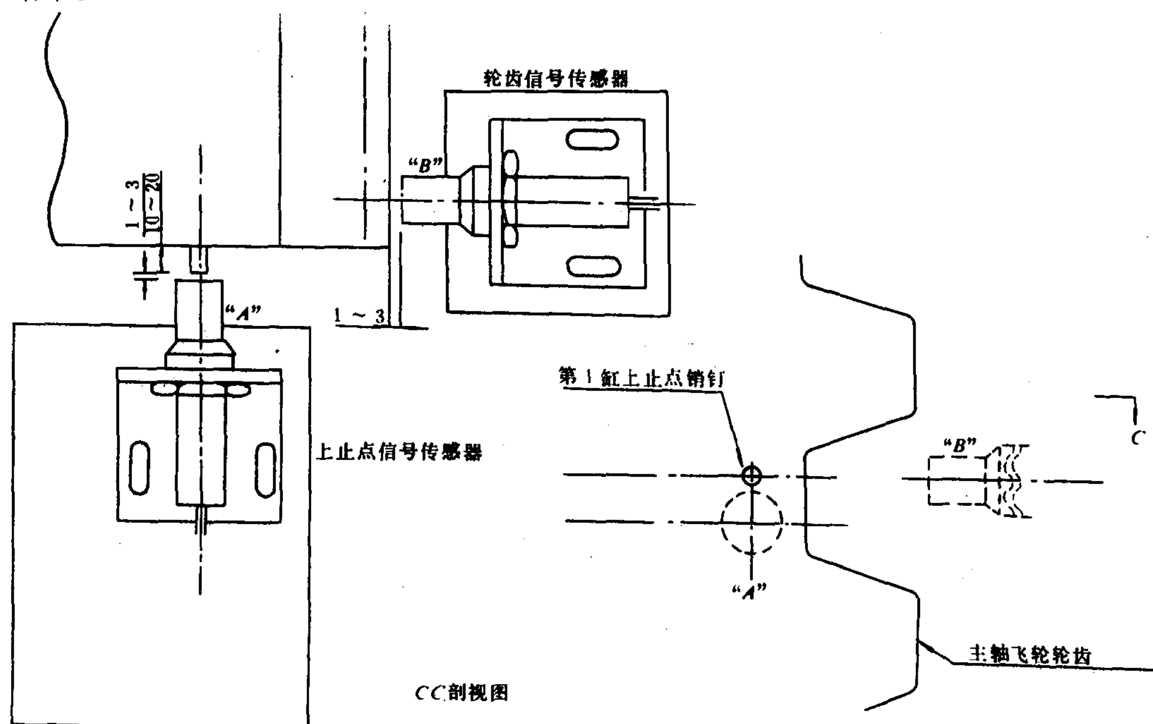


图9.5.4—3　转角信号发生装置示意图

2.2 硬件结构

DMC—201/202 系统的结构框图见图 9.5.4—4。

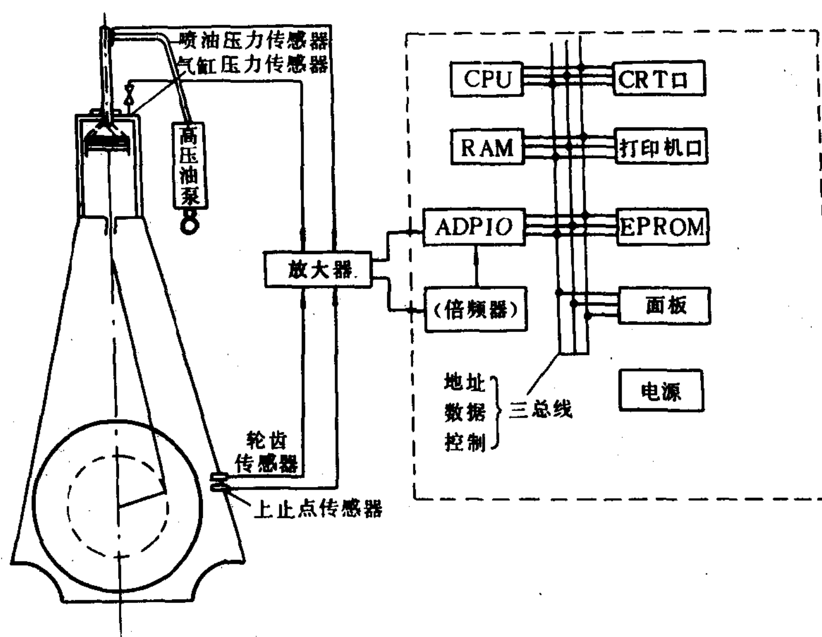


图 9.5.4—4 DMC—201/202 结构方框图

整个系统由以下各部分组成。

1)CPU 采用 Z80A,主振频率 2MHz,指令执行最短时间 2μs。

2)存贮器 分为 RAM 和 EPROM 两部分。RAM 的最大容量为 32KB,主要用来存贮测量数据;EPROM 亦为 32KB(可扩充为 64KB)用来保存程序和一些固定常数。

3)显示器 采用绿色字符显示器。在 CRT 接口中采用专门设计的字符发生器,使它除了可显示一般 ASCII 字符外,还可显示 128 个不同的汉字。汉字可根据用户的需要设计。

4)专用键盘 共 23 个键,包括 10 个数字键、小数点、负号、退格键、送入键,其余均为专用键。所有功能专用键在面板上皆有汉字标明。

5)A/D 输入 备有 4 通道 A/D 输入,转换速度<40μs。

6)打印输出 采用双向 80 列行式打印机,配有专门的打印接口。可打出所有数据表格和连续曲线。

7)压力信号输入 传感器可选用两类,一类为电阻应变片式传感器及相应放大器,另一类为压电石英传感器及电荷放大器。

8)电源 除了提供本系统所需各组直流稳压电源外,在交流输入线路上有专门的低通滤波、电位隔离等装置,保证本系统有良好的抗电网和空间电磁干扰能力。

2.3 转角信号的发生

如图 9.5.4—3 所示,磁阻式传感器"A"、"B"分别安装在飞轮齿旁,使得"A"对准标志第 1 缸上止点位置的销钉(这销钉是安装 DMC—200 系列的系统时打入的。其位置只要大体上在第 1 缸上止点附近就行,允许有几度误差,系统工作时会自动修正),"B"则对准轮齿(把"B"的方向转 90℃变成与"A"相同,安装在"A"的附近也可以,只须它对准轮齿)。这样,曲轴每转一

圈,就使得“A”产生一个脉冲信号,“B”则产生 N 个(设齿数为 N)脉冲信号。但只用该脉冲来启动采样压力值,显然太粗疏(N 通常为几十至一百左右),不足以反映真实的动态变化。一般要求转角分辨率在 1℃或 0.5℃左右,有两种办法可做到这一点。

1)硬件倍频器如图 9.5.4—5 所示。将轮齿信号通过倍频器后再送入计算机。倍频器一般由 PLL(相位锁存电路)电路构成,实际上就是个频率乘法器。若欲得 0.5°分辨率,则倍频数为 720/N。上止点、倍频器输入和输入信号间的关系如图 9.5.4—6 所示。

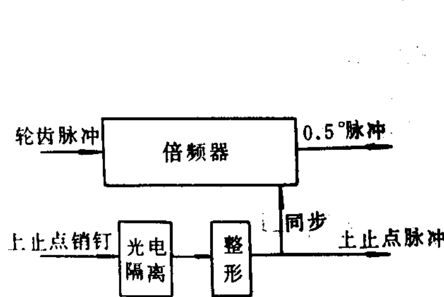


图 9.5.4—5 硬件倍频器框图

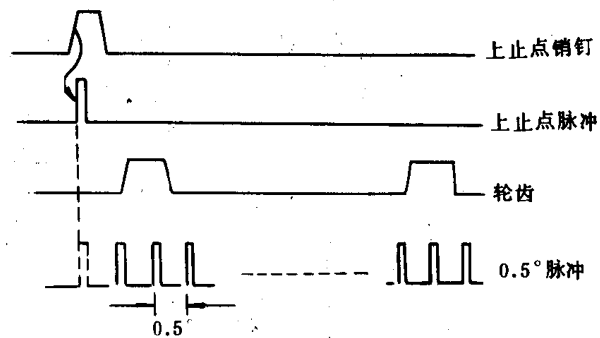


图 9.5.4—6 上止点、轮齿、0.5°信号时序

这种办法从原理上看存在非实时性,所得转角信号的误差较大。

2)软件倍频法

用程序软件办法进行分频,虽然软件工作量增加,但精度较高。同时可省去整个倍频电路。对于关键性的数据——上止点修正值,专门采用了加密测点的算法,使上止点修正值的精度又得到了进一步的提高。对于大型低速柴油机,转角分辨率可达 0.1～0.4;对于中速机,转角分辨率可达 0.3°～0.8°左右。

2.4 软件简介

本系统应用程序的开发充分利用了 TRS—80I 中系统的资源,取 BASIC Ⅱ 和汇编语言各自的长处,混合编制而成。程序经调试运行后写入 EPROM。

整个软件程序由菜单结构组成。使用者可通过显示器(或打印机)显示的键功能表,选择所需功能键逐步操作。程序的主框图见图 9.5.4—7 所示。

键功能表列出的就是系统所能完成的 8 项功能:

测量计算上止点修正值;

人为给定上止点修正值;

测量气缸压力、喷油压力并作相应计算;

显示气缸压力、喷油压力曲线;

显示各特性参数;

打印某缸详细气压数据表(分析功能为选件);

打印各缸测算结果(曲线和数据表格);

自检标定。

当使用者按下某个功能键时,计算机就执行该功能程序。例如,按下自检标定子程序所对

应的 K 键，则转到如图 9.5.4—8 所示的程序。这时通过进一步人机对话，可自检标定下列内容：

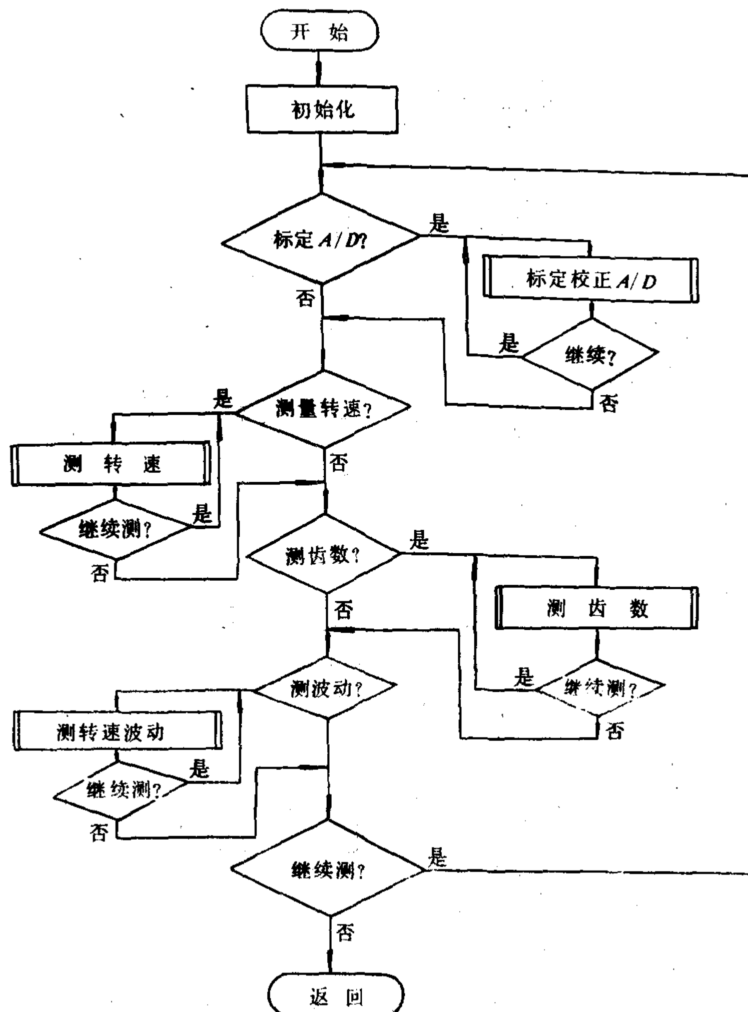


图 9.5.4—7 程序主框图

1)静态标定 本系统 A/D 输入的气压和油压通道，可以分别标定。由于标定是以计算机读入数据与标准压力计数据直接比较进行的，因此最后校准的测量精度也就是系统测量精度。

2)转速测定 由于本系统通过两个相邻上止点信号之间的时间来测算 RPM，因此不仅可看出机器运转是否稳定，还可以直接制定上止点信号是否正常。

3)测量轮齿齿数 由于上止点脉冲和轮齿脉冲是整个系统压力采样周期产生的基础，所以必须对这两个信号预先检验无误才行。

4)测量柴油机转动的不均匀度 本系统可以测量每两个上止点脉冲之间的时间，这样求出 255 个最大转速与最小转速之间的偏差与平均转速的比值，用来表示转速波动率。同样，测出每两个轮齿脉冲之间的时间，则可得到柴油机的回转不均匀度。

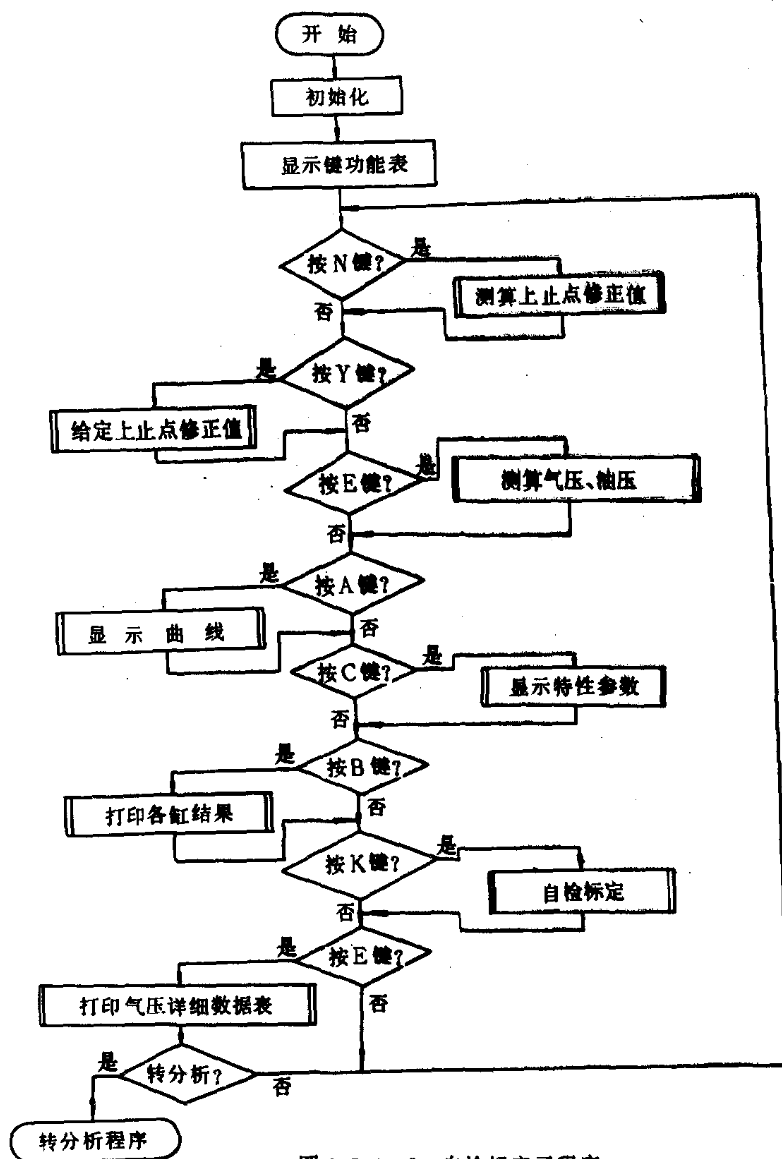


图 9.5.4—8 自检标定子程序

3 国外一些柴油机工况检测系统的特点

本节介绍的系统大体上是前两节涉及的基本部分，这里仅简要指出它们各自的特点。

3.1 MIP 计算器

这是挪威 Autronica 公司 70 年代末推出的产品(由 NK—3A，NK—4 发展而来的)，供船舶柴油机工况检测用。

1)有活塞环检测装置，能检测运行柴油机的活塞环断裂或磨损情况并在 CRT 上显示出来。但是，所专用的传感器安装条件较特殊，要在气缸壁上钻 2 个孔，每个都要钻到离气缸内侧表面小于 0.5mm 处。一般用户不易接受。

2)带软盘驱动器，因此所测到的压力等波形可以存盘；也可以预存一些参考波形以供与测量到的波形作比较诊断(最多可存贮 307 个波形)。

3)有软件模块选件,可以进行串行(RS—232)通讯。

4)必须在柴油机主轴飞轮上按一定要求装上30个销钉,以供转角信号发生之用。

3.2　CYLDET—MIP气缸压力监视装置

该系统是瑞典ASEA公司80年代初推出的专供船用的固定式装置。

1)该系统所用的压磁式压力传感器是瑞典ASEA公司的专利,不需强制冷却,可成年累月装在机器上连续使用,稳定性好。

2)误差较大,$\Delta p_{max}/p_{max}$达±2%;ΔMIP/MIP达±3%。

3)必须在柴油机主轴上按装一个特殊的固定有40个齿的齿带,以产生角度信号。

4)角度传感器与齿带(齿带最外缘)之间的间隙要求较严,为0.5～0.8mm,使用中易碰撞。

3.3　DETS柴油机工况监测系统

这是挪威Norcontrol公司70年代末产品。

1)无示波器或显示装置,以一个20列小打印机作记录。打出的曲线清晰度较差。

2)可用人机对话的方式计算油耗。燃油比重、温度、流量由使用者输入。

3)气缸压力传感器是不需水冷的压电石英传感器,但用后马上要卸下,不能超时使用。

3.4　柴油机燃烧分析系统

此系统为日本日立造船(Hitachi Zosen)公司产品。

1)有3种型号P—1、D—1、F—1,分别适用于便携、操作台、控制柜3种场合。

2)备有诊断功能。藉人机对话,人工送入各测量数据及其它参数,给出性能诊断结果供参考。

3)可以给出放热率曲线。

4)仅适用于二冲程机,并要求轮齿数在45～110之间。

以上介绍的这些国外系统,其最终的转角信号大多用硬件倍频电路产生,曲柄转角精度较差。

第 5 章　柴油机曲轴箱油雾探测器

1　油雾探测器概述

1.1　柴油机曲轴箱爆炸机理分析

承受复合应力作用的柴油机，其曲轴箱内难免发生故障。船上曾多次发生曲轴箱爆炸事故，因而世界各国对其爆炸机理都在进行研究，其目的是为了监测曲轴箱内活动部件的工况，找出初期故障，防止严重事故的发生。

引起曲轴箱爆炸有 2 个主要因素："热点"形成和润滑油气化微粒与空气的混合气体浓度达到一定的范围。但其主要而直接的原因是曲轴箱内活动部件发生故障，引起发热。

正常运转的柴油机，其曲轴箱内的空气中有无数的油微粒子，而且箱内各处每单位体积中粒子数目和颗粒大小相差无几。这些油微粒子是当润滑油从轴承边缘或其它活动部件喷射出来，落在突出表面，或者甩出来又受到快速运动部件的冲击，而形成的大小不等的粒子。它们与空气形成的混合气体浓度一般是较低的。

一旦柴油机曲轴箱内某些活动部件有故障时，其相对活动部件的表面温度逐渐升高，即"热点"开始形成，，此时流往表面的润滑油会迅速气化。使得在离开热点较远处的油雾凝聚，其浓度大小又与热点温度成比例，并且较快地达到爆炸浓度范围。又由于在热点处形成温度很高（超过 250℃）的金属碎片，通过这些高温碎片点燃了高浓度混合气体而引起曲轴箱的爆炸。

1.2　柴油机曲轴箱油雾探测器原理

利用曲轴箱内活动部件有故障而导致油雾浓度会很快升高的机理，设计成此种仪器，它能不间断地顺序将各曲轴箱内的油雾气体抽出，通过特制的"光电传感器"检测其相对于清洁空气的浓度大小，一旦浓度达到或超过某一设定值时，仪器就有报警信号输出。

1.3　仪器的基本组成

柴油机曲轴箱油雾探测器一般由：光电传感器、采样控制器、放大比较器、阀位指示及浓度显示和防滴式机箱等组成。

以国内通用的"UFT－1 型油雾探测器为例，其电原理框图。如图 9.5.5－1 所示，仪器中的抽风机通过采样管道，经机械分配阀或电磁阀，将曲轴箱中的油雾气体分别抽入光电传感器，经检测比较。其信号由微安表或经放大器、比较电路驱动发光管指示出相应浓度大小。一旦油气浓度达到报警浓度时，有声光报警信号输出，并有继电器触头分别控制执行机构作出相应的动作。

1.3.1　光电传感器

光电传感器是本仪器的关键，其结构原理如图 9.5.5－2 所示。

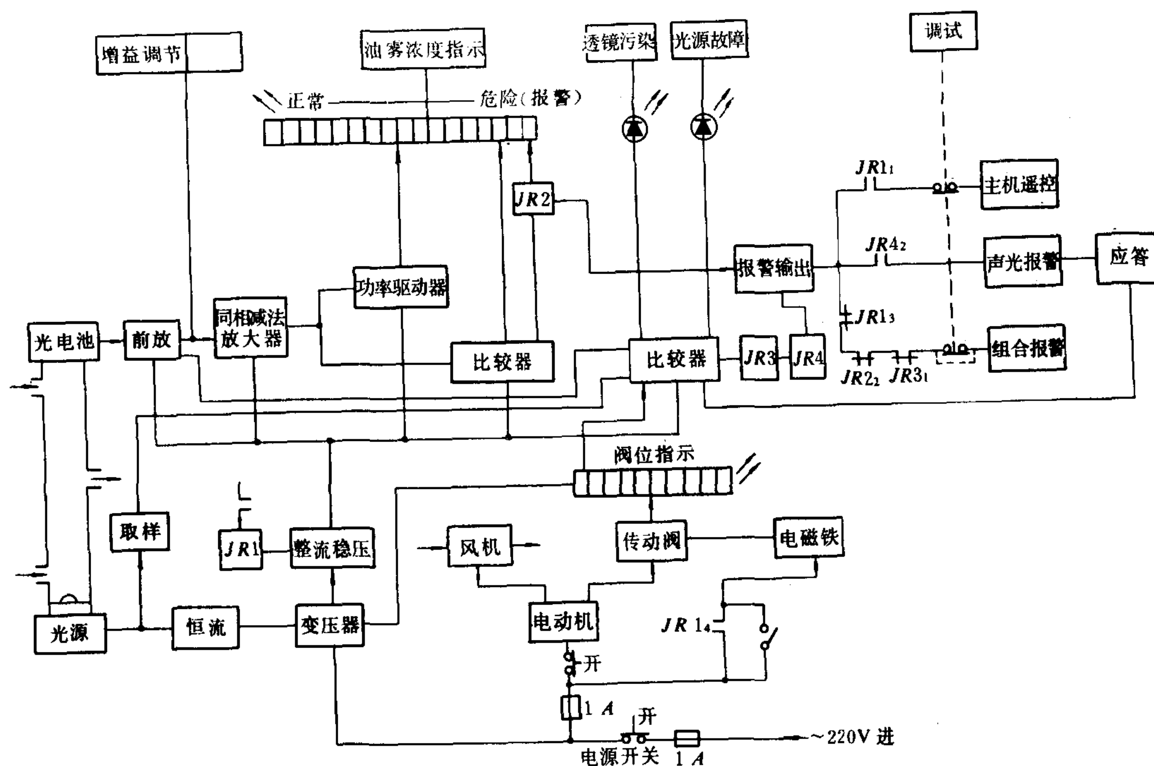


图 9.5.5－1 UFT－1 型油雾探测器电原理图

光源通过透镜后形成一束平行光，照射在光电池上。当无油雾气体进入时，其输出信号为最大，随着油气浓度的升高而其输出信号相应减小。因此光电传感器是根据遮光原理工作的，一般光电传感器的输出信号需要标定。

入口
入口
光源
光电池
去抽风机
透镜

图 9.5.5－2 光电传感器原理图

1.3.2 采样控制部分

采样是用抽风机或泵将曲轴箱内的油雾气体抽出来，经采样管道，送入光电传感器检测。目前采样控制和分配机构有两大类：机械式采样控制分配阀，按一定的时间间隔顺序地逐点采样；电磁阀式，由控制线路决定采样顺序，可逐点采样，同时采样或间断采样。

1.3.3 信号放大显示部分

光电传感器检测的电信号经放大、比较确定被测气体浓度的大小，一旦浓度超过报警设定值则有声、光报警信号输出。目前信号放大显示部分可分成以下 3 类：

1）光电传感器检测信号直接经桥式线路由微安表头指示，油气浓度一旦超过报警设定值，则表头上有一接点与指针接通，继电器动作，即有报警信号输出。

2）光电传感器检测信号经集成电路放大比较驱动相应数目的发光二极管点亮，指示该采样点的油气浓度大小。一旦浓度达到或超过报警设定值，即有声、光报警信号输出。

3）光电传感器检测信号经集成电路放大，然后经 A/D 转换器输入微处理机进行数据处理

和控制。

1.4 报警浓度的确定

目前国际上公认的油雾气体的爆炸浓度下限“LEL”数值是英国GRAVINER公司提出的,“LEL”等于50mg/l。交通部上海船舶运输科学研究所曾专门研制了润滑油的雾化测爆试验装置,经反复验证,LEL基本与英国提出的数值相同。

由于使用场合的不同,因而报警浓度也有些差别,但是设计仪器时都考虑了报警点可调的原则。通常把报警浓度设定在LEL50mg/l的0.6%～3%之间。

1.5 报警浓度的标定

光电传感器是根据遮光原理来工作的,因而报警浓度也是通过光电传感器的减光率来标定的。英国GRAVINER公司MK－5型是在光电传感器中插入一片特定的滤光片来标定报警浓度的。

上海船研所是采用专门研制的润滑油雾化测爆装置中产生一定浓度的油气,来对光电传感器进行标定,并经激光全息试验对比测定,证明其标定方法是正确的。

1.6 油雾探测器的安装和使用

1.6.1 仪器的正确安装

估计有30%的仪器误报警出自仪器和采样管道的安装位置不正确而造成的。正确的安装应考虑以下几个问题:

1)采样点应设在柴油机曲轴箱倒门稍上面位置上,且不应使润滑油溅到采样管道为宜。

2)采样点至仪器间的管道走向应保持一定的向上斜度,且不应有直角转弯和在中间形成U型下凹。

3)仪器应固定安装于振动较小,通风良好的位置,且应比采样点高一层,以利管道的走向,具体安装应符合各厂说明书中的规定。

1.6.2 仪器的操作使用注意事项

1)仪器的基本零点调节

油雾探测器中的光电传感器,初次测定的基准参数是以相对于清洁空气的信号作为测量比较的基准。由于光源、光电池、放大器等均存在热稳定性问题。为此各型仪器装船时,均需实际调节零点。一般开机一段时间,让其达到热平衡,然后当采样点转向“0”号阀位时,调整零点。因为设计仪器时,“0”号阀位总是将清洁空气抽入,此时光电传感器的输出信号作为比较的基准。

2)仪器故障报警的初步判别

对无故障自动检测电路的仪器,其误报警的判断,为安全起见,一旦仪器有报警,可先作应急处理,主机减速;同时迅速打开仪器外壳检查是否光学系统和光源有污染现象,从而可迅速地判断是仪器故障还是柴油机故障。

对于后期各型油雾探测器中,均设有故障自检电路,可不必打开仪器检查。

2 UFT－1 型油雾探测器

UFT－1 型油雾探测器是交通部上海船舶运输科学研究所研制的产品，首台仪器于 1982 年装于 1.6 万吨级散货船“长顺”号上使用。

2.1 主要特点

1)该仪器的光电传感器设计中采用了“空气隔膜”技术，也即在抽风机的抽吸过程中，它可自动地在光学系统前面形成一股微小的空气流，从而起到了阻挡油气在透镜前面停留而污染透镜的可能性，这往往是造成误报警的主要原因。

2)光源采用大功率红外发光管恒流供电，其特点是功耗小、寿命长、体积小、光功率输出稳定。从而可使光电传感器做成全密封装置，这样光源亦不会被油气所污染而误报警。

3)采样点用相应的发光二极管指示。

4)浓度显示采用多只绿、红发光二极管，以电平扫描形式清晰地显示浓度大小。

5)有故障自检电路以区别误报警。

6)报警浓度为爆炸下限 LEL 的 2%～3%，并且可以按使用场合的不同调节和设定。

2.2 故障现象及检修

1)采样点指示不动。其它功能正常，这是因拨号盘塑料片损坏造成。拆开仪器前面板，换新拨号盘、调好阀位顺序与拨号盘对应，即可恢复正常。

2)采样点指示不动，电动机不转，但仪器浓度指示正常。这是分配阀的槽轮与销轮互相卡死造成。拆开面板查看便可知道是电磁铁未正式复位还是销子断，松开卡住部位检修，即能恢复正常。

3)仪器调零不正常引起浓度指示偏大。因光电池、放大器、光源都有热稳定性问题，首次装用时零点调节很重要。可以在开机 10min、仪器和机舱达到热平衡时，在“0”号采样点调增益，使它在第一只绿发光管处亮，以后开机可不必再去调零。

3 UFT－2 型油雾探测器

3.1 主要特点

本仪器是在 UFT－1 型仪器基础上发展起来的第二代产品，保留了原产品行之有效的方面，增加了微处理器数据处理和控制功能，如图 9.5.5－3 所示

1)采用带空气隔膜技术的光电传感器，可靠性高，减少误报警。

2)采用微处理器作为控制器，因而扩大仪器自检功能并且实现仪器的智能化；报警浓度可以用键盘来设定；故障检查可用键盘来查找。

3)浓度大小和采样点均用发光数码管来显示。

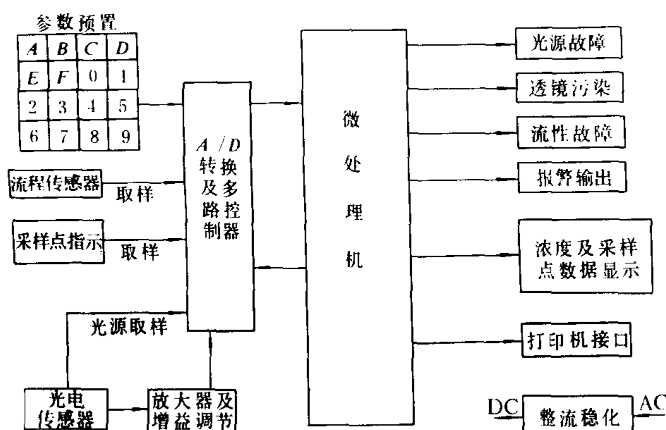


图 9.5.5－3 UFT－2 型油雾探测器原理框图

4)零点调节应注意使仪器在开机一定时间达到热平衡后进行。报警值可通过键盘来预置，报警点可在 0.3%～3% 之间任意设定；例如设报警点为1.2%，则先按“D”，然后按“1”，再按“F”，接着按“2”，这样就预置好了，最后按一下“E”仪器就进入正常运转状态。

5)仪器尚有时钟功能，即按一下“A”然后键入当时的具体时间，时钟就会正常运转，指示出时、分、秒。

6)配有外接打印机接口，当需要记录故障现象时，则可配上打印机，以便自动记录。

7)按键上专门编入密码软件，一旦预置完后，随便按什么键都不起作用。只有按启动键(复位)才能改写。

3.2 故障现象及检修

可用按键来设置和查找故障；例如按一下“B”，仪器就进入软件自动故障查找，如若流程故障则显示“L”，若 A/D 转换器坏，则显示“4”若光源故障，则显示 P 等。

1)采样点数字不变动，扫描仍进行(机械仍转动)，可查找拨号盘是否损坏。

2)采样点数字不动，扫描停止，电动机不转，估计传动阀卡死。

4 MK－4 型油雾探测器

MK－4 型油雾探测器是英国 GRAVINER 公司产品，常见有两种型式：

1)比较型(COMPARATOR)

该型仪器光电传感器共用一只白炽灯作光源，通过两块 45°的反光镜射入两根测量管道即双光电传感器。其中一根是把正在采样部位的油雾气体抽入；另一根则是将其余各采样点的油气一并抽入。也即每一采样点的油气浓度与其它各采样点的平均油气浓度进行比较－称为比较型。一旦浓度超过规定值，经桥式线路比较、微安表指针接点被接通，报警信号输出。

2)电平型(LEVEL)

光电传感器中用同一只白炽灯作光源，通过两块 45°反光镜射入两根测量管道。其中一根内部是清洁空气作为比较的基准，另一根是将正在采样的油气抽入检测，然后将两根测量管的输出电平进行比较，经桥式线路比较后微安表便有指示。一旦浓度超过规定值则有报警信号输出。

4.1 MK－4 型仪器特点

1)无放大电路，只有桥式比较线路，简单。

2)光电传感器为两根测量管道，它们很难做到对称配套，因而调试困难。

3)光源及光学系统在仪器内属开敞式结构，因而很容易受机舱环境空气的污染，这是该仪

器经常误报警的根源。

4)结构复杂、笨重,须经常对光学系统进行清洁处理,维修复杂。

5)可靠性差,属退役产品。

6)零点调节方法实际上是调节光源后的两块45°反光镜,使其达到电桥输出为0。

4.2 故障现象及检修

MK—4型仪器最主要故障是误报警,误报警的来源及检修有以下几方面:

1)光源故障,一旦光源(灯泡)被油气污染,其光通量下降,造成误报警。检查方法是打开前盖板看灯泡上是否有污染。如清洁灯泡后有好转,证明光源污染、擦清后即可恢复。

2)光学系统污染故障,MK—4型仪器的光学系统是开敞式的,易受油气污染造成误报警,检查方法是打开前盖、看透镜是否被污染,一般将透镜和反光镜及内部透镜擦干净,稍调整零点便可正常。

3)机械分配阀卡死,电动机烧坏;MK—4型的采样阀旋转部分是由电动机拖动的,它经过减速器、拨叉槽轮机构来传动。有时电磁铁失常也会卡死传动阀,此时电动机不转,可从外面看到码盘不动了。检修时只要拆开前盖,依次拆开3块组件板,松开槽轮和拨叉,适当调正修复即可。如发现电动机烧毁,可换新的或线圈重绕可以修复。

5 MK—5型油雾探测器

MK—5型油雾探测器是英国GRAVINER公司近年来推出的改进型产品。控制器已经改为单片微处理器,新型离心式抽风机,采样控制已改用螺线管式电磁阀,取代了机械分配阀和传动装置,结构紧凑、维修方便,如图9.5.5—4MK—5型油雾探测器原理框图。

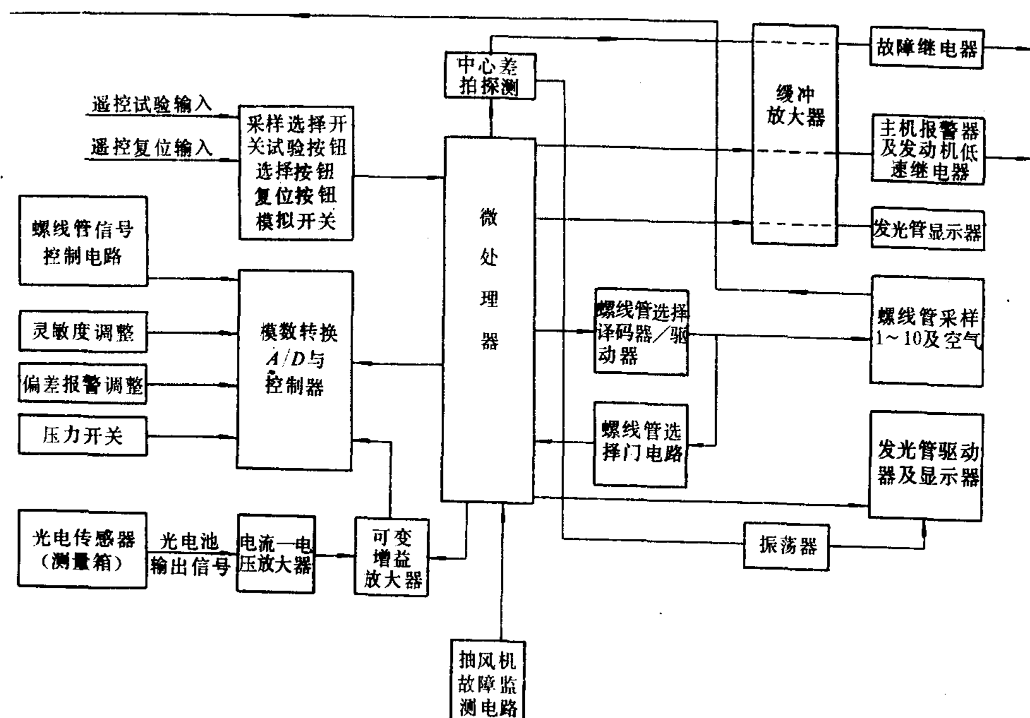


图9.5.5—4 MK—5型油雾探测器原理框图

5.1 主要特点

控制器电路采用微处理器，其目的不但能实现自动监测，而且可以改善仪器本身存在的弱点。

1）仪器每采样一周期，程序自动进入用压缩空气冲洗光电测量腔以防油气污染，并经N次测量得到的平均光电仪号数值存入微机内存。以后每次采样与平均值比较，超过一定值即显示，一旦浓度超过设定值，扫描停止，同时显示该采样点及其报警浓度值，并有报警信号输出。

2）仪器设有多种故障自检功能，并且具有各种故障判断及查找流程。

3）仪器的光源、光学系统、光电池等仍然有被油气污染的可能。所以仍然需要经常清洁光学系统，以避免污染而导致的误差。

4）螺线管式电磁阀由控制电路驱动，由于电流大、启动频繁，因而会发生损坏，一旦损坏只能换新的或线圈重绕。

5.2 故障现象及分析

一旦遇到有下述6条故障之一时，可参照表9.5.5－1所列其相应的检查流程进行逐条查找：

其它故障；如人为调试不当的故障：试验时的模拟报警滑块，在试验结束后忘记拉上来，造成仪器一直处在报警状态等。

表9.5.5－1　　**MK－5故障现象及判断**

序　号	故　障　现　象	故　障　判　断
1	流程故障指示灯亮 显示采样数、扫描停止	采样系统故障
2	流程故障指示灯亮 显示空白，扫描停止	空气泵故障
3	流程故障灯闪光 扫描停止	抽风机速度、方向故障
4	光源故障灯亮 扫描停止	光源故障或光电池坏， 或光学系统需清洁
5	系统开、但指示OFF	无电源
6	系统开、指示灯亮 无报警和故障指示 扫描停止	选择器SW，故障 A/D转换器坏， 螺线管电磁线圈故障

6　MD－9和MD－14型油雾探测器

MD－9、14型油雾探测器是日本DAIHATSN公司的产品。

6.1 主要特点

采用单只光电传感器、集成电路放大、比较器驱动发光管指示浓度。其光电传感器专门用

气泵不断注入空气，以改善油气污染问题，仪器无故障自检功能。

6.2 故障现象及检修

1)开机不久即报警，主要是调试者不熟悉仪器功能，将报警设置、增益、调零等调乱所致。该仪器可以任意设置报警点，但调节后开关应处于“OFF”位置。

2)光源污染误报警，光源采用白炽灯，且敞开在仪器中，易受油气污染而误报警。检查方法，拆前盖板看灯泡是否污染，将其擦干净即可，必要时再调零点，即可恢复正常。

3)光学透镜误报警；仪器的第一片透镜敞开在仪器中，易受污染。一旦误报警时，可拆开前盖板检查第一片透镜是否污染，一般擦净后再重调零点便可正常。

7 VN215 型油雾探测器

VN215 型油雾探测器是联邦德国 VISATRON 公司的产品。

7.1 主要特点

1)采用压缩空气形成的负压来抽吸油气，仪器无电动机和传动机构，发热少，可装于主机中央。

2)有流量传感器，用以检测压缩空气是否正常，仪器是否工作。

3)有巡回检测功能，即一旦某采样点浓度越限，此时电路仍将巡检一周期，看其它几只采样点是否正常，然后该点才有报警输出。

4)光电传感器做得很简单，即小型红外管。

5)用压缩空气产生测量腔的真空负压，将油气抽出来检测，其浓度易受压缩空气气流影响而变稀，相当于报警浓度升高。

7.2 故障现象

国内船上装用较少，但其特性不错，从试验情况看，其报警浓度很高。出口船上装用尚多。曾发现浓度指示最后几只红发光管损坏，仪器就无报警输出，经检查；发光管损坏则报警线路就不通，换新发光管即正常。

第6章 油船货油装卸监控系统

油船货油装卸监控系统是用来在集中控制室内实现对整个油船的货油装卸工作及油船装卸过程中需要配合的各种机械设备和仪表进行监测控制的系统。主要包括如下内容：

货油舱液位遥测装置；

货油阀门遥控装置；

船舶吃水测量和货油舱运行监控装置。

1 货油舱液位遥测装置

1.1 概 述

货油舱液位遥测装置用于油船货油舱的液位遥测，并能在货油控制室内对各货油舱的液位进行连续显示，当货油舱内的液位超过预先设定的极限液位时，自动发出相应的声、光报警信号。

选择货油舱液位遥测装置时应考虑下列因素：

(1)系统应为本质安全防爆型。

(2)可靠性、耐压、耐温、耐腐蚀性等。

(3)测量精度，作商业计量时，不得大于0.5%。

(4)价格，除装置造价外还应考虑安装费用及维修费。

(5)可维性，一般要求设备能在甲板上更换、再校验和维修。

(6)系统内部故障的检查和诊断能力。

表9.5.6－1为货油舱液位遥测装置的分类表。

表9.5.6－1 **货油舱液位遥测装置分类表**

型 式	吹气式 液位遥测装置	雷达式 液位遥测装置	磁浮子式 液位遥测装置	浮筒式 液位遥测装置	压力传感器式 液位遥测装置
制造厂	中国 上海船研所	瑞典 SAAB公司	日本 MUSA SINO公司	—	挪威SKARP ENORD公司
测量范围	0～6m 0～10m 0～16m	0～60m	1、2、3、4、5m 5m以上按 要求制造	0～30m	0～30m
测量精度	1.5级	±5mm	最小可测高度 5mm	±2cm	0.3%

续上表

型　式	吹气式液位遥测装置	雷达式液位遥测装置	磁浮子式液位遥测装置	浮筒式液位遥测装置	压力传感器式液位遥测装置
油舱内有无可动部件	无	无	有	有	无
测量装置与介质接触否	仅吹气管与测量介质接触	不接触	接触	接触	接触
能源	气源:0.4～0.6MPa 耗气量:每测点不大于20l/h	交流电源: 180～240V 220V	交流电源: 100/200V	交流电源: 110/220V 200VA	交流电源: 220V 200W
防爆要求	气动元件,无防爆要求	本质安全防爆型	符合船用防爆要求	隔爆型	本质安全防爆型
高、低液位报警功能	具有独立的气动浮球式报警器	由液位信号引出	有	限位开关式	由液位信号引出
优点	1 无电器部件,可设在防爆区内 2 无运动件,不受电磁干扰,可靠性高 3 系统简单,使用维护方便	1 直接测量液体高度,精度高 2 能在甲板上对测量系统进行维修和更换 3 测量不受货油温度和比重的影响 4 功能齐全	1 直接测量液体高度,精度高 2 测量不受货油温度和比重的影响	1 直接测量液体高度,测量精度高 2 测量不受货油温度和比重的影响 3 现场指示简单	1 系统简单 2 功能齐全
缺点	1 测量精度直接受货油比重影响 2 系统管系多 3 精度较差	1 要求货油舱内必须有一定的无障碍物的自由空间	1 测量单元结构复杂 2 维修调试困难	1 浮筒易卡住 2 装有洗舱机的油船不宜使用	1 测量精度直接受货油比重影响 2 维修调试较困难

1.2 CUJ 型吹气式液位遥测装置

1.2.1 系统和原理

CUJ 型液位遥测装置系统原理图如图 9.5.6－1 所示。它由气源组件、吹气装置、测深管、管缆、恒流量计、控制阀、差压指示表、液位发讯器和报警装置等组成。

CUJ 型液位遥测装置根据吹气原理设计,其工作原理如图 9.5.6－2 所示。测量前测深管内液位和油舱液位相同。测量开始后,具有一定压力的压缩空气一路经流量计进入舱底静压测量管路,并逐步将测量管路中的货油挤压出去,最后测量管路内的货油都被挤出。此时多余的空气从测量管路底部的敞口以吹泡的方式泄放,另一路则进入与油舱空间相通的背压测量管路。

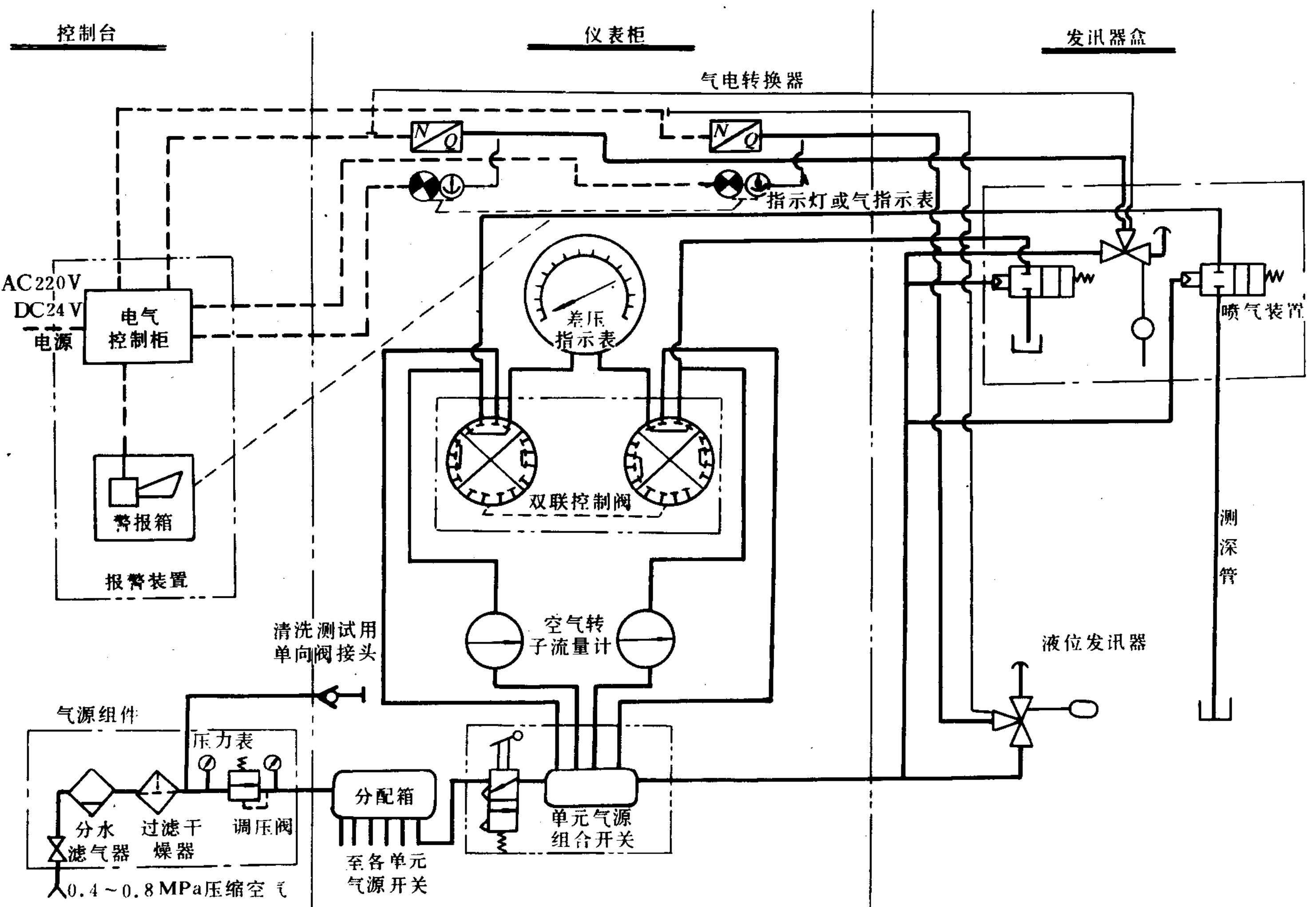


图 9.5.6—1　CUJ 液位遥测装置系统图

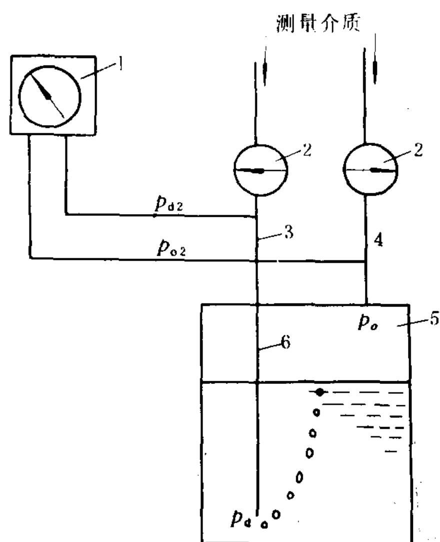


图 9.5.6—2 CUJ 液位遥测装置工作原理图
1—差压指示表；2—恒流量计；3—舱底静压测量管路；4—舱柜背压测量管路；5—被测舱柜；6—测深管

当系统在压缩空气流动速度很低的情况下稳定工作时，将有如下关系式存在：

$$H=\frac{1}{\gamma}(p_d-p_0)$$

式中：H——货油舱液位高度；

γ——货油比重；

p_d——货油舱底测量管口的静压力；

p_0——货油舱气空间压力。

1.2.2 组成

1.2.2.1 气源组件包括分水滤气器、过滤干燥器、减压阀和压力表等，用来对来自机舱压缩空气源的压缩空气进行除尘、除水、除油、过滤和干燥，以得到纯净和干燥的压缩空气。

(1)分水滤气器的主要作用是除水和精滤空气。图 9.5.6—3 为 QSL 型分水滤气器。采用叶子式旋风分水器将细微的水除去，过滤网是粉末合金，微孔尺寸只有 50μm，细微的污垢也能被过滤，因此能得到纯净而干燥的压缩空气。

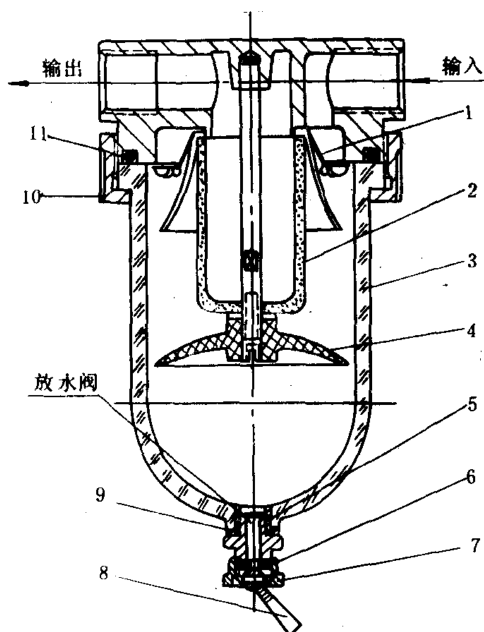


图 9.5.6—3 QSL 型分水滤气器
1—阀体；2—过滤杯；3—壳体；4—挡水板；5—放水座；6—密封垫；7—放水接头；8—柄；9—密封垫；10—螺母；11—"O"形圈

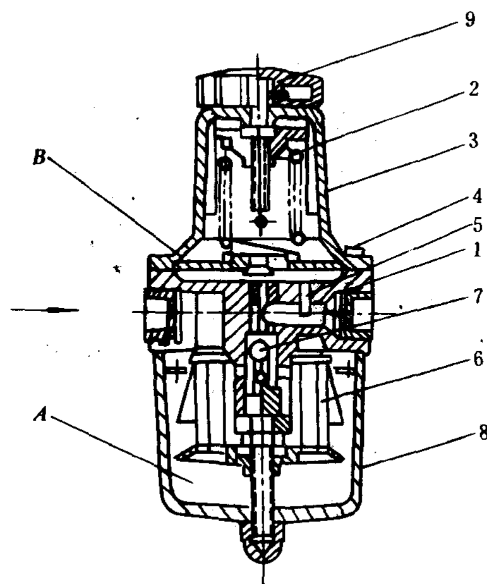


图 9.5.6—4 空气过滤减压阀
1—阀体；2—弹簧；3—阀盖；4—膜片；5—小孔；6—过滤体；7—球阀；8—罩壳；9—调节手轮

(2)空气过滤减压阀如图 9.5.6—4 所示。它是根据力平衡原理设计的。气源进入过滤室 A 进行除水、油、尘处理。由于给定弹簧 2 产生的力，将球阀 7 推开，从而气体经球阀流入输出管路，并通过小孔 5 进入反馈气室 B，此时气压作用在膜片 4 上的力与给定弹簧力达到平衡。当输出压力受到外界干扰时，就出现输出压力高于或低于给定值，如低于给定值，则膜片 4 上的力与给定弹簧产生的力平衡，膜片向下移动，使球阀 7 开大进行气压补偿，反之亦然。因而输出压力始终能稳定在所需的压力值上。

1.2.2.2 吹气装置安装在各油舱顶部甲板上的发讯器盒内。每个发讯器盒内装有舱底静压测量管路和油舱背压测量管路吹气装置和高液位报警装置，发讯器盒为水密型。其一端通过连接管路与控制柜连接，另一端则与货油舱内的测深管相通。当系统处于工作状态时，测量信号经吹气装置传递到控制柜。当系统停止工作时，则由吹气装置将货油舱内的测量管路与外界的通道切断，以防止油气倒灌，起安全保护作用。

1.2.2.3 仪表柜分台式和悬壁式2种，均为组合式仪表柜。仪表柜面板上安装有恒流量计、控制阀、差压指示表等。

恒流量计采用转子流量计，用以控制和显示测量管路内测量介质的流量，一般每测点的耗气量不大于20l/h。

控制阀如图9.5.6—5所示。用以转换测量装置的工作状态。

差压指示表如图9.5.6—6所示。采用双机芯单指针结构。可直接显示货油舱的液位和货油舱背压。面板上绘有不同货油比重的曲线族，当装载不同比重的货油时，可不需进行比重换算而直接读出货油舱内的液位高度。

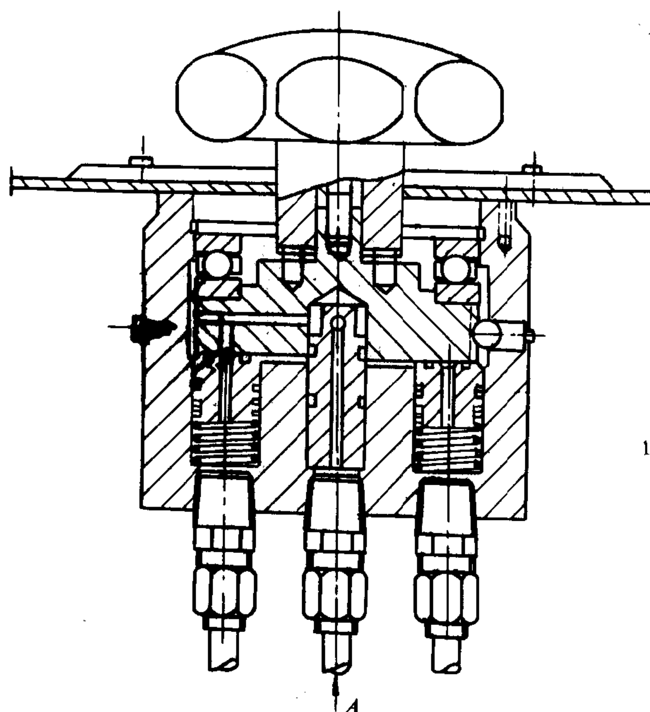


图9.5.6—5 控制阀

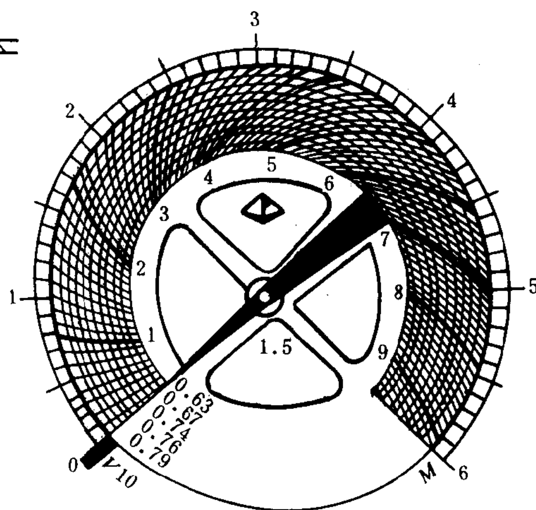


图9.5.6—6 差压指示表

1.2.2.4 液位报警装置设有独立的高、低液位报警装置。采用气动浮球式液位发讯器作为报警发讯器，当货油舱内的液位达到预定的极限值时，液位发讯器输出气压信号，通过气电转换器转换成电信号，使装置发出声、光报警信号。在特殊情况下，液位发讯器输出的气压信号也可直接带动气动指示器或气笛。

1.2.2.5 吹气式液位遥测装置粗、精读数自动切换指示仪表

在油船装卸过程中，货油舱即将装满或卸空时的液位监测尤为重要，为此可使用粗读和精读能自动切换的指示仪表。其工作原理如图9.5.6—7所示。

来自各货油舱顶吹气装置的全深信号，一路引至汞柱指示器或全深指示压力表连续地作粗读指示，同时分两路进入上部E室和下部A室；油舱内背压信号一路进入汞柱和水柱上部，另一路引入D室；上限扩大指示信号进入C室。在装载时，当液位从零点开始上升，由于上下

弹簧合力的作用，此时A室上的阀打开，全深信号由A室进入B室，然后送至水柱下部，此时水柱进行下限扩大指示。当液位升至一定的高度(例如2m)的时候，E室压力升高，部分地平衡了上弹簧的作用力，使A室阀关，全深信号与水柱断路。液位再升到另一位置时(例如离舱顶2m)，E室压力向上作用，使C室下部阀打开，上部扩大指示信号由C室经过B室进入水柱，作上限扩大指示。当卸载液位下降时进行上述相反的过程。

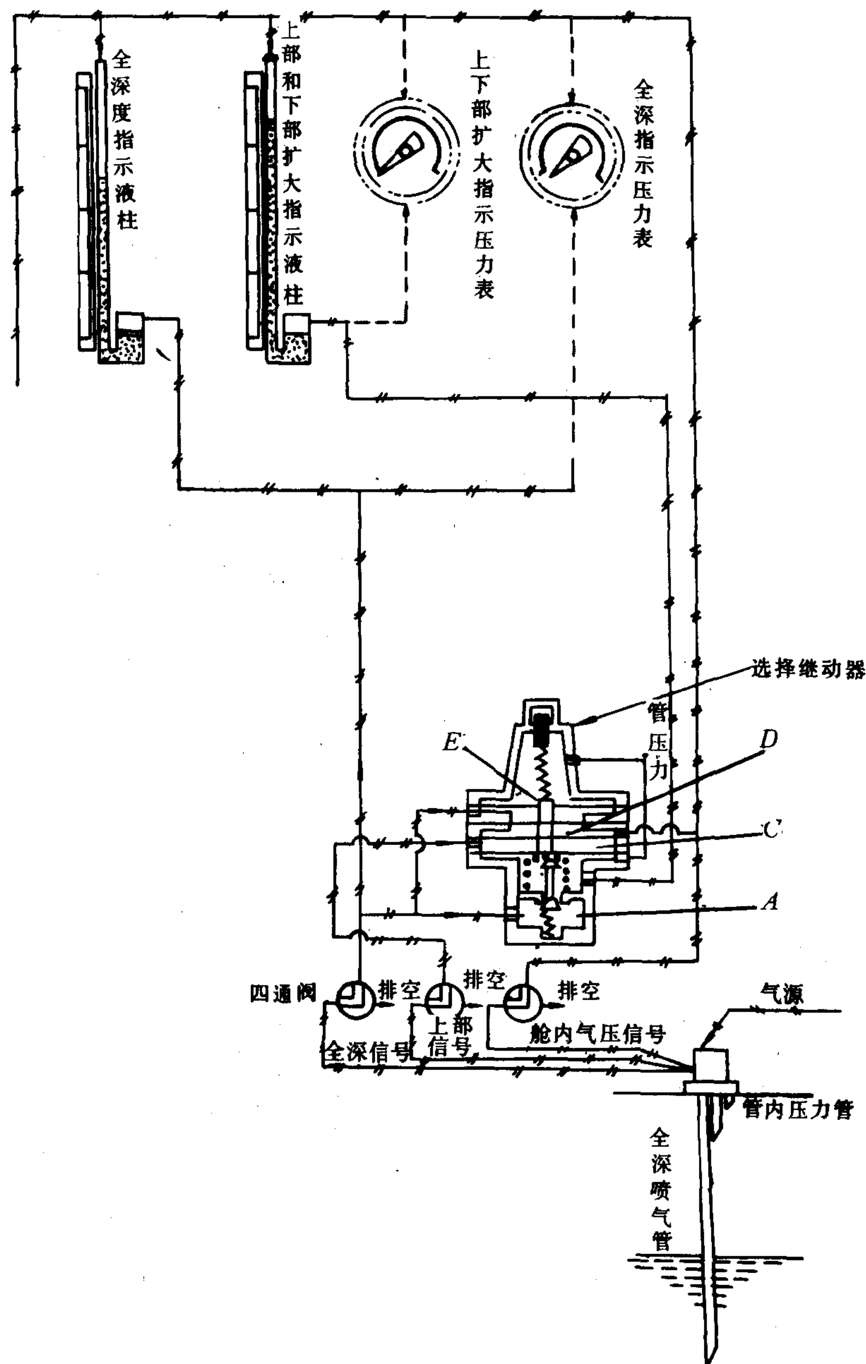


图 9.5.6－7 粗、精读自动切换指示系统

1.2.2.6 比重修正装置 吹气式液位遥测装置采用测量液体静压的原理，所以液位信号与流体的比重有较大的关系，日本有一种可自动修正货油比重的吹气式液位遥测装置。其工作原理如图 9.5.6－8 所示。

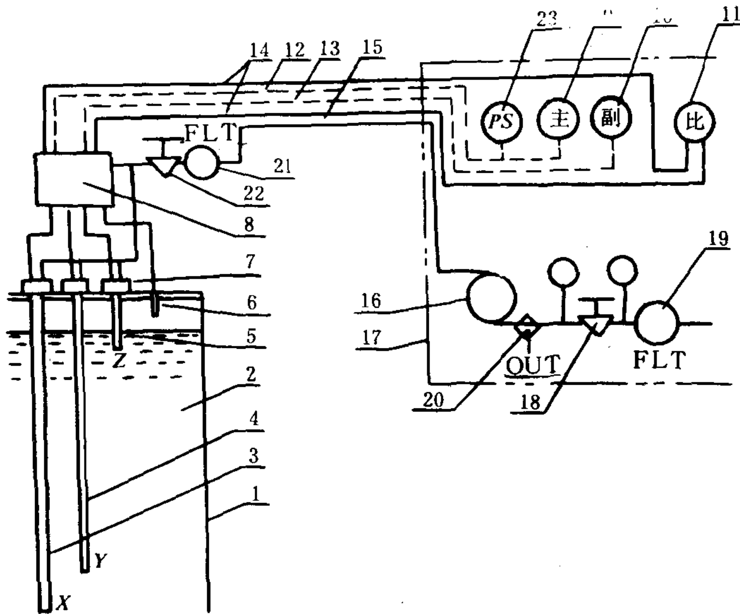


图 9.5.6－8　比重修正装置工作原理图

1－油舱；2－被测液体；3－吹气管 X；4－吹气管 Y；5－吹气管 Z；6－上部管；7－吹气装置；8－比重修正装置；9－主指示压力表；10－副指示压力表；11－比重指示器；12－主指示管；13－副指示管；14－比重信号管；15－气源管；16－恒流量计；17－控制室；18－初级减压阀；19－过滤器；20－三通阀；21－过滤器；22－调压阀；23－压力开关

与一般吹气式液位遥测装置相比，它在检测部分多设一根 Y 管，作测定比重用，并增设一个比重修正装置，能自动地计算货油比重，并对各液位信号自动进行修正。在指示部分设有压力表型液位指示器，比重指示器和压力开关，后者为溢流报警和自动切换货油阀等提供信号。

图 9.5.6－9 所示比重自动修正装置原理如下：X、Y、Z 分别为全深、比重和上部液位测压管，X 与 Y 的信号，X 与 Z 的信号分别在 E、F 中比较，并变成 0.02～0.1MPa 的气压信号，一方面远传指示比重，同时被分别送至 A、B 主、副计算器，E 或 F 的信号送入 B 则由 C 自动选择。X 信号经 G 变换，并在此修正背压影响后，在 A 进行比重自动修正的计算，然后远传至主指示器指示全深液位(粗读)。同样，X 和 Z 的上、下部扩大指示信号，经过 D 自动选择后进入 H 进行变换和修正背压影响，然后进入 B 进行比重修正计算，最后远传至副指示器，进行精读的扩大指示。D 是由来自主计算器 A 的信号控制的，它决定 X 或 Z 送至 H。气动元件 A、B、G、E、F 和 H 的气源由调压阀 R 供给。比重记忆器 I 的功用在于，当 Y 管离开液面测不出比重信号时它仍记忆住以前的比重信号，供计算器用。主、辅计算器实质上就是气动除法器。

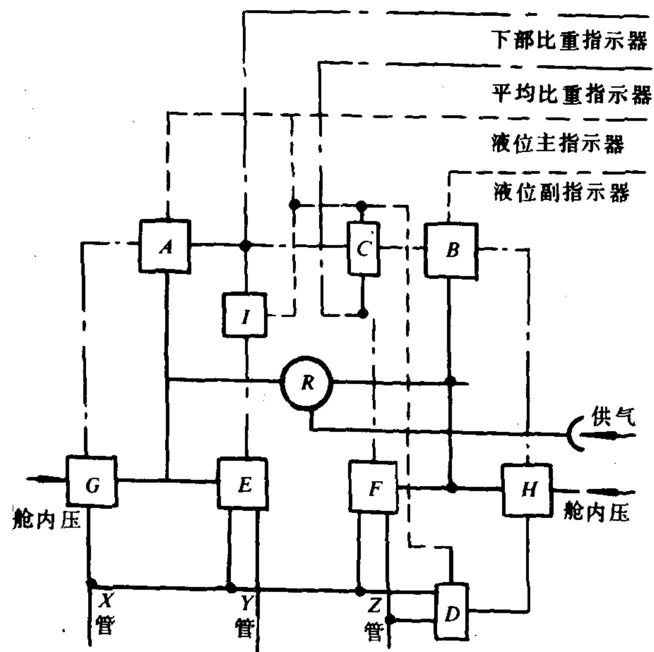


图 9.5.6－9　比重自动修正装置原理图

A－主指示计算器；B－副指示计算器；C－比重切换器；D－测深切换器；E、F－比重压变换器；G、H－测深压变换器；I－比重记忆器；R－调压阀

1.2.3　安装和使用

1.2.3.1　安装

仪表柜安装在专门的货油控制室内，仪表柜正前方空隙距离不小于 1m。装置必须有单独的气源净化装置。

发讯器盒安装位置应紧靠货油舱后壁或扶梯处。测深管下端部距舱底的距离为 30～100mm 左右，对于装载粘性较大的油品的船舶，测深管底部应考虑加装局部加

热盘管。

本装置的连接管路为∅6×1的紫铜管或尼龙管缆。采用尼龙管缆时弯曲半径不小于80mm,管缆出控制室处应加装舱壁穿通器。

1.2.3.2 维护正常使用期间,应定期泄放分水过滤器。拆检过滤干燥器,将干燥剂取出烘干或予以更换。

使用中如发现测量管路有堵塞现象,可将控制阀扳到冲洗位置反复冲洗几次后复位。

1.2.3.3 常见故障及其处理方法

表9.5.6—2示出吹气式液位遥测装置常见故障及其处理方法。

表9.5.6—2 **吹气式液位遥测装置常见故障及其处理方法**

<table>
<tr><th colspan="3">故障现象</th><th>故障原因</th><th>排除方法</th></tr>
<tr><td colspan="3">气源压力不稳定</td><td>减压阀沾污</td><td>拆检减压阀</td></tr>
<tr><td rowspan="5">流量计指示正常</td><td colspan="2">个别差压表指针(或动盘)飞升到满刻度以上</td><td>控制阀测深(或背压)部分内部漏泄</td><td>拆检控制阀</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">液压(或背压)指示偏低</td><td>测深(或背压)管路漏泄</td><td>检查管路</td></tr>
<tr><td>差压表工作点偏移</td><td>请制造厂调整</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">液压(或背压)指示偏高</td><td>测深(或背压)管路局部堵塞</td><td>检查管路</td></tr>
<tr><td>差压表工作点偏移</td><td>请制造厂调整</td></tr>
<tr><td rowspan="5">流量计无指示</td><td colspan="2" rowspan="2">所有差压表的指针、动盘都飞升到满刻度以上</td><td>气源压力过低</td><td>调节减压阀,提高气源压力</td></tr>
<tr><td>气源总管局部堵塞</td><td>检查气源总管,消除脏物</td></tr>
<tr><td rowspan="3">个别差压表飞升到满刻度以上</td><td>指针、动盘同时飞升</td><td>该舱气源管路局部堵塞</td><td>拆检有关气源管路</td></tr>
<tr><td rowspan="2">指针(或动盘)飞升</td><td>控制阀后测深(或背压)管路堵塞</td><td>吹洗或拆检</td></tr>
<tr><td>测深(或背压)管路吹气装置波纹管损坏</td><td>更换吹气装置</td></tr>
<tr><td colspan="3">所有差压表均无指示</td><td>气源总管堵塞</td><td>拆检气源管路</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="3">个别差压表无指示</td><td>控制阀前测深管路堵塞</td><td>拆检</td></tr>
<tr><td>流量计未开或堵塞</td><td>拆检</td></tr>
<tr><td>差压表波登管损坏</td><td>更换差压表</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="6">有报警信号时,报警装置不动作</td><td>气电转换器损坏</td><td>更换</td></tr>
<tr><td>浮球卡死或浮球发讯器处漏泄</td><td>清洗或更换浮球</td></tr>
<tr><td>报警气路漏泄</td><td>拆检管路</td></tr>
<tr><td>浮球发讯器喷咀挡板漏泄</td><td>拆检</td></tr>
<tr><td>浮球发讯器磁棒脱落</td><td>拆检</td></tr>
<tr><td>电路故障</td><td>拆检</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="3">无报警信号时,报警信号不消失</td><td>报警气路泄放端堵塞</td><td>拆检管路</td></tr>
<tr><td>气电转换器损坏</td><td>更换</td></tr>
<tr><td>电路故障</td><td>检查</td></tr>
</table>

1.3 雷达式液位遥测装置

1.3.1 系统和原理

雷达式液位遥测装置系统图如图 9.5.6－10 所示。系统由雷达发射器、发射器连接组件、中央处理单元、显示单元和可供选用的货油温度传感器、现场读出单元、手提式读出单元等组成。

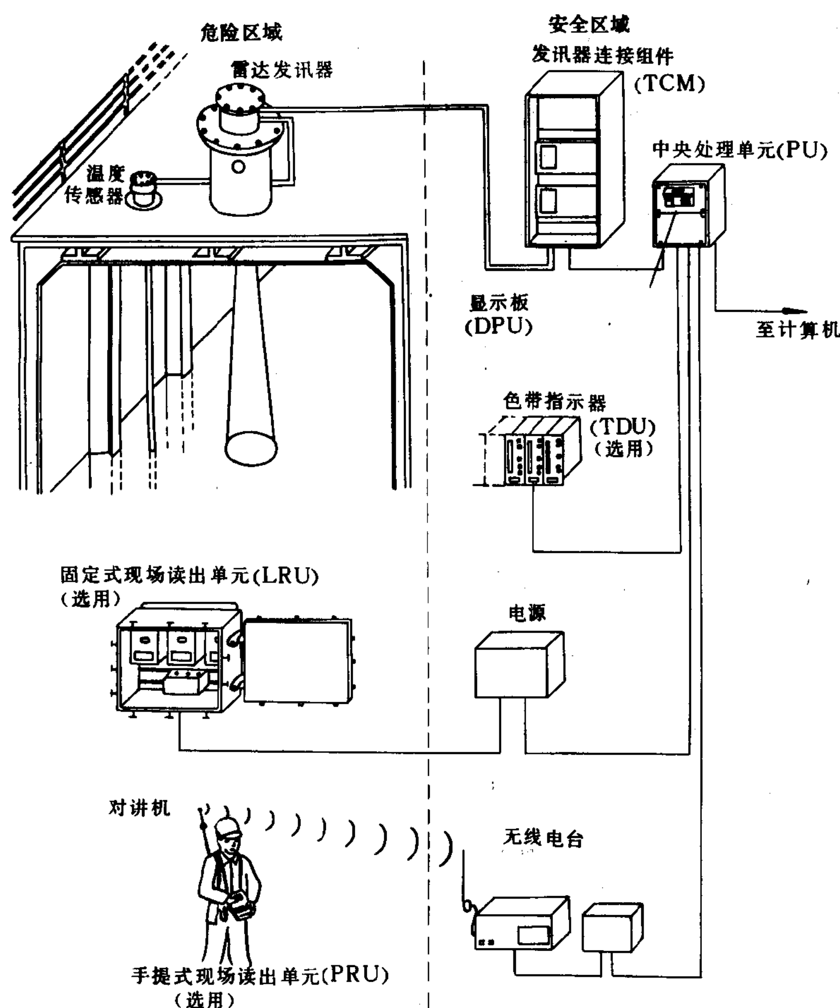


图 9.5.6－10 TANKRADAR 雷达式液位遥测装置系统图

装于货油舱顶部的雷达发射器向液体表面发射波束，从液体反射的回波可由天线接收。雷达发射器产生一个恒幅变频的输出，其频率变化如图 9.5.6－11 中实线所示，而虚线表示的是由于天线到液面存在一定距离而被延迟的回波频率，发射信号和接收信号之间的频率差与天线到液面之间的距离成线性关系。

由于雷达波束的速度波动很小，它受油气的温度及成份的影响可忽略不计。在正常的空气中，雷达波束速度比在真空中低 0.02%。当测量货油舱中这样小的距离时，空气中所含雾气和水滴的影响也十分微小。因此雷达发射器的精度可达±5mm。

1.3.2 组成

1.3.2.1 雷达发射器　图 9.5.6－12 为雷达发射器。全部电气元件装于电气箱内，不需打开货油舱即可整体更换。在货油舱油气空间中的雷达部件只有天线，天线基本上是一个金属结构，由一根同轴电缆与外面相连接，连接处是气密的，只要制造天线所用的材料合适，它将能耐各种腐蚀性物质。发射器法兰上有一个油尺旋塞，当需要用人工测量参考液位时可以打以开。清洁门在必须对天线进行清理时使用。

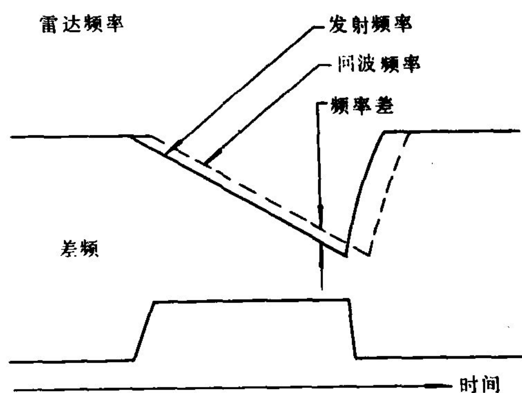


图 9.5.6—11 雷达频率

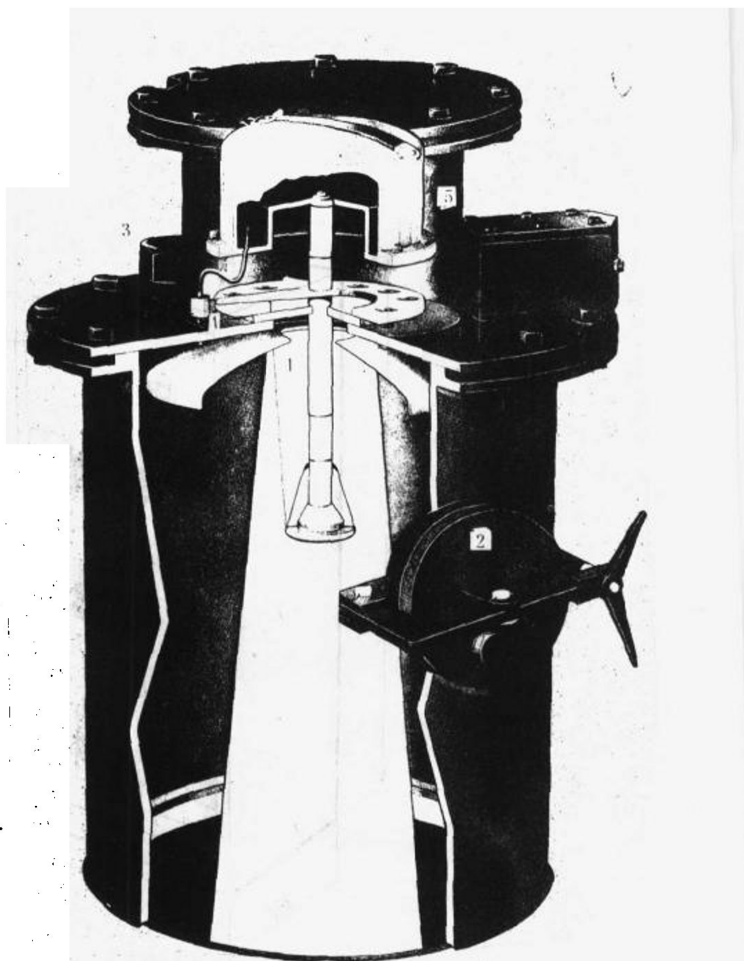


图 9.5.6—12 雷达发射器

1—天线；2—清洁门；3—油尺旋塞；4—惰性气体压力传感器；5—电气箱

系统中温度传感器的信号也可由电缆连接至雷达发射器，然后再一同送至发射器连接组件。而惰性气体压力传感器可直接安装在雷达发射器上。

1.3.2.2 发射器连接组件 每个雷达发射器通过 3 对芯线的电缆与发射器连接组件相连，发射器连接组件可同时连接 36 个雷达发射器。由雷达发射器来的信号在此被放大，然后按顺序逐一送至中央处理单元，因此在发射器连接组件和中央处理单元之间只需使用一根电缆，发射器连接组件可安装在安全区域的任何位置。图 9.5.6—13 为发射器连接组件机箱。

1.3.2.3 中央处理单元 图 9.5.6—14 为中央处理单元。它对来自雷达发射器或其它地方的信号进行数据处理及监测报警信号处理等，并能进行内部的功能试验。就地读出单元以及其它测量横倾、纵倾吃水的传感器信号，压载水舱的液位信号等均可连接至中央处理单元。如果上述信号传感器安装在危险区域内，则需要在线路中间加装防爆栅(ZENER BARRIER)。

显示板通常安装在中央处理单元上，需要时也可单独安装在控制台上。通过操作功能键能使参数在液晶显示器上得到显示。显示功能如下：

货油舱液位高度

货油温度

惰性气体压力

船舶吃水

高、低液位报警；高高、低低液位报警

货油温度和惰性气体压力的极限报警

单位换算（m↔ft；℃↔°F 等）

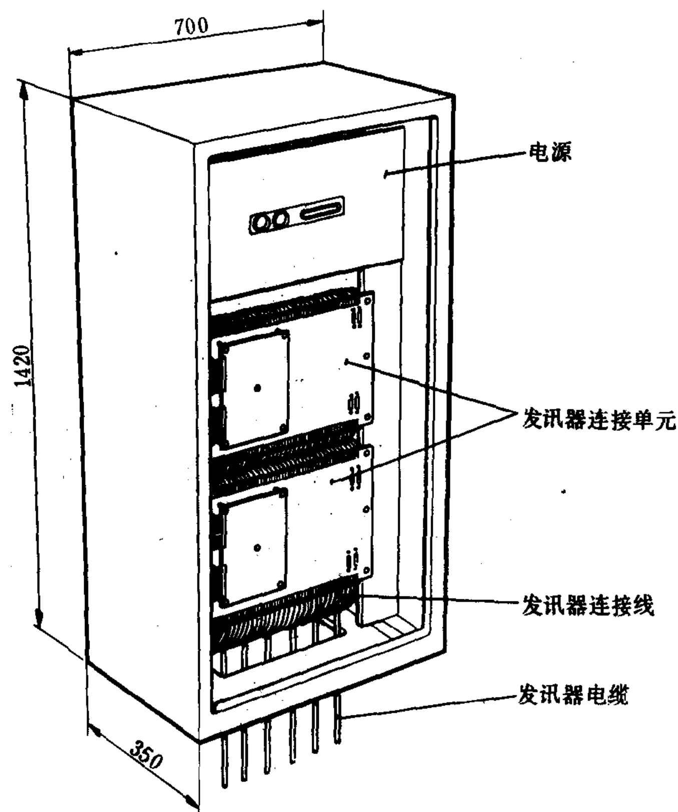


图 9.5.6－13　发射器连接组件

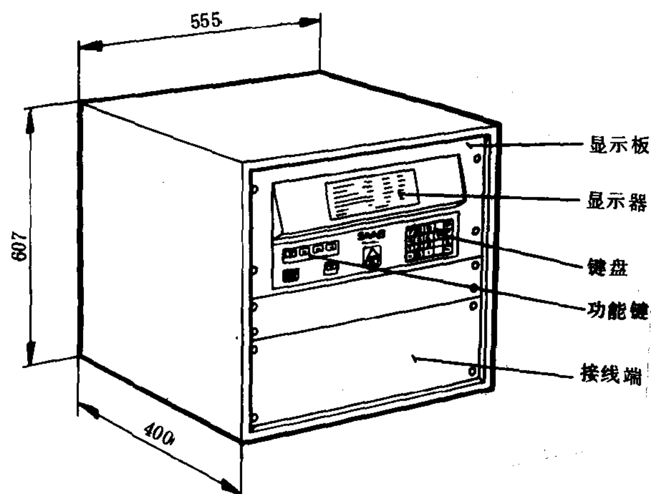


图 9.5.6—14　中央处理单元

顶报警值显示

功能试验结果

货油重量

货油体积

1.3.2.4 CRT 显示器和色带指示器　系统可外接 2 种显示器。

1)CRT 显示器

CRT 显示器与中央处理单元上的键盘一起使用，它能单独显示每个货油舱的各种数据，显示方式有文字、图表、曲线或模拟图等。

2)色带指示器

使用色带指示器可同时显示各货油舱的液位。色带显示器由发光二极管构成，可显示货油舱充满的程度，精度可达±2%。指示器上还装有一个四位数字显示器，可同时显示货油舱的液位高度。指示器上并设有高、低液位报警和高高、低低液位报警灯等。图 9.5.6－15 为色带指示器。

1.3.2.5 现场读出单元分手提式和固定式 2 种。

1)手提式现场读出单元

使用无线手提式读出单元可使操作人员能在任何位置上监视整个货油的装卸过程。手提式读出单元有 2 个四位显示器，仪表为本质安全型，它能显示出货油舱内的液位、油温，并能设定和显示各舱的高、低液位报警值。图 9.5.6—16 为手提式现场读出单元。

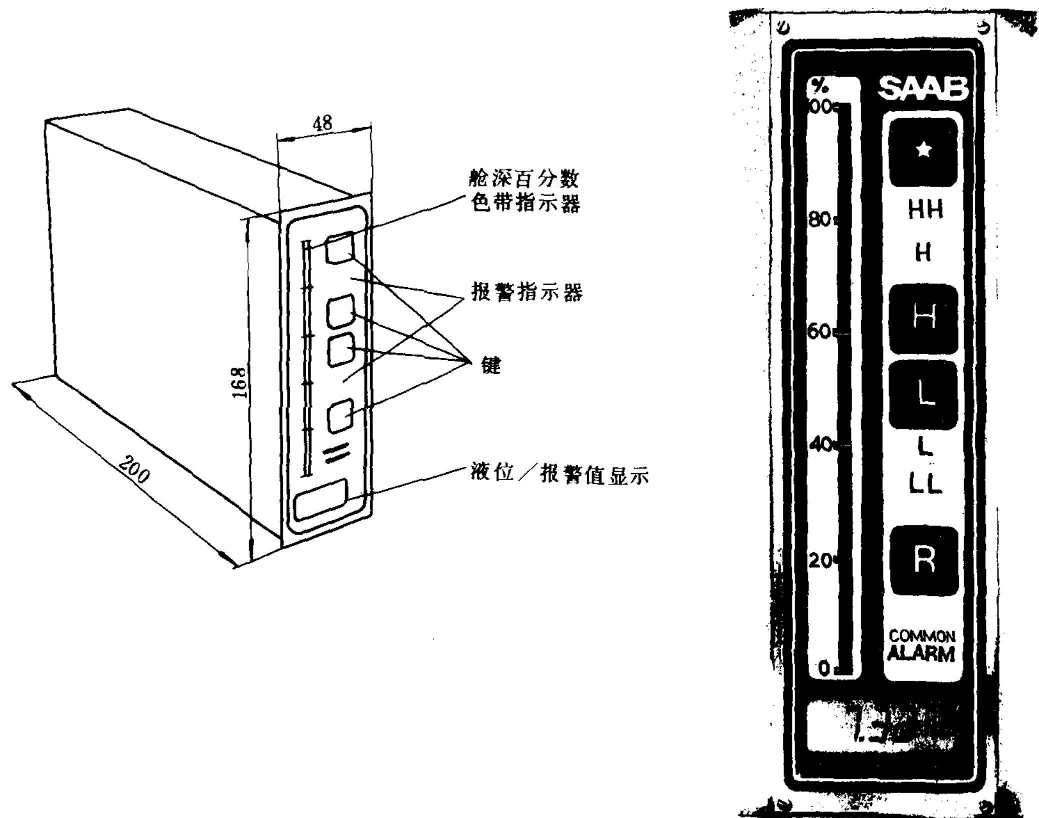


图 9.5.6—15 色带指示器

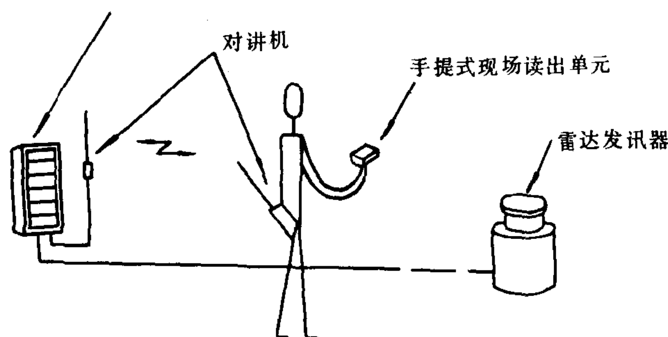


图 9.5.6—16 手提式现场读出单元

2)固定式现场读出单元

固定式现场读出单元装有 4 位数字显示器(最大显示 39.99m)及可调整的高、低液位报警设定旋钮，当液位越限时发出闪光报警信号和蜂鸣器声响信号，本单元经专门的电流装置与中央处理单元相连，该电源装置需安装在安全区域内。固定式现场读出单元安装在甲板上的防水隔舱内。图 9.5.6—17 为固定式现场读出单元。

1.3.3 安装和使用

1.3.3.1 安装雷达式液位遥测装置安装容易，唯一的要求是货油舱内必须有一定范围的无障碍空间。雷达发射器选择的安装位置必须经遥测装置制造厂审核。

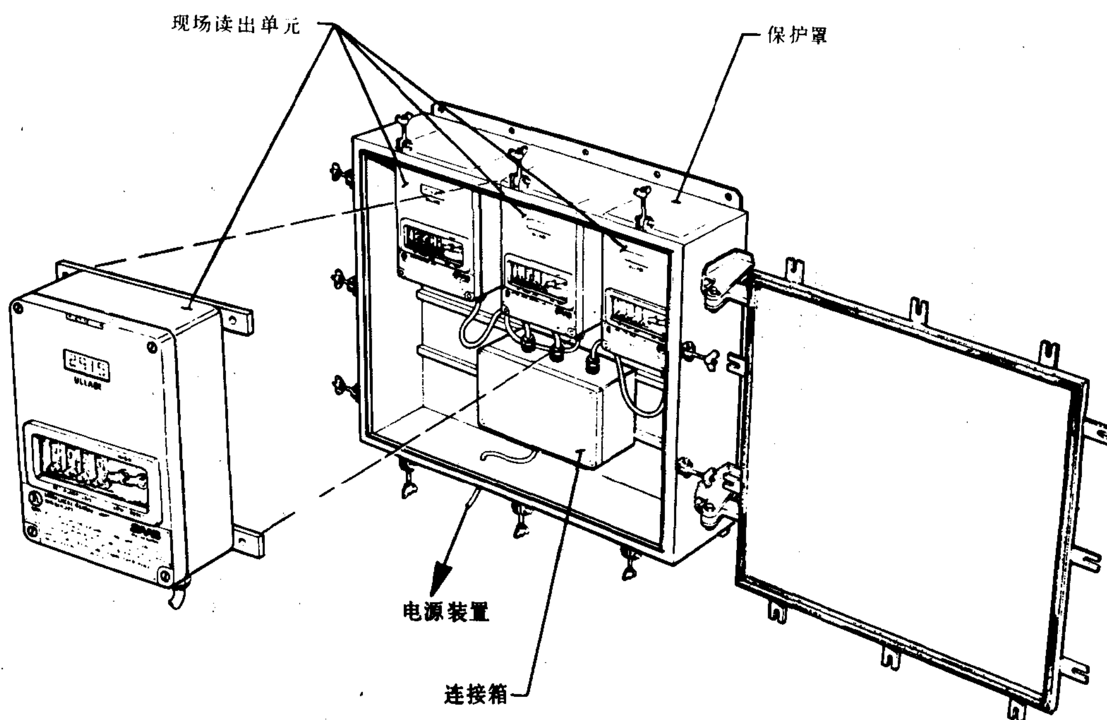


图 9.5.6—17 固定式现场读出单元

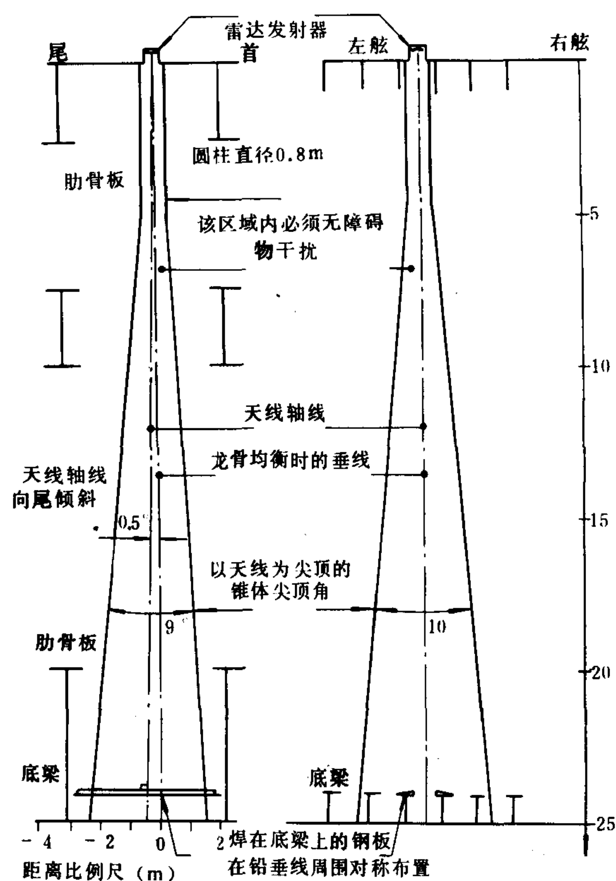


图 9.5.6—13 雷达式液位发射器的安装要求

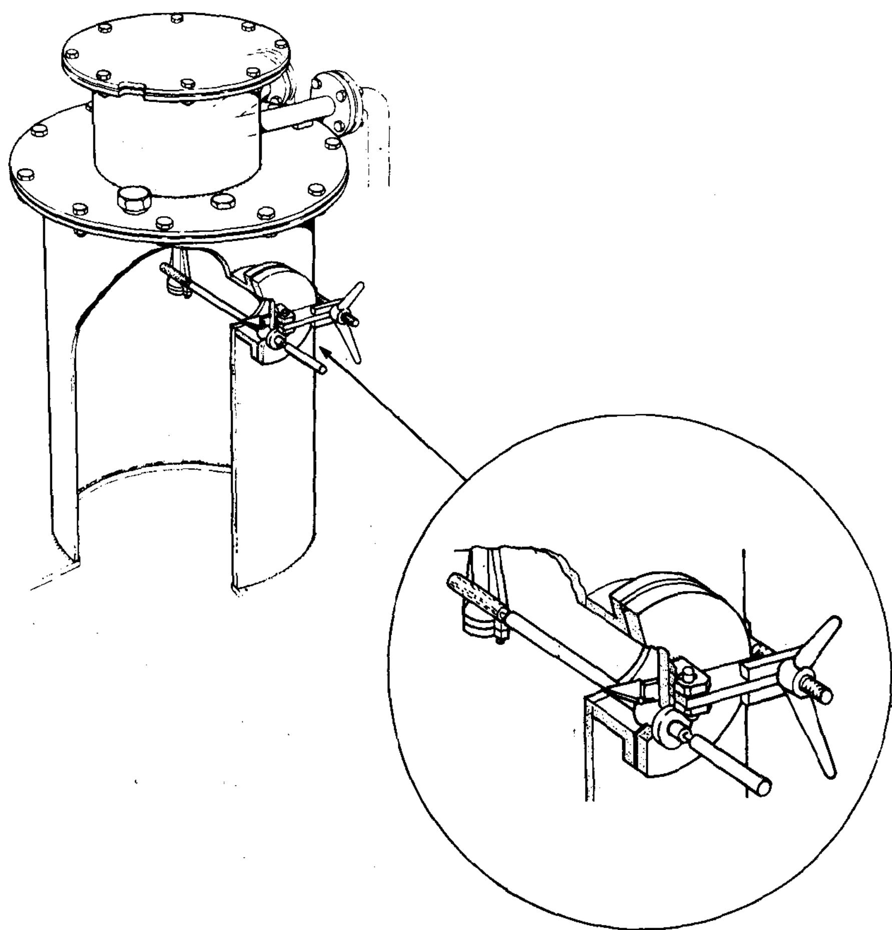


图 9.5.6－19　雷达式发射器清洁门

雷达发射器安装时只需在甲板上开一个∅500mm 的孔，安装要求如图 9.5.6－18 所示。在底部有纵梁的情况下，可将小块钢块倾斜焊接在射束范围以内的纵梁上，以消除底梁对测量精度的影响。

在每个雷达发射器和发射器连接组件之间敷设一根有 3 对芯线的电缆、电缆的敷设必须符合船级协会对甲板电缆所作的安全规定。在发射器组件和中央处理单元之间只需使用一根电缆。

1.3.3.2　维护　唯一规定的维护工作是必须对雷达发射器的天线进行清洁，清洁的周期取决于所装的液货。当天线需要清洁时，显示板上的"警告"指示灯会发出闪光信号。一般情况只需用刷子通入清洁孔旋塞来回刷洗清洁即可。如图 9.5.6－19 所示。如果污染严重，可将清洁门打开进行清洁。但在清洁之前必须使惰性气体压力减低，然后才能打开清洁门，用布块擦净雷达发射器的发射管和抛物状接收器，必要时可使用一些适当的溶剂。

1.3.3.3　常见故障及其处理　表 9.5.6－3 示出雷达式液位遥测装置常见故障及其处理方法。

表 9.5.6—3　　**雷达式液位遥测装置常见故障及其处理方法**

故障现象	故障原因	排除方法
全部显示器无指示	主电源故障	检查电源电缆和保险丝
	电源电压低于 180V	检查 220V 电源
显示板发光二极管暗	无电压	检查中央处理单元 PPM 板指示器
	接触不良	检查中央处理单元与显示板间电缆
	信号传输故障	更换 PROCCOM 印刷板
	微处理器芯片故障	更换 CPU—31 印刷板或 MEM54 印刷板
全部货油舱指示偏差	发讯器连接组件不工作	检查发讯器连接组件保险丝
	信号传输故障	试换中央处理单元 SPA 或 SPD 印刷板试换发讯器连接组件 TM 印刷板
某货油舱液位指示偏差	发讯器电气箱故障，雷达波消失	利用试验电缆试验电气箱，必要时更换电气箱
	天线污染	清洁天线
	油舱有异常情况，回波信号太弱	按说明书要求安装，避免异常现象发生
某组货油舱指示偏差	发讯器连接组件放大器板故障	更换该组放大器板 TX1
	发讯器连接组件信号传输故障	更换发讯器连接组件 TM 印刷板
液位指示不正确，接近空舱液位	因舱底倾斜，回波信号太弱	按说明书要求，避免不正确安装
指示偏差	信号传输故障	试换中央处理单元下列印刷板 PROCCOM，CPU—1，CPU—2，MEM
某舱油温指示偏差	该舱一个或几个 pt1000 温度传感器故障	检查 pt1000 传感器，更换
	发讯器电气箱故障	更换电气箱
某舱惰性气体压力指示偏差	发讯器电气箱故障	更换电气箱
	惰性气体压力传感器故障	更换传感器
惰性气体压力指示值始终相同	发讯器惰性气体压力传感器安装孔堵塞	清洁安装孔
	惰性气体压力传感器故障	更换传感器

1.4 磁浮子式液位遥测装置

1.4.1 系统和原理

磁浮子式液位遥测装置系统图如图 9.5.6—20 所示。系统由电源单元、测量单元和指示单元等组成。

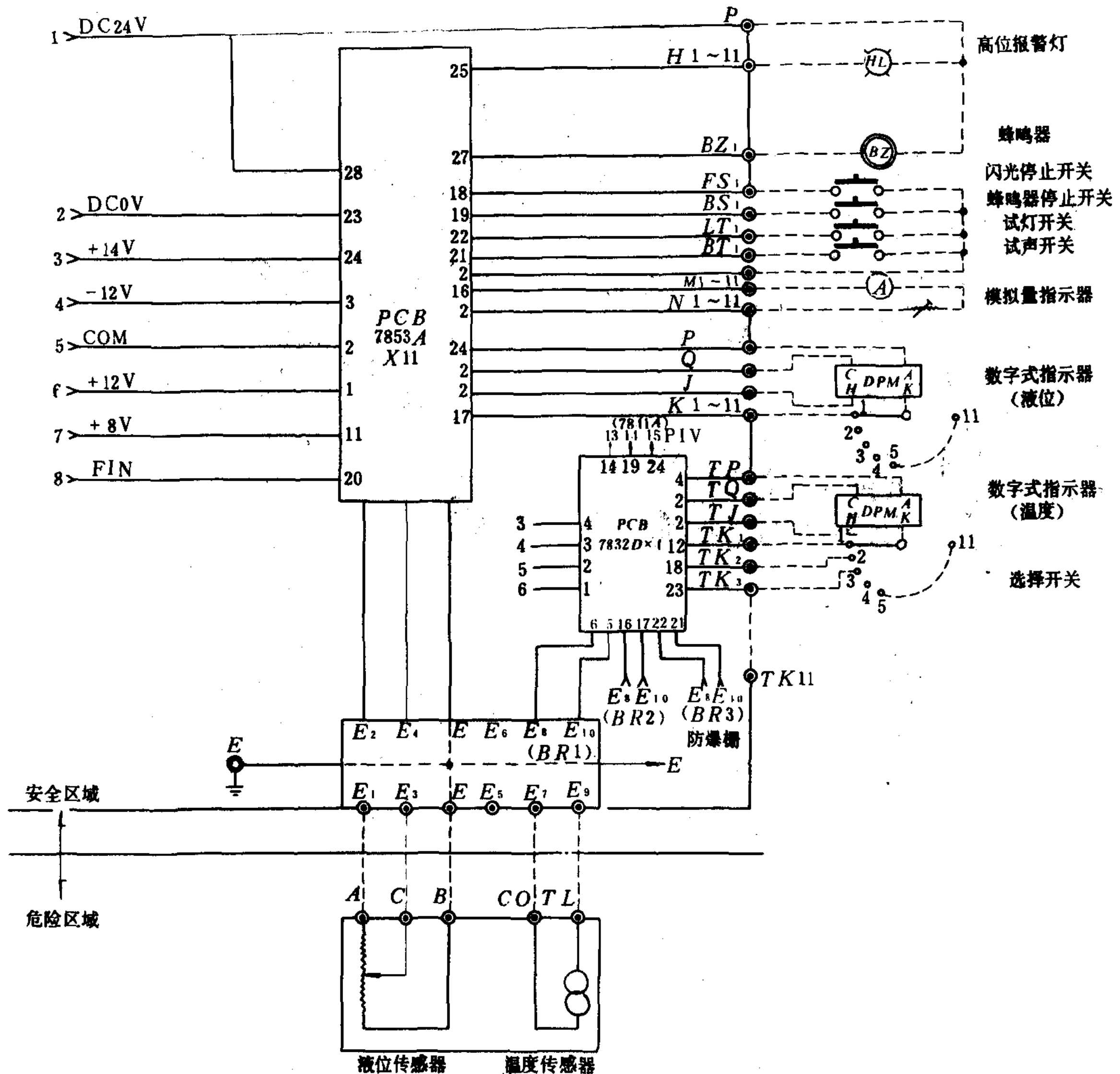


图 9.5.6—20 磁浮子式液位遥测装置系统图

磁浮子式液位遥测装置工作原理如图 9.5.6—21 所示。套在导向管上的环形浮子 a 随货油舱内液位上、下浮动，浮子内装有永久磁铁。导向管沿其长度方向安装有许多干簧开关 b，干簧开关为一密封玻璃管，内装 2 块导磁材料。当浮子上、下浮动到某一位置时，浮子内永久磁铁形成的磁场作用到某一干簧开关时，由于磁力的作用，将使 2 导磁体闭合，接通电路。c 为采用磁浮子式测量液位的原理图。设 A C 间有一恒定电压 E，A C 间的阻值为 R_n，BC 间的阻值为 Rw，B 点是随浮子不同的位置而变化的，则 $V_{BC}=R_w/R_n \cdot E$。因此 BC 间的电压值即与浮子对应的液位高度成比例。

1.4.2 组成

1.4.2.1 电源单元如图 9.5.6—22 所示。经过整流的稳压电源供测量单元和指示单元使用。

1.4.2.2 测量单元。 图 9.5.6−23 为标准型的液位测量单元。满足日本工业标准 d_2G_3 防爆等级。由于采用玻璃密封式的干簧开关，所以接触部件寿命长，干簧开关的寿命可达几亿次。此外干簧开关的防震性好，动作迅速，因此电气线路工作可靠。该液位测量单元可承受 1.6MPa 的工作压力，工作温度为 −190～+270℃。

该装置也可测量油温，油温测量由一硅半导体型温度传感器构成，测量范围 +10～+150℃。

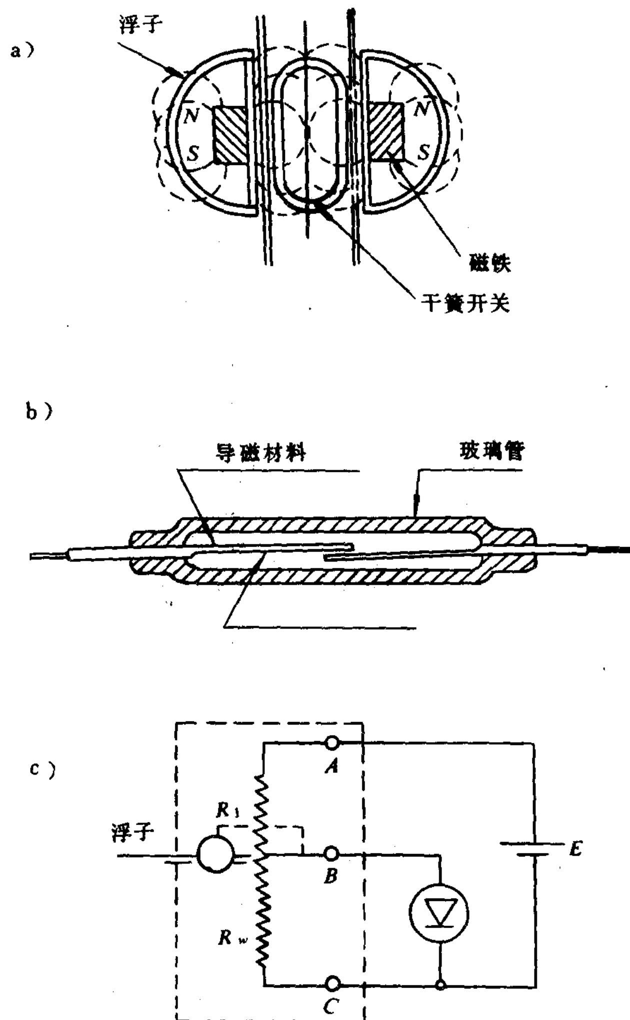


图 9.5.6−21 磁浮子式液位遥测装置工作原理图

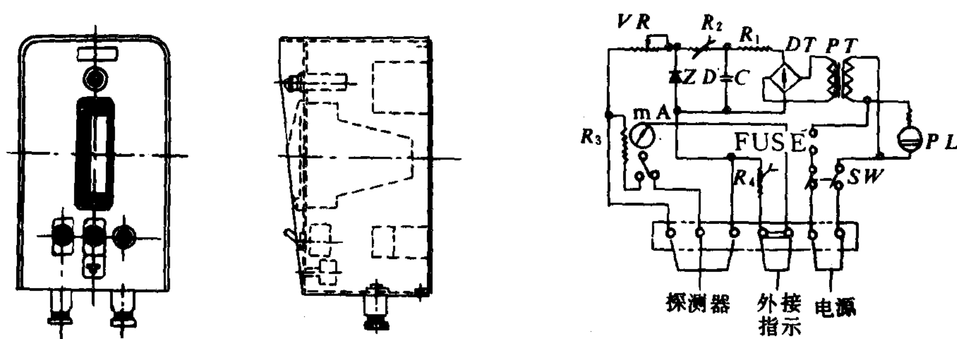


图 9.5.6−22 电源单元

安装在货油舱内的液位和温度传感器通过齐纳防爆栅与电源和指示单元相连，电源和指示单元一般安装在货油控制台上。

1.4.2.3　指示单元　分模拟量指示器和数字式指示器2种。模拟量指示器为一直流电压表，如图9.5.6－24所示。指示单元上有一个转换开关和一个调零旋钮，指示单元装有可调整高、低液位报警值的限位开关。指示器分为墙式安装和控制台式安装2种。

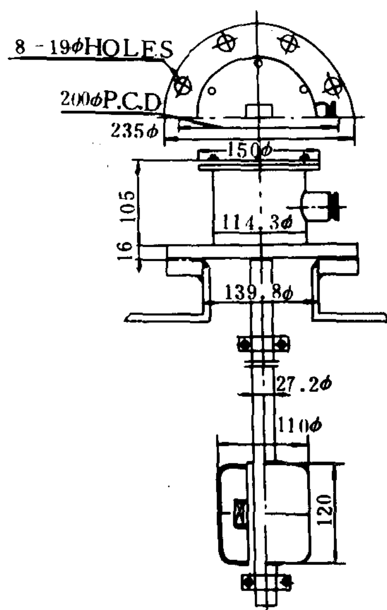
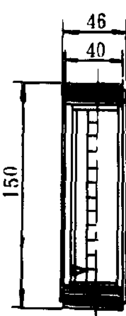


图9.5.6－23　测量单元



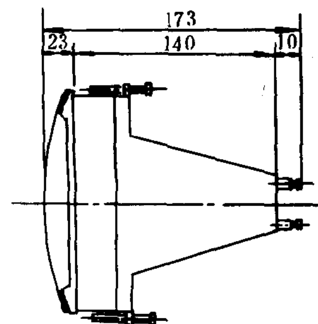


图9.5.6－24　指示单元

数字式指示器可显示各货油舱的液位和油温数字，由选择开关选择舱号。

1.5　压力传感器式液位遥测装置

1.5.1　系统和原理

压力传感器式液位遥测装置系统图如图9.5.6－25所示。系统由信号传感器、控制单元和工作站等组成。

每个货油舱通常装有3只压力传感器，下部、上部和顶部传感器。下部和上部传感器之间安装时保持一定距离，当液位超过上部传感器时，可自动计算出比重，这意味着所显示的是实际温度下的液位，不需要再引入不同的修正因素。

如果液位没有达到上部压力传感器，此时又需要读数，则用手工设定比重。计算机将依据货物的瞬时温度自动修正操作人员所输入的比重数值。

第三只顶部传感器安装在紧靠甲板的接线盒中，用以测量货油舱上部的油气压力。

1.5.2　组成

1.5.2.1　信号传感器　压力传感器为电阻性传感器，采用应变片测量原理进行测量。压力传感器采用铬镍铁合金，具有良好的防腐蚀性能。传感器膜片厚0.5mm。

压力传感器带有一内装式pt1000温度元件，因此将液位测量、温度测量和惰性气体压力测量结合在一起。

1.5.2.2　控制单元　系统的控制单元是PC计算机，采用PASCAL语言编制的程序。程序和固定数据均贮存在PC计算机的只读存贮器中，每一压力传感器的单独数据均在位于输入板的单独的随机存取存储器芯片上，因此更换很容易。在控制单元中也可连接一倾斜仪，以补偿由于压力传感器没有安装在货油舱浮心所造成的空舱高度偏差。

1.5.2.3　工作站　一般安装在货油控制室内，所有数据显示和人机对话均在工作站上进行，

工作站的核心是 IBM－PC 计算机，系统采用彩色图形监控器。操作人员可在此进行全部的显示和控制。主要显示数据如下。

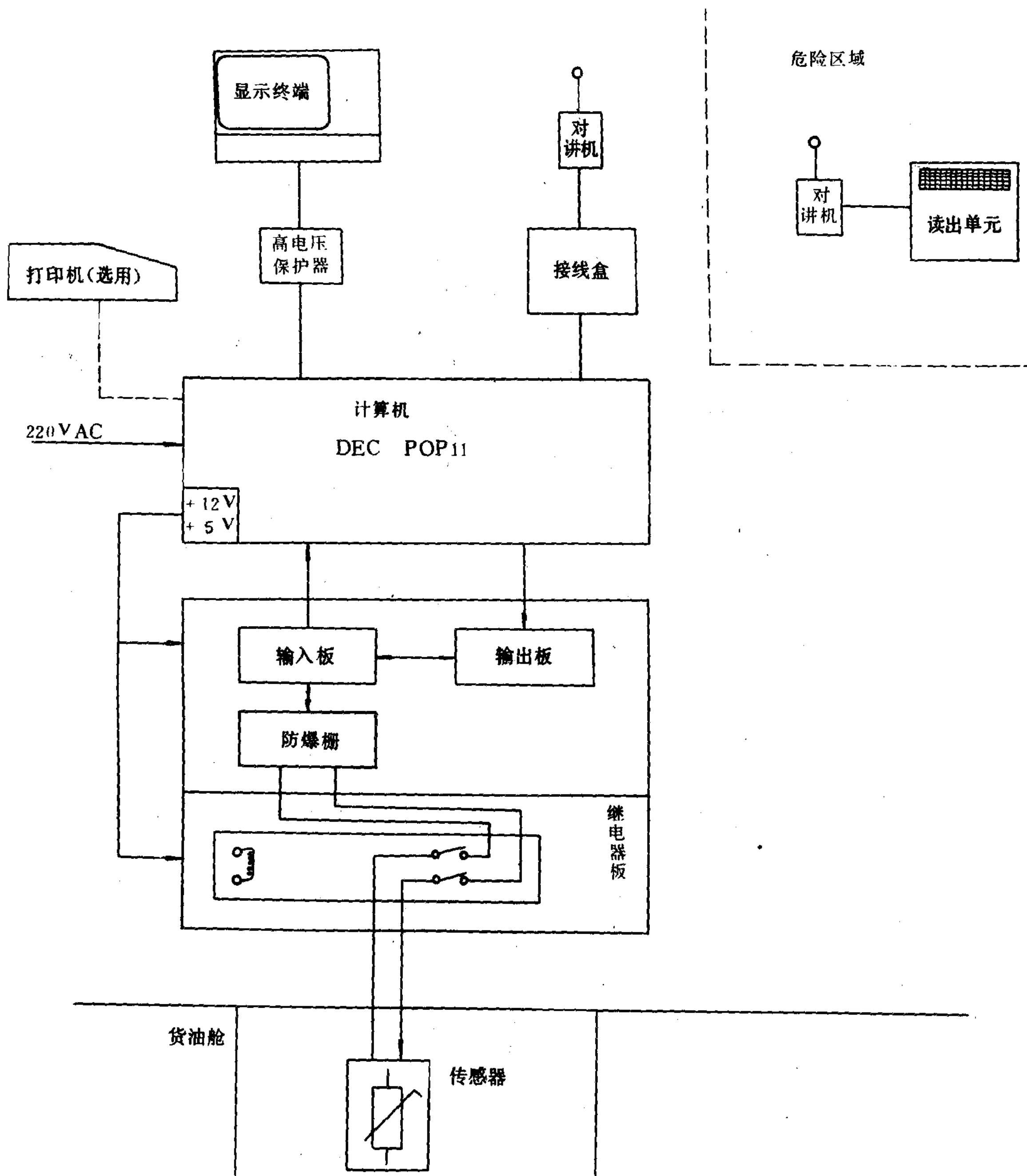


图 9.5.6－25　CARGOMASTER 型液位遥测装置系统图

货油舱液位高度

货油温度

惰性气体压力

船舶吃水

货油泵和货油管系压力

液位、温度、惰性气体压力等参数报警值

彩色图形监控器能单独显示每个测量点的各种数据，并能以图表、曲线形式表示。

根据需要系统还可设置分工作站。在各工作站之间，以高速通讯网络相互传递数据和程序。

1.5.2.4 载货计算器

系统配以载货计算器后可以扩展至包括所有必需的计算，以确保船舶的安全装卸。其主要功能如下：

1)根据货油的比重和货油舱不同的液位高度计算货油的容积和重量。

2)公制单位和英、美制单位的换算计算。

3)按给定待装或待卸液舱的输入数据，能计算新的载货状态下的瞬时排水量、吃水和纵倾。

4)计算稳心高度，以及根据IMO的破舱稳性要求，计算瞬时载货状态下的最大稳性高度。

5)计算若干固定点上的纵向弯矩和剪力。

6)可同时处理3种载货状态。2种载货状态根据操作人员输入的数据而定，如船舶的压载和满载2种载货状态。

7)所有载货状态均可存贮在软盘中。

2 货油阀门遥控装置

2.1 概　述

在油船货油装卸监控系统中，货油阀门的开闭和开度自动控制占有相当重要的地位。它可以决定装卸的货油舱、装卸的次序，还可控制货油的流量和压力等。

现代油船货油阀门的遥控大都采用液压控制。因为电气控制，虽易于实现，但受到油船防火防爆要求的限制。压缩空气控制，功率小、体积大，气动管路在低温下容易冰冻等。而液压遥控系统能在易燃易爆的环境下工作，而且体积小、功率大，并能调节开闭速度和使阀门停止在任意位置。所以液压遥控装置具有明显的优越性。

2.2 RC系列货油阀门遥控装置

2.2.1 系统和原理

日本中北仪表厂RC系列货油阀门遥控装置系统图如图9.5.6－26所示。它由主控制台、操纵阀屏、液压遥控蝶阀、阀位指示器和液压动力站等组成。

液压动力站产生的压力油经过操纵阀屏被传送到各液压遥控蝶阀的执行机构。操作人员可在货油控制室内对操纵阀屏进行控制，以改变压力油的流动方向，调节节流阀，控制工作油流量等，便可以达到遥控货油阀开闭和开闭速度的目的。回油仍返回动力站油箱。货油阀的开闭程度可由装于货油阀上的阀位指示器发出信号，并使传送到主控制台。

表9.5.6－4为RC系列组成表。其中RC－100为电液控制装置，RC－50为手动液压控制装置，RC－1为就地手动液压控制装置。该3个基本系统的框图如图9.5.6－27a、b、c、所示。

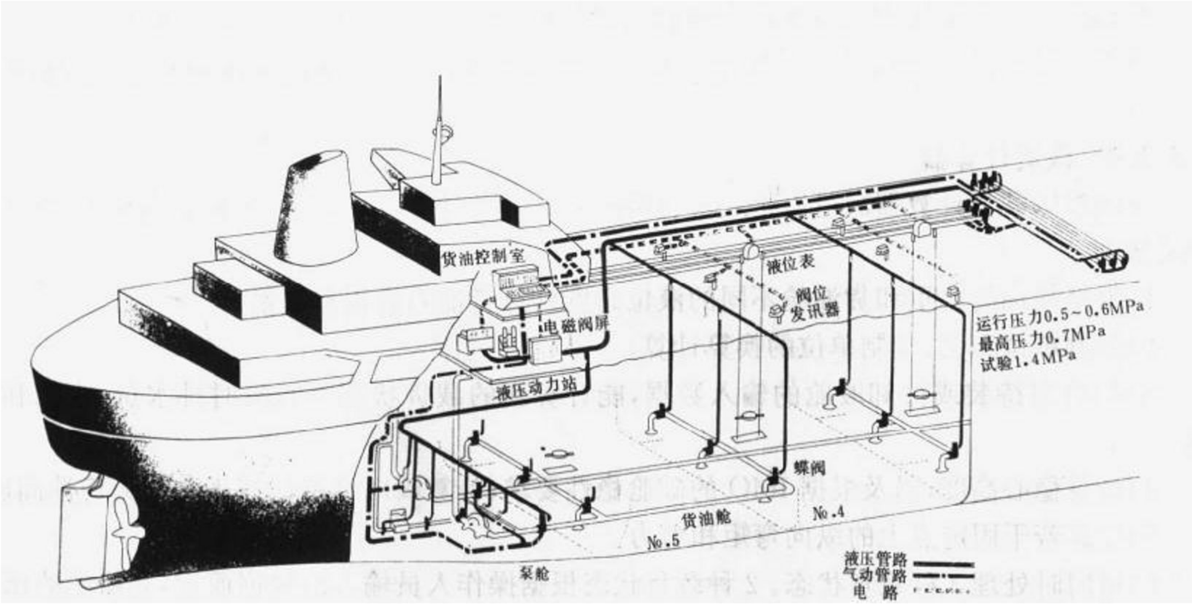


图 9.5.6－26　货油阀门遥控系统图

表 9.5.6－4

RC 系列货油阀门遥控装置组成表

型　式	控制位置	阀门操纵方式	阀位指示器	货油舱液位遥测方式	货油泵工况指示
RC－100	集控室	电一液操纵系统阀门操纵开关安装在集控台模拟管线图上	电、气或液动方式阀位指示器安装在集控台的模拟管线图上	浮子式液位计遥控指示	遥控指示货油泵压力和转速
RC－50	集控室	手动一液压操纵系统 手动操纵阀安装在集控台上	液动或气动方式流量指示器安装在集控台上 阀位指示器安装在模拟管线图上	吹气式液位计遥控指示	遥控指示货油泵压力和转速
RC－1	就地控制	手动一液压操纵系统 手动转换阀安装在现场的控制箱或控制站	液压方式 流量表式阀位指示器安装在控制箱或控制站		
RC－101	集控室＋就地控制	RC－100＋RC—1			
RC－51	集控室＋就地控制	RC－50＋RC—1			

货油阀液压遥控装置的管路布置方式按总体布置和控制阀方式的不同，可以构成多种组合，常见有下列 4 种方式，见图 9.5.6－28a、b、c、d。表 9.5.6－5 为各种管路布置方式的比较表。

2.2.2　组成

2.2.2.1　主控制台和操纵阀屏　主控制台上应装有能监视整个货油装卸过程的全部控制装置和仪表。它常与货油舱液位遥测装置的指示仪表安装在一起。

RC－100 型主控制台上装有货油泵的油压表，蒸汽压力表、转速表、扫舱泵的油压表和蒸汽压力表，货油泵的应急停止按钮，液压动力站的油压表、启动一停止开关，货油舱液位指示

器，上、下限液位报警灯以及时钟、试验按钮等设备。并装有按实际的货油管路制作的模拟线图板，将阀的操纵开关、阀位指示器等均安装在模拟板上，操作方便、迅速。图 9.5.6—29 为模拟线图板示例。

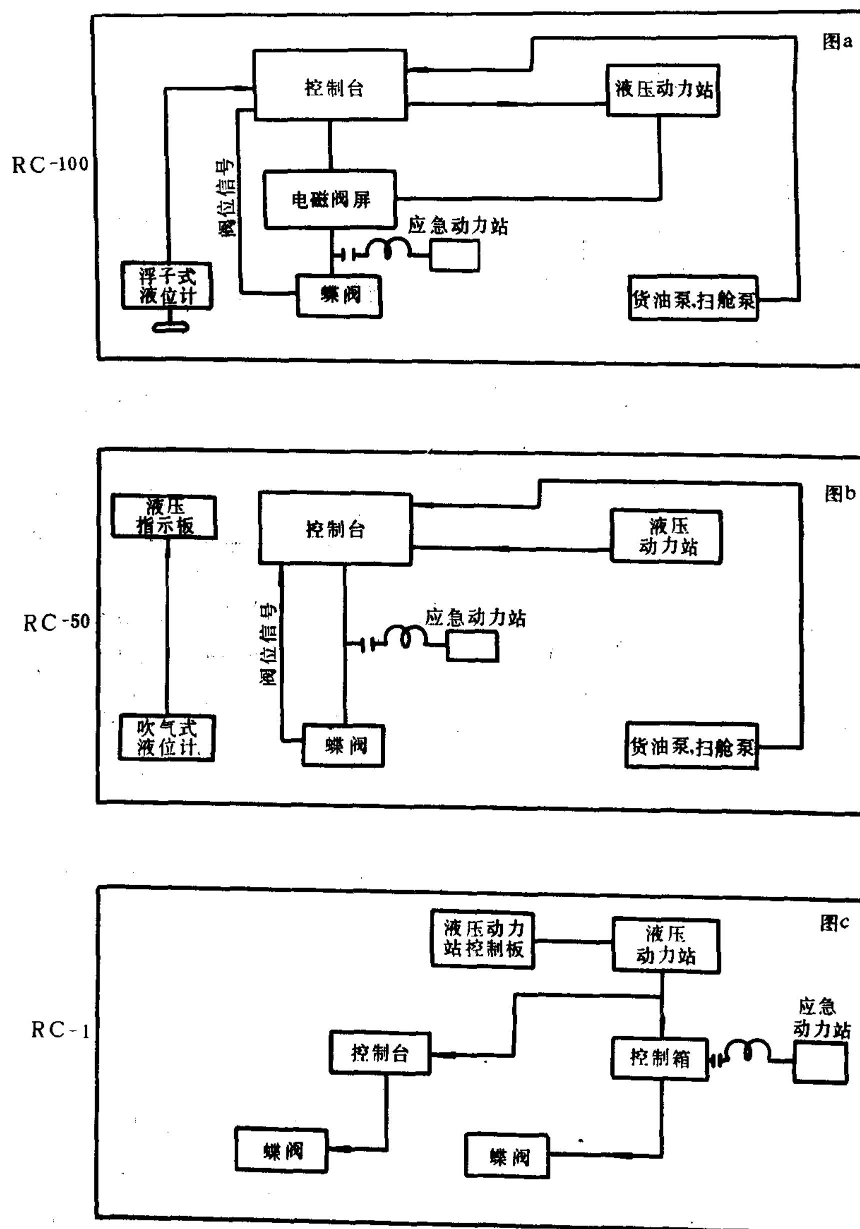


图 9.5.6—27　RC 系列基本系统框图

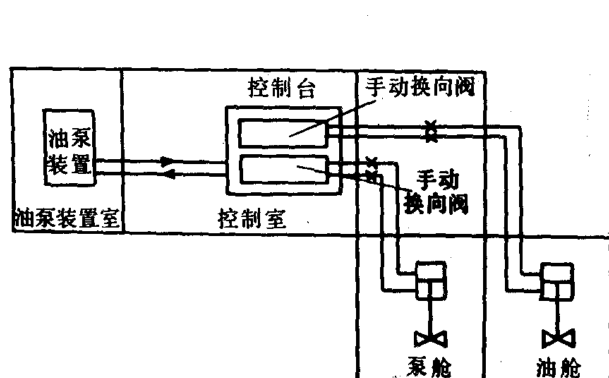
表 9.5.6—5

液压遥控装置各种管路布置方式比较表

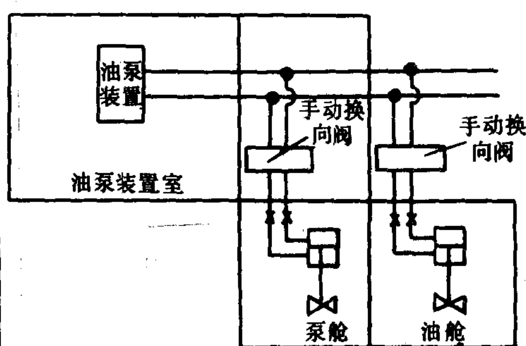
管路布置方式		管路	结构	管路阀件	管路阀件设置场所	控制台内布置	成　本
1	独立支管 手动切换方式	多	简单	手动切换阀	控制台	个数多布置困难	机件便宜管路成本高
2	独立支管 电磁阀切换方式	多	较复杂	切换开关	控制台	容易	较高
				电磁换向阀	电磁阀箱		
3	主管路式 手动切换方式	少	简单	手动切换阀	换向阀箱	—	便宜

续上表

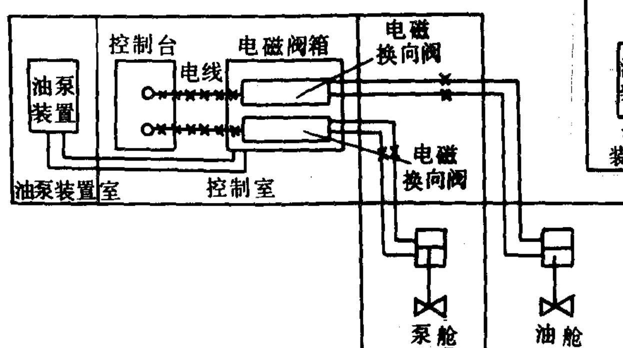
管路布置方式		管路	结构	管路阀件	管路阀件设置场所	控制台内布置	成　　本
4	主管路式电磁阀切换方式	少	较复杂	切换开关	控制台	容易	要求防爆结构时成本高
				电磁换向阀	电磁阀箱		



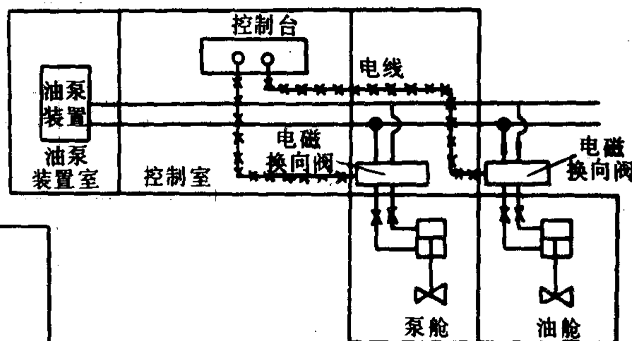
a）独立支管手动切换方式



c）主管路式手动切换系统



b）独立支管电磁阀切换系统



d）主管路式电磁切换系统

图 9.5.6—28　管路布置方式

操纵阀屏如图 9.5.6—30 所示。阀屏的正面装有各种电磁阀、截止阀和油压表等。为了减少连接的管路，阀门均装在专门的阀板上，阀屏的背面为液压管路和接头。整个阀屏要求安装在安全区内。

2.2.2.2　液压遥控蝶阀　图 9.5.6—31 为中北仪表厂生产的液压遥控蝶阀。阀门驱动器采用往复式油压缸，工作油压为 5～6MPa。蝶阀阀体采用 H 型双偏心结构，即阀盘相对于阀轴偏心，阀盘中心线相对于管道中心也偏心。双偏心结构的优点在于阀盘与密封环仅在全关位置时接触，密封环的磨损和变形极小；而且单向密封性好，介质压力越大，密封性越好。但它只允许单向流动。此外，蝶阀与普通闸阀相比还具有体积小、重量轻，开闭力矩小、驱动器也小等优点。图 9.5.6—32 示出船用蝶阀与相同口径的闸阀重量比较。

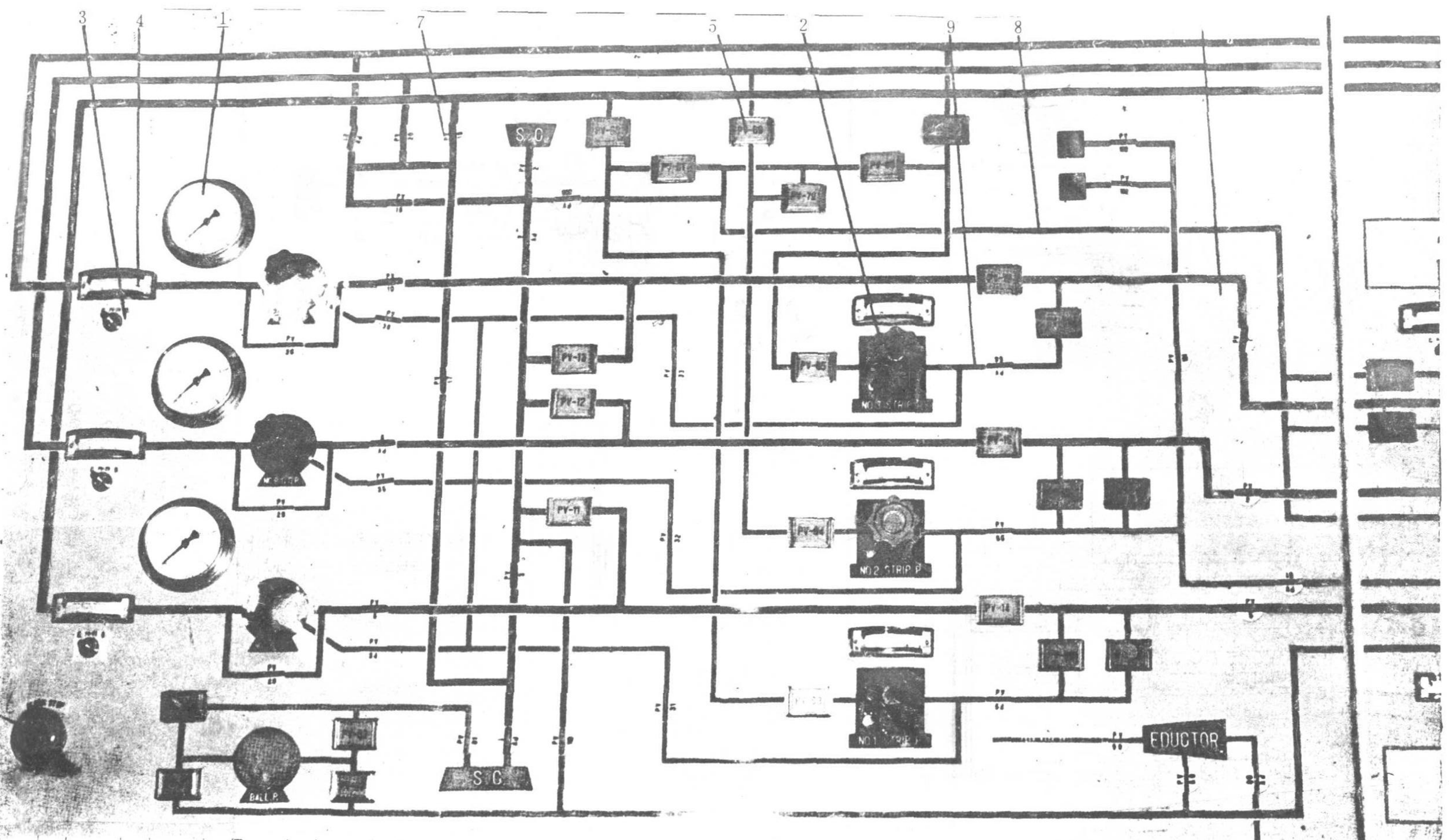


图 9.5.6－29　模拟线图板示例

1－速度控制器和货油泵信号压力表；2－行程控制器和扫舱泵信号压力表；3－阀位转换开关；4－阀开关指示器；5－阀门开关按钮；6－警报停止按钮；7－手动操纵阀开关指示器；8－货油泵管系；9－扫舱管系；10－分舱线

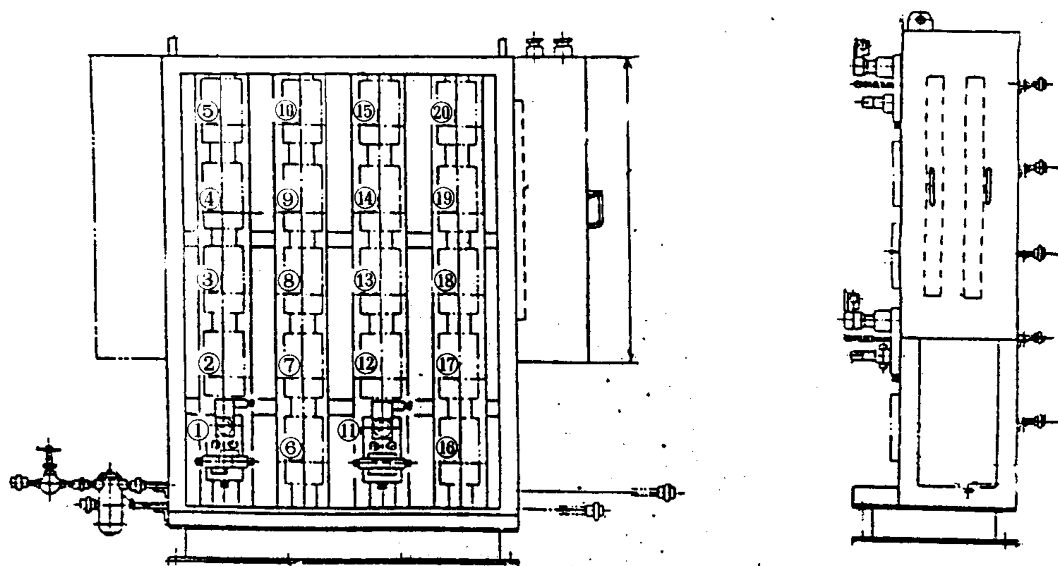


图 9.5.6－30　操纵阀屏

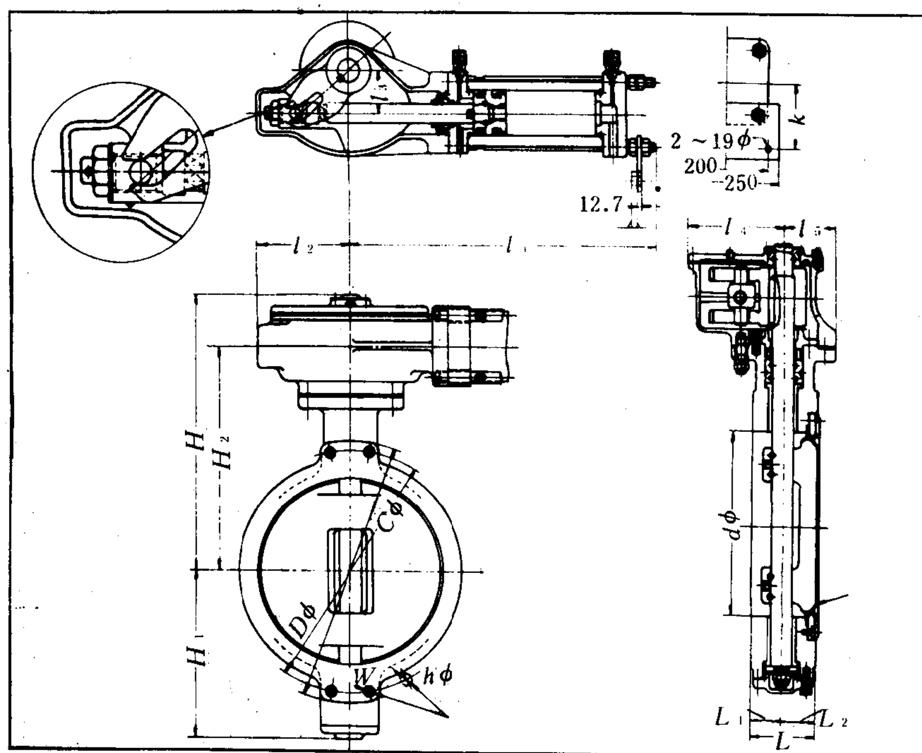


图 9.5.6－31　液压遥控蝶阀

介质：水、油、空气

温度：≤70℃

压力：≤2MPa

操作油压：5～6MPa

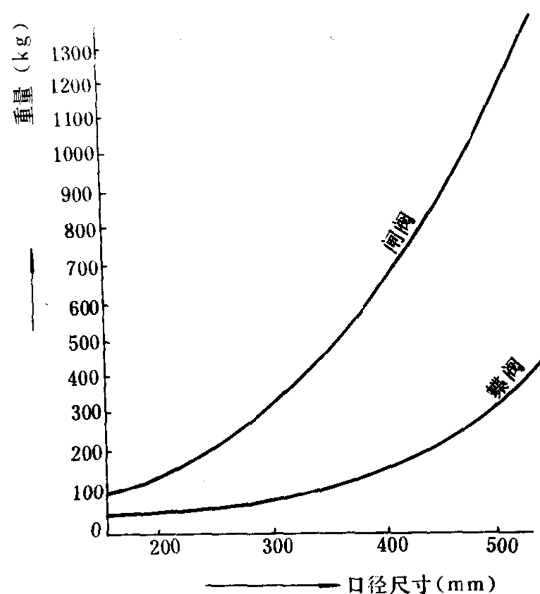


图 9.5.6—32 船用蝶阀与相同口径闸阀质量—口径比较曲线

蝶阀的密封性除与蝶阀的结构型式有关外，还与密封环所选用的材料有关。密封环的材料一般按流体介质进行选择。表 9.5.6—6 为不同流体介质时所使用的密封环材料。

表 9.5.6—6 **密封圈材料应用范围**

材料／介质	丁腈橡胶	丁腈橡胶（改良型）	氯丁橡胶	氟橡胶	金属	聚四氟乙烯
淡水	△	△	☆	△	△	△
海水	△	△	☆	△	△	△
原油	☆	△	—	△	△	△
重油	☆	△	—	△	△	△
轻油	—	☆	—	△	△	—
煤油	—	☆	—	△	△	—
石脑油	—	☆	—	△	△	—
汽油	—	—	—	☆	△	—
液化石油气	—	—	—	—	☆	—
液化天然气	—	—	—	—	☆	—
空气	△	△	△	△	△	△
蒸汽	—	—	—	—	☆	—
煤气	—	—	—	—	△	☆

☆—优；△—良

2.2.2.3 阀门指示器 为了能在集中控制室中监视各货油阀的开度或开闭状态，必须在遥控系统中设置阀位发讯器。本系统的阀位指示器有 4 种型式，如图 9.5.6—33 至图 9.5.6—36 所示。表 9.5.6—7 为各类阀门指示器比较表。

表 9.5.6－7

阀位指示器比较表

方式	电气式	空气式	辅助油缸流量计式	进油管路流量计式
	开度指示	开度指示	开度开关指示	开度开关指示
系统图	图 9.5.6－33	图 9.5.6－34	图 9.5.6－35	图 9.5.6－36
组成	1. 阀开度发讯器（防爆型） 2. 阀开度指示器	1. 阀开度发讯器 2. 阀开度指示器 3. 气源装置	1. 辅助油缸 2. 流量计 3. 蓄压器	流量计
发讯器	电位计	空气减压阀	辅助油缸	油缸
信号	0～24V	0.02～0.1MPa 气压	辅助油缸容积变化	油缸容积变化
指示器	电压计 0～100%	压力计 0～100%	椭圆齿轮流量计 0～100%	椭圆齿轮流量计
精度	±2%	±3%	±2%	±3%
液压阀设置场所	1. 油舱	1. 泵　舱 2. 上甲板	1. 泵　舱 2. 上甲板 3. 油　舱	1. 泵　舱 2. 上甲板 3. 油　舱
特点	无时间延迟 指示正确	有时间延迟 空气信号，适用于危险场所阀门使用	信号压力在 0.3MPa 左右变化，故不受油的压缩性影响	无指示装置专用的传送管路，阀位指示简单，信号压力较高

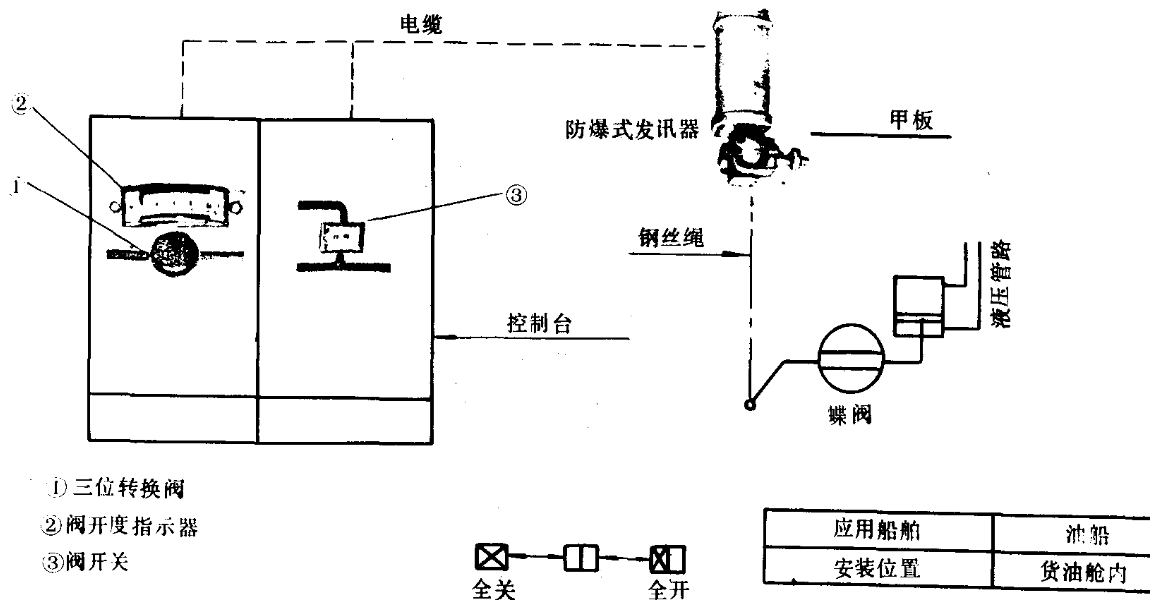
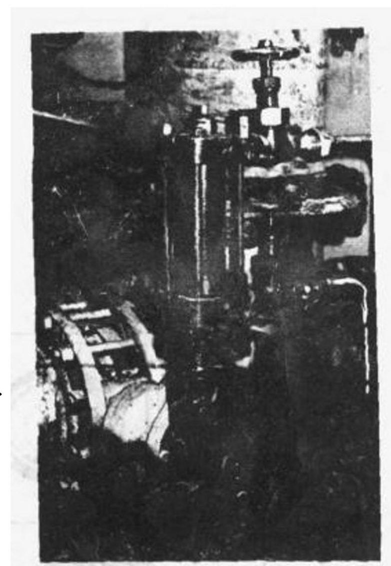


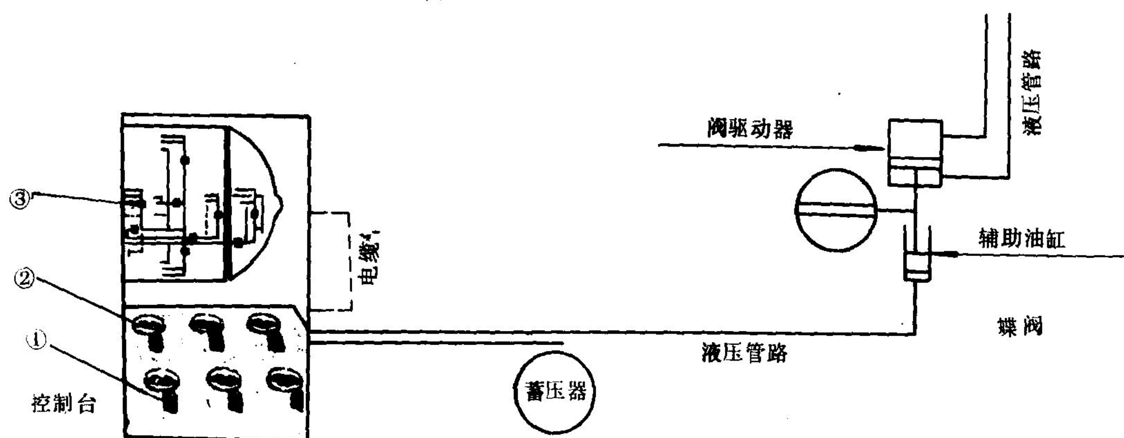
图 9.5.6－33　钢丝绳传动电气转换指示方式





应用船舶	油船	油/矿船
安装位置	甲板上 泵舱	甲板上 泵舱

图 9.5.6－34　气－电转换指示方式



①手动转换阀
②阀开度指示(流量计)
③阀指示灯

应用船舶	油船	油/矿船
安装位置	在舱内 甲板上 泵舱	在舱内 甲板上 泵舱

图 9.5.6－35　辅助油缸流量计指示方式

2.2.2.4　液压动力站

液压动力站是遥控装置的动力源，它供给货油阀遥控装置压力工作油。液压动力站的设备主要有液压泵机组、油箱、蓄压器、控制阀、滤油器和测量仪表等。

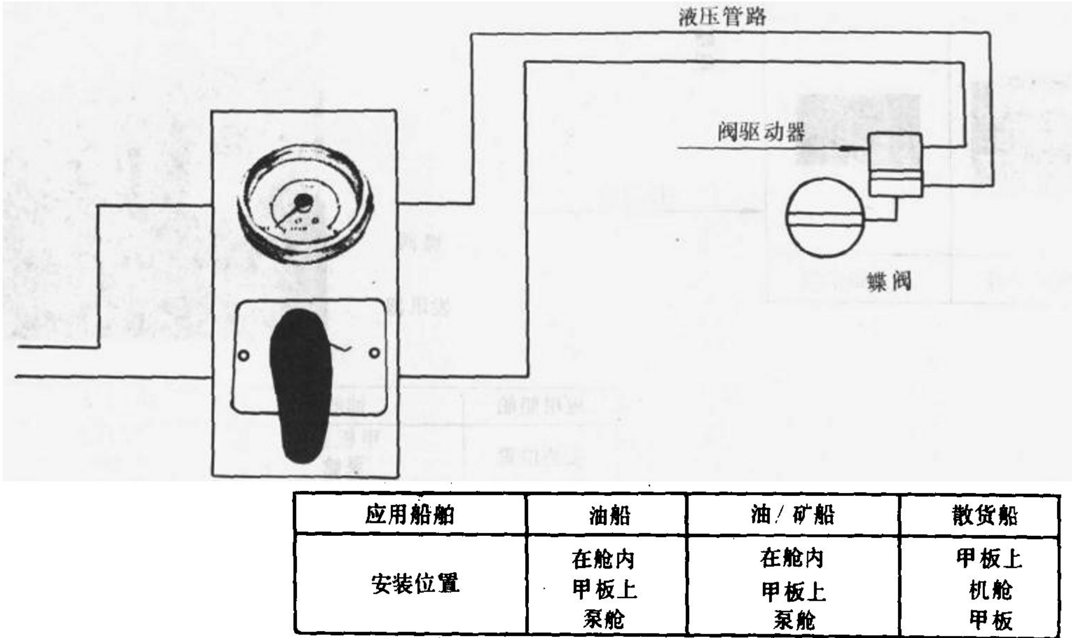
两台液压泵互为备用，工作油压为 5～6MPa。油压泵的排量将根据同时使用的阀门数量以及驱动器的容量而定，考虑了安全系数后应取上述排量的 1.5 倍。

液压动力站的运行有 2 种方式：

1)油泵自动启动方式　由泵排出的压力油通过单向阀供给液压管路，其中一部分进入蓄

压器。蓄压器在油泵停止时用来维持液压系统的油压，当蓄压器内的油压下降或上升到规定值时，自动启动或停止油泵。

2）油泵自动卸载方式　当液压管路油压达到规定值时，溢流阀开启，油泵出口接通油箱，油泵出口油压降至零，但油泵仍在运转，作卸载运行。当蓄压器油压降至规定的下限时，油泵再次作负载运行。



应用船舶	油船	油/矿船	散货船
安装位置	在舱内 甲板上 泵舱	在舱内 甲板上 泵舱	甲板上 机舱 甲板

图 9.5.6－36　油压管路流量计指示方式

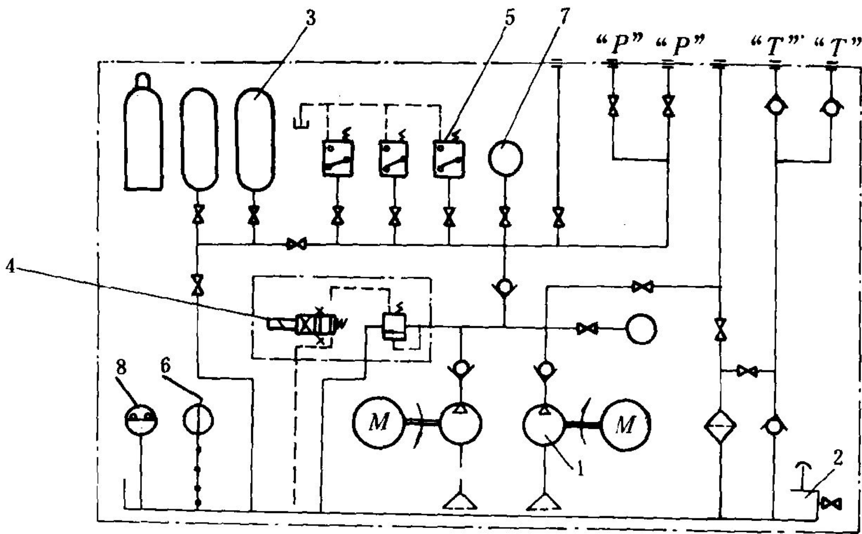


图 9.5.6－37　液压动力系统图

1－油泵；2－油箱；3－蓄压器；4－溢流阀及电磁换向阀；5－压力开关；6－温度表；7－压力表；8－浮子开关

图 9.5.6－37 示出液压动力站系统图。当一个泵组处于连续运转状态，而另一泵组为备用时，依据蓄压器的压力控制泵运转状态，蓄压器压力达到 5.9MPa，泵卸载运转，蓄压器压力低到 4.9MPa 时，泵承载运转，这样使系统压力保持在 5.9～4.9MPa 之间。当系统压力急速下降到 4.4MPa，备用泵也启动两泵同时承载运转，压力达到 5.9MPa 备用泵停止运转，工作泵卸

载运转。系统中各压力开关设定值列于表 9.5.6－8

表 9.5.6－8 **压力开关设定值**

压力开关	设定压力	作用
1号压力开关	6.4MPa 以上 3.4MPa 以下	发出高压警报信号 发出低压警报信号
2号压力开关	5.9MPa 以上 4.9MPa 以下	工作油泵卸载，备用泵停止运转 工作油泵停载
3号压力开关	4.4MPa 以下	备用油泵启动运转

蓄压器用于维持工作油压。当油泵停止旋转时，它可以补充系统中由于压力油的泄漏而引起的压力降低，维持液压管路内的油压。装置装有两台气囊式蓄压器，内部充有氮气，其容积计算按下式进行。

$$V_1=\frac{\Delta V p_2 p_3}{p_1(p_3-p_2)}\eta$$

式中：V_1——在充入氮气压力下的氮气体积；

p_1——氮气充气压力；

p_2——最低工作压力；

p_3——最高工作压力；

ΔV——p_3～p_2 下排出油量；

η——效率（0.80～0.95）。

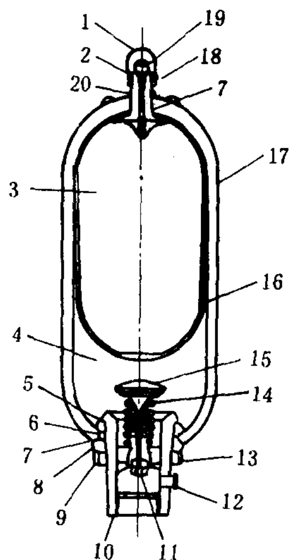


图 9.5.6－38　气囊式蓄压器

1—保护螺帽；2—空气阀门；3—氮气；4—卫生油；5—开口垫圈；6—垫圈；7—垫片；8—止动垫圈；9—环形螺帽；10—阀体；11—止动螺帽；12—旋塞；13—挡块；14—弹簧；15—阀盘；16—气囊；17—本体；18—充气卵体；19—盖；20—螺帽

图 9.5.6－38 是气囊式蓄压器结构原理图，球形钢瓶内部装有橡胶袋，袋内充入压力为系统最低工作油压 70%～80%（一般为 3.5～3.9MPa）的氮气。液压油从下部引入到钢瓶内，油与气完全隔离开。

当橡胶袋被压力油液向上挤压时，袋内氮气被压缩，由此产生一定压力，由此补充系统由于泄漏而造成的压力降，使系统中的油压得以保持在一定值。

蓄压器的有效排量即在工作油压范围内，橡胶袋体积的变化量，一般大约是蓄压器容量的 10%。例如，一个容量为 60l 的蓄压器，在工作油压从 5.9MPa 降到 4.9MPa 的期间内，排出的油量为 6.2l。

气囊式蓄压器在使用中，应定期检验橡胶袋内的压力及充注氮气。

当液压动力站发生故障或遥控蝶阀驱动器工作管路破损时，可使用备用的移动式应急动力站，如图 9.5.6－39 所示。只需将应急动力站高压软管直接接至就地驱动器进出油管即可。

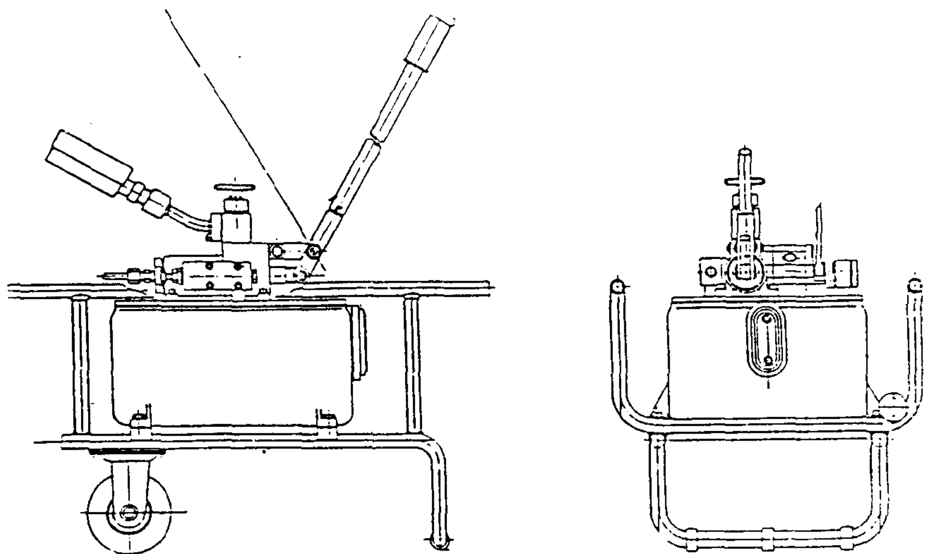


图 9.5.6—39　应急动力站

2.2.3　安装和使用

2.2.3.1　安装　系统的安装主要为液压管路的安装，全部液压管路安装前应进行清洁，去除杂质和油垢等，并进行压力和密封性试验。

液压管路必须有足够的强度，内壁光滑无缺陷。表 9.5.6—9 为常用普通钢管的规格(使用介质温度低于 350℃，油压低于 7MPa)。

表 9.5.6—9　**液压管路规格**

通径	mm	6	8	10	15	20	25	32	40	50
	in	1/8	1/4	3/8	1/2	3/4	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	2
外径	mm	10.5	13.8	17.3	21.7	27.2	34.0	42.7	48.6	60.5
壁厚	mm	2.4	3.0	3.2	3.7	3.9	4.5	4.9	5.1	5.5

油舱内推荐使用不锈钢管。

管子弯曲时，弯曲部分不能有不规则的异状，弯曲半径一般应大于 3 倍的管子外径。管子较长时要用支架及管夹固定。固定支承点的距离的推荐值见表 9.5.6—10。

表 9.5.6—10　**管子固定支承点距离和管子弯曲半径推荐值表**

管子外径	mm	10	14	18	22	28	34	42	50	63
支承点距离	mm	400	450	500	600	700	800	850	900	1000
管子弯曲半径	mm	50	70	75	80	90	100	130	150	190

2.2.3.2　维护　液压系统在使用中，要经常注意阀的泄漏情况，尤其是蝶阀，密封环长期浸在油中，容易变质，造成泄漏，应经常注意更换密封环。液压动力站油箱要经常保持正常油位，油箱要经常清扫。管路也应经常清洗，及时放掉管路中的空气。及时更换系统各部件的密封件。工作油需要定期更换，时间可根据油的使用期和工作条件确定，一般为一年换一次。

2.2.3.3　常见故障及其处理　表 9.5.6—11 为货油阀遥控装置常见故障及其处理方法。

表 9.5.6 11　　**货油阀遥控装置常见故障及其处理方法**

故障现象		故障原因	排除方法
液压动力站	油泵不供油	泵旋转方向不正确	纠正旋转方向
		油箱中油位太低	向油箱补充油
		吸入管或滤器堵塞	清洗滤器，换油
		吸入管路进入空气	查清空气来源，排除
		油的粘度太高	使用推荐粘度的油
		泵站电磁阀损坏	更换
	油泵有异常噪声	吸入管或滤器部分堵塞	清洗滤器，除去脏物
		吸入空气	查清空气来源，排除
		电机与泵轴不同心	重新校正
		油中有气泡	检查回油管是否埋入油中并与吸入口保持一定距离
	油泵出口压力太低或无压力	溢流阀压力调得太低	重新调正溢流阀
		溢流阀在开启位置卡住	清洗溢流阀或换新
		液压装置（油缸、液压件等）漏泄	检查各部件，排除漏泄
		蓄压器回油阀漏泄或开启	关闭回油阀，排除漏泄
	泵站自动卸载不正常	达到预定高压值不卸载或达到预定的低限值时不加载	调正压力继电器预定值
			泵站电磁阀故障，更换
系统油压异常时不报警		电接点压力表故障或控制电路故障	检查电接点压力表和控制电路
油箱低液位报警		液压装置或设备外部漏泄	查清漏泄油的部位，排除
液压蝶阀	蝶阀不动作	蝶阀卡死	用手摇泵驱动，但压力不超过 9.0MPa，若阀仍不动作时必须拆检
		电磁阀故障	检查，更换
		节流阀关死或开度太小	开大节流阀
	蝶阀工作不平稳	液压油中有气泡	进行管路除气
		节流阀调得太小	重新调正
	蝶阀开闭速度太慢	节流阀调得太小	重新调正
		液压油粘度太高	使用正确粘度的液压油
		驱动器内部或外部漏泄	更换密封环，消除漏泄
阀位指示器不正常		蝶阀达到极限位置，指示器不指示	根据不同的型式，调正或换新
		阀位指示器偏差	

2.3 MaC/501 系统

瑞典 SAAB 公司的 MaC/501 油船装卸控制系统由控制室中心站、辅站、彩色监视器、光笔，雷达式液位计处理机、配载计算机以及跟踪球 、手持终端等部分组成。图 9.5.6—40 为系统图。

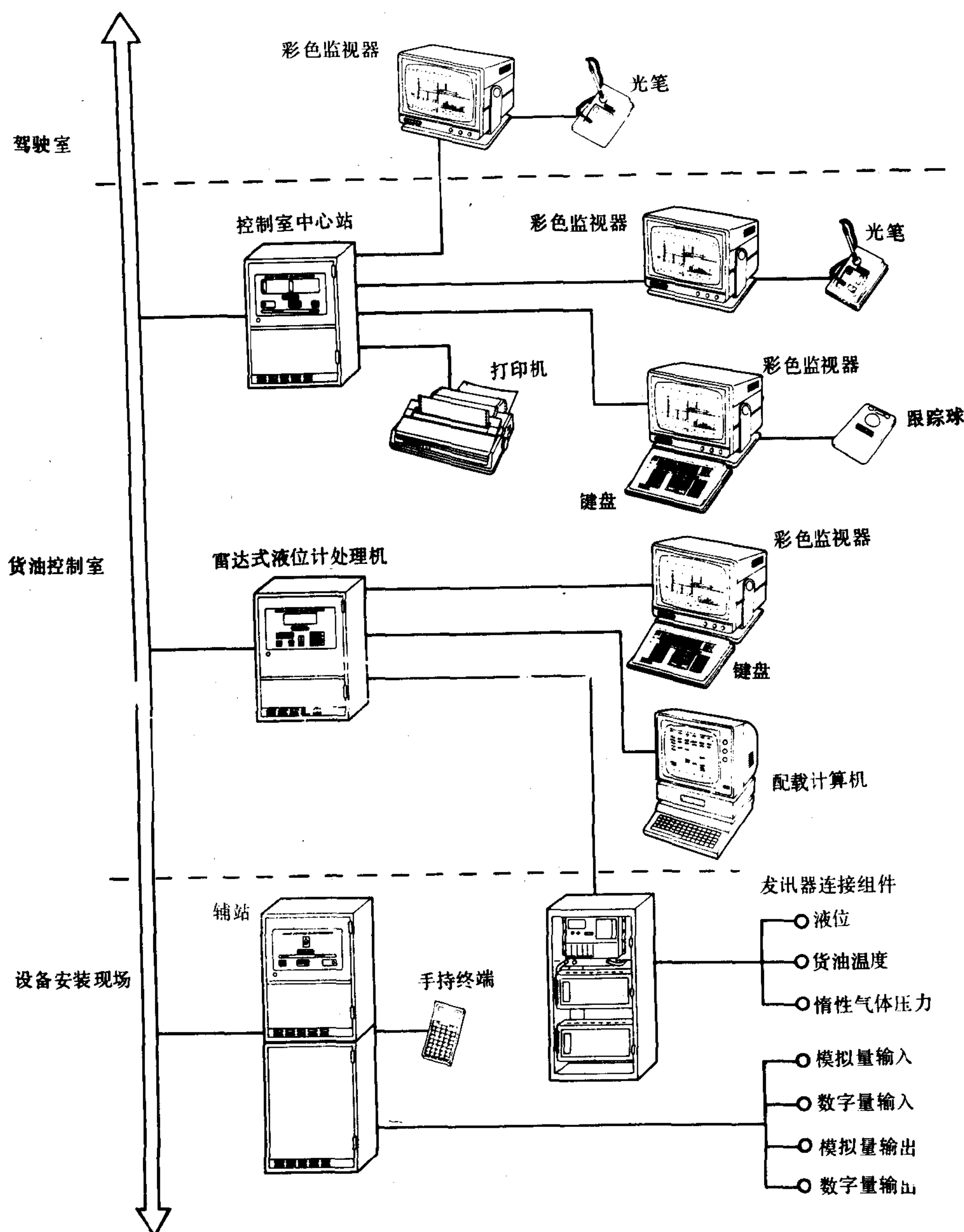
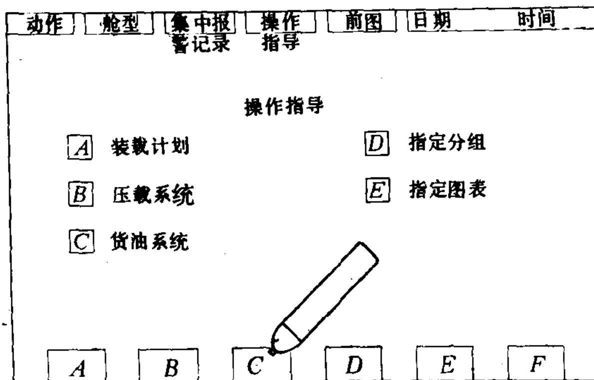


图 9.5.6－40　MaC/501 系统图

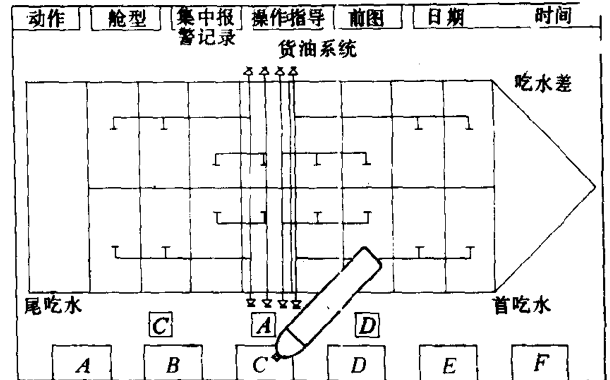
该系统由一个安装在货油控制室的中心站和几个安装在全船各部位的辅站组成。硬件和软件采用分散设计，使得所有辅站可独立于其它单元执行指令，并可在船上的任何部位控制和监视。

每个辅站均包含几个模拟和数字输入/输出通道终端块和一个微处理机。控制室中心站包括一个将操作员的输入与辅站的数据综合起来的 16 位中央处理机、一个配载计算机和一个雷达式液位计处理机。辅站使用串行网络。控制数据和监视器数据的程序编制可利用辅站的手持终端进行，此手持终端亦可用于应急操作。系统工作时，全部信息由彩色图像监视器监视，操

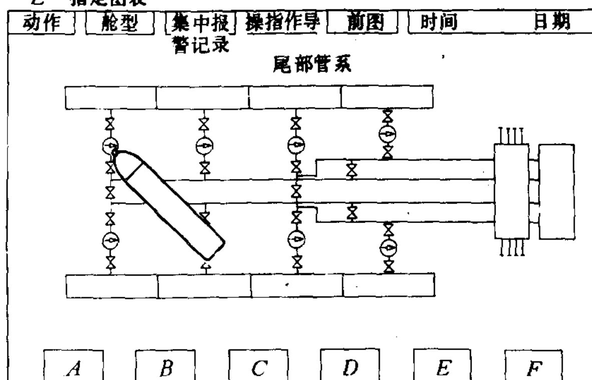
作者只要使用光笔在屏幕上指点或者转动跟踪球，即可控制货泵和阀门的动作。例如，可利用光笔指点货物系统模拟图像中的相应符号启动货泵或阀门；亦可利用光笔指点线性刻度来设定货泵的转速；还可利用光笔打开模拟显示中的“窗户”，随时监视货舱的逸漏情况等等。图9.5.6—41为使用光笔操作系统的图例。如系统增加一个可编程序的逻辑控制器，即可编制货物自动装卸的控制程序。



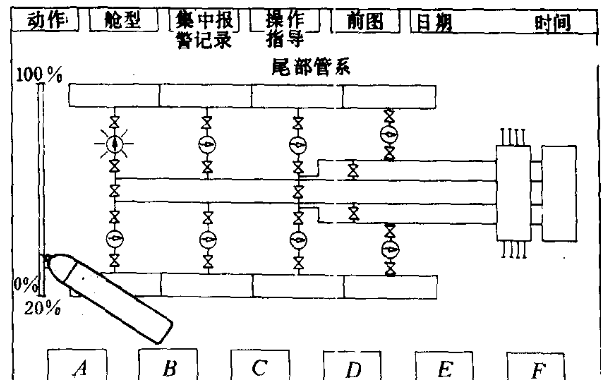
1.按操作指导，选择你所需要的系统。以选择货油系统为例，用光笔指向C，则显示货油系统的模拟图。
A—装载计划；B—压载系统；C—货油系统；D—指定分组；E—指定图表



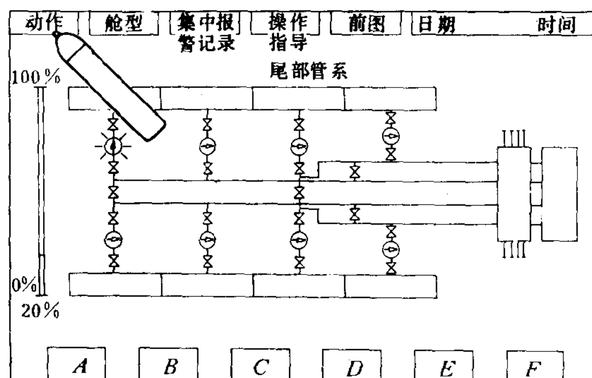
2.可进一步选择货油系统的详细部位，如选择尾部货油管系。
A—集合管系；B—压载管系；C—尾部管系；D—首部管系；
E—液压管系；F—惰性气体管系



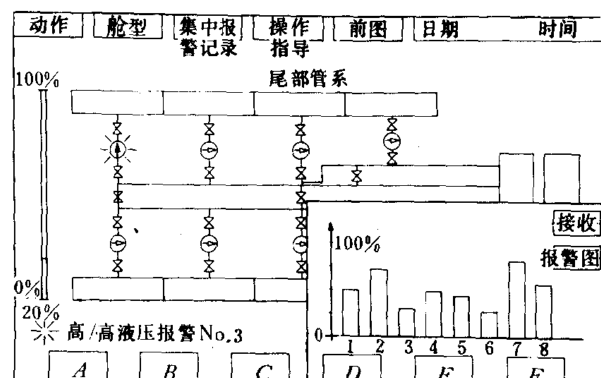
3.此时，用光笔指向泵（或阀）泵即启动。
A—集合管系；B—压载管系；C—尾部管系；D—首部管系；
E—液压管系；F—惰性气体管系



4.该泵闪亮指示，可用光笔设定泵的转速（泵的转速也可由键盘数字输入）。
A—集合管系；B—压载管系；C—尾部管系；D—首部管系；
E—液压管系；F—惰性气体管系



5.用光笔指向相应油舱的“窗口”，即可观察该舱的液位变化，再用光笔指向上部的“动作”块，又可显示附加的图表。
A'—集合管系；B—压载管系；C—尾部管系；D—首部管系；
E—液压管系；F—惰性气体管系



6.高/高液位报警后，可按接收块接收报警信号。按报警图块，可显示报警值。
A—集合管系；B—压载管系；C—尾部管系；D—首部管系
E—液压管系；F—惰性气体管系

图 9.5.6—41 使用光笔操作系统图例

3　船舶吃水测量和货油泵舱运行监控装置

3.1　船舶吃水测量装置

船舶吃水深度测量是船舶不可缺少的工作，对油船、散装货等就更为重要。船舶吃水遥测装置能自动测量船舶首、尾和左、右舷的吃水深度以及船舶的纵倾和横倾，以供油船装卸作业时配载和压载使用。

3.1.1　吹气式吃水遥测装置

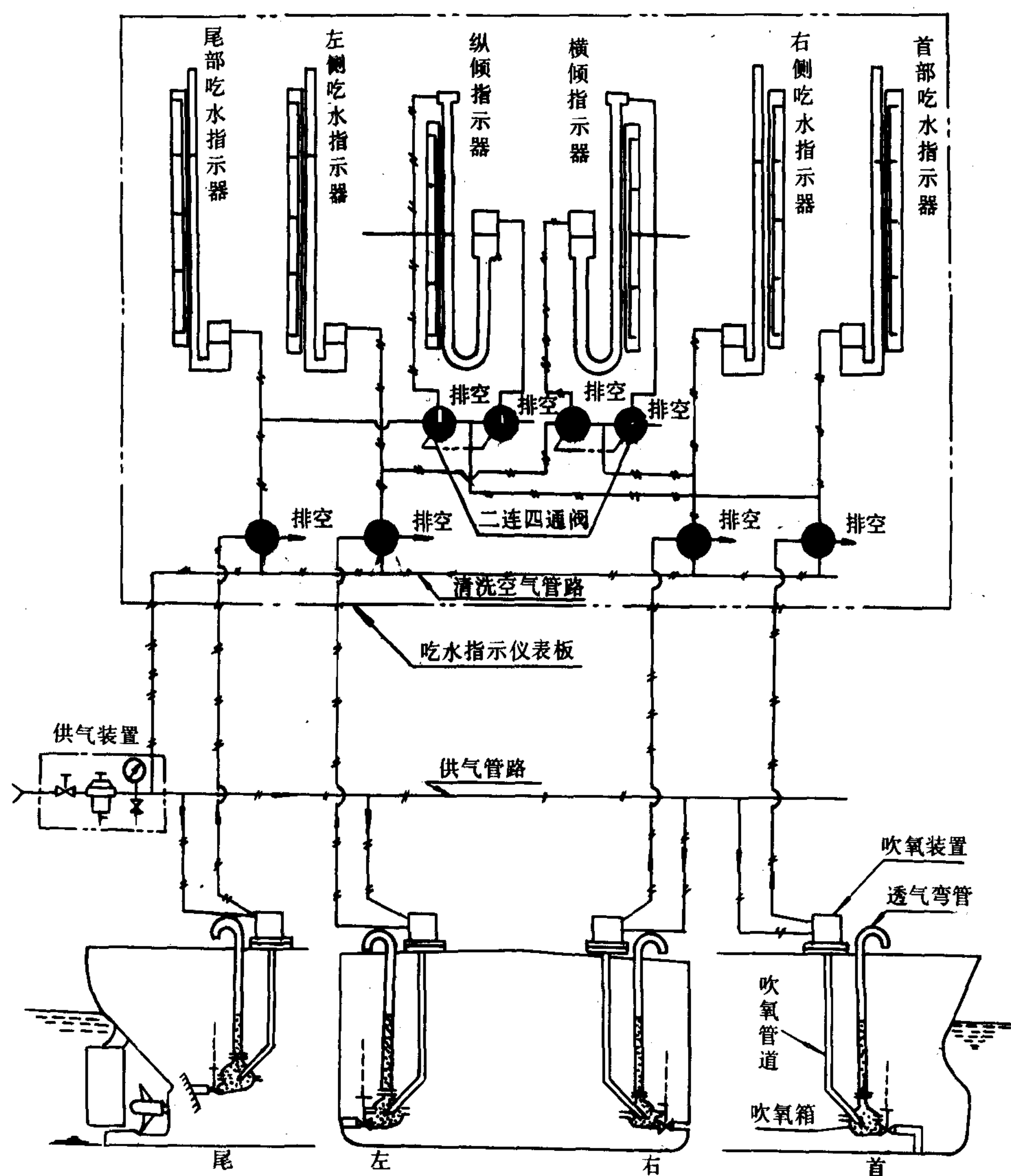


图 9.5.6－42　吹气式吃水遥测装置系统图

吹气式吃水遥测装置因其防爆性好，系统简单，所以被广泛地用作吃水测量。图 9.5.6－

42为中北仪表厂吹气式吃水遥测装置系统图。它的工作原理和组成部件与吹气式液位遥测装置相同，主要由装在船舶首、尾、左舷和右舷的4个吹气装置、四通控制阀和气压计等组成，四通控制阀用于气压计的工作，排空和吹洗信号管路的转换作用。使用"U"型管水银压力计指示船舶首尾和左、右舷吃水之差值，即成了纵倾计和横倾计。

3.1.2 CS－1型吃水仪

系统由信号发讯器组件和吃水仪组成。图9.5.6－43为上海船研所开发的CS－1型吃水仪系统原理图。

发讯器分别装于船舶的首部和尾部的测量点处，将该处的压力水头P位/γ信号转换成4～20mA的电流信号，经过放大后输入到CS－1型吃水仪，吃水仪的核心是GK－1型控制机，通过数据计算和处理输出信号至显示面板，根据不同的操作指令可得到各种方式的显示，当测量信号超过预先设定的极限值时，装置能发出声和光报警信号，并可连接打印机进行自动记录，打印各种数据和表格。该仪器具有测量计算和显示船舶吃水值、平均吃水值和吃水差值；对海水比重进行修正计算；越限报警、故障报警等功能。

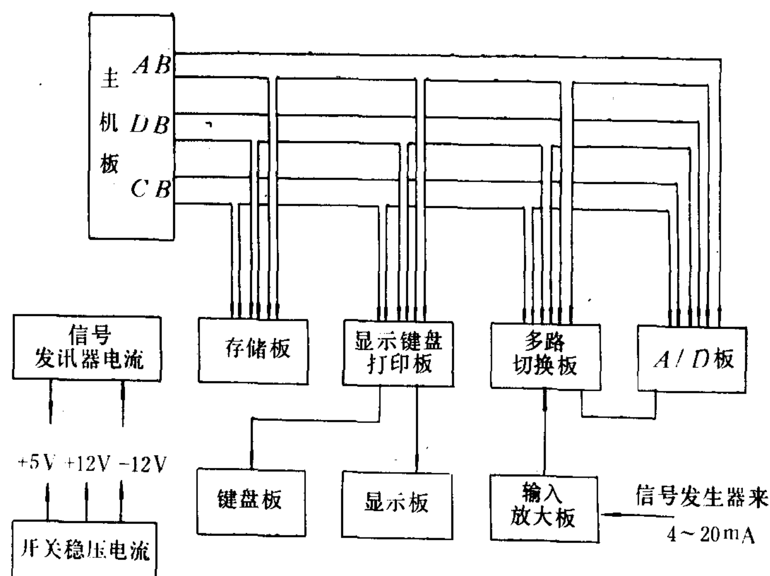


图9.5.6－43 CS－1型吃水仪原理图

3.2 货油泵舱运行监控装置

3.2.1 系统

为了实现对整个油船的货油装卸作业进行监测和控制，除安装货油舱液位遥测和货油阀门遥控装置外，还必须同时对货油泵舱内的一些设备运行情况进行监控。货油泵舱的运行监控主要指对货油泵、压载泵、扫舱泵的运行状况进行监视、遥测和遥控。图9.5.6－44为货油泵舱运行监控装置的系统图。

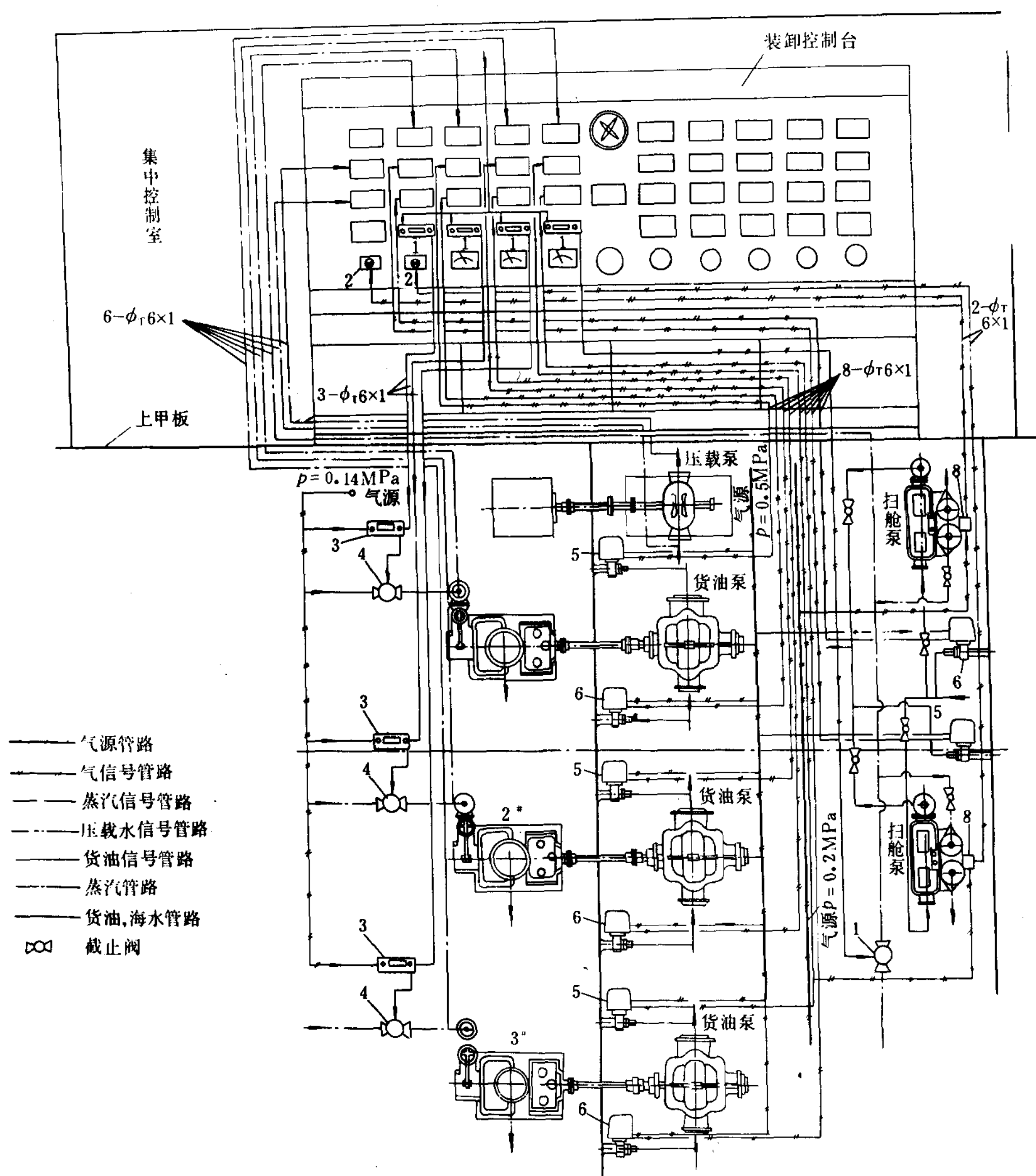


图 9.5.6－44 货油泵舱运行监控装置系统图

1－遥控板；2－气电转换器；3－副线板；4、7－气动薄膜调节阀；5－气动大气差动变送器；6－绝对压力变送器；8－行程数发送器

3.2.2 组成

3.2.2.1 货油泵转速遥测装置

货油泵舱装有3台汽轮机货油泵，原动机汽轮机隔舱壁安装在机舱内。由于机舱为非防爆区，可不受防爆要求的限制，所以实现对汽轮机转速的遥测和遥控均较容易，可使用一般非防爆仪表。本系统在汽轮机轴端设置测速发电机，将汽轮机的转速信号运传至控制室的转速指示表和运行指示灯，便可监视汽轮机的转速和运行状态。此外可通过控制蒸汽流量来调整汽轮机的转速。

3.2.2.2 扫舱泵行程测量装置

扫舱泵采用蒸汽往复泵，由于全部安装在货油泵舱内，处于防爆区，故往复泵行程测量装置使用气动方式。图 9.5.6－45 为往复式扫舱泵的行程表原理图。扫舱泵活塞往复运动直接带动活塞式发讯器，由发讯器输出的液压油直接驱动油马达，而油马达与信号发生器直接相连，因此信号发生器的电压大小和扫舱泵的行程数成比例，该电压信号可传输至电压表进行遥测指示。

图 9.5.6－46 为往复式扫舱泵的行程计数器原理图。扫舱泵活塞的往复运动直接带动活塞式发讯器，由发讯器输出的液压油驱动液电转换器作往复运动，液电转换器的活塞杆推动一微动开关，使之作相应的开闭动作，微动开关的信号可由一指示灯指示或输入计数器。

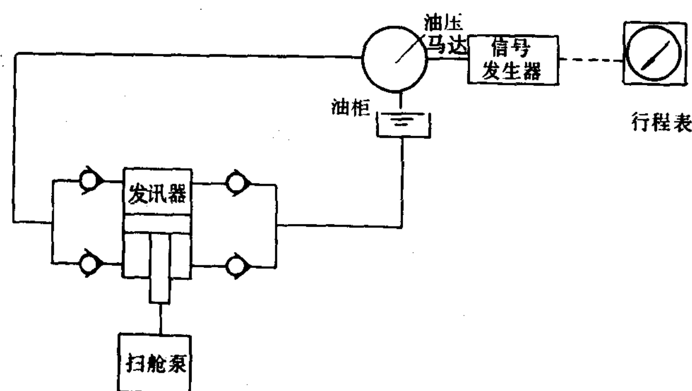


图 9.5.6－45 往复式扫舱泵行程表原理图

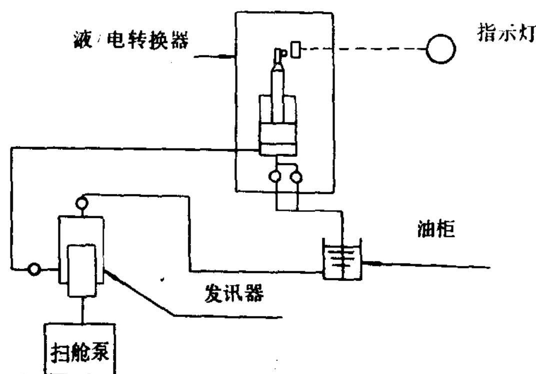


图 9.5.6－46 行程计数器原理图

第 7 章　内河船舶集中监视系统

1 概　　述

对船舶机舱设备运行参数的监视是船舶安全运行的必要条件。因此设置一个完善、可靠的机舱集中监视系统，是船舶机舱自动化的重要内容。监视主要包含二方面的内容：各种设备参数的测量显示和参数的越限报警。就安全运行而言，报警往往比测量显示更显得重要。

1.1　功能要求及特点

内河船舶报警系统的主要功能要求是：

1)当参数越限(有故障)时，报警系统应同时发出声、光信号、人工应答后即消音，而光信号能保留到故障消失为止。

2)报警系统所发生的报警信号，经应答消声后，在第一个故障尚未排除而又发生第二个故障时，声、光报警应能再次动作。

3)对机械及其安全和控制系统的故障报警信号，系统具有能向多个处所发生报警的功能，当在机舱、监控室或监视室以外对该报警进行应答消声时，机舱、监控室或监视室内的声、光信号不应被消除。

4)报警系统应具有自动及手动闭锁功能(自动闭锁功能对工况变化频繁的内河船舶尤为重要)。

5)为了便于对自动纠正的短期故障进行查找，报警系统应能在应答前使报警信号给予锁定。

6)报警系统应具有必要的自检功能。

7)报警系统的设计，应尽可能与控制系统相互独立。当控制系统发生任何故障时，要不致妨碍报警系统正常工作。

根据内河航行船舶的特点，《长江水系钢船建造规范》对长江水系钢质民用运输船舶(其它内河水系船舶参照此)的机舱自动化程度分为：主推进装置驾驶室遥控、机舱监视室或监控室、监控室一人值班三个级别。不同的机舱自动化级别，对集中监视系统的要求亦不同，表 9.5.7－1、表 9.5.7－2、表 9.5.7－3 分别列出它们对监视系统要求显示和报警的项目。

表 9.5.7—1　**主推进装置驾驶室遥控的显示仪表和报警项目**

项目			设在驾驶室			设在机舱		
			显示	报警	备注	显示	报警	备注
主柴油机及轴系	1	主机或螺旋桨转速及转向	转速转向			转速转向		
	2	主机启动空气压力	压力		轴系带有离合器的主机可不设置	压力		
	3	主机超速		超速时		超速时		
	4	主机或离合器的转向		错向				
	5	控制系统的动力（电力、气动、液压）		失效		电力指示灯 气液压力表	失效	
	6	滑油进机压力					低	
	7	滑油进齿轮箱压力					低	
	8	冷却水出机温度					高	
	9	齿轮箱滑油温度或冷却水温度					高	
	10	驾驶室遥控主机离合器的换向指示				前进后退		
	11	主机紧急停车					动作时	
	12	离合器的电力气动或液压动力				电力指示灯 气液压力表		
舵机系统	1	舵机电力		失电	可合为综合报警		失电	可合为综合报警
	2	舵机过载		过载动作			过载动作	
	3	舵机油箱油位		低			低	
	4	舵机控制系统的电力液压动力		失效			失效	

表 9.5.7—2　**监视室（或监控室）的显示仪表和报警项目表**

项目		显示	报警	备注
一、主柴油机及轴系				
1	主机或螺旋桨的转速及转向	转速转向		
2	主机启动空气压力	压力		
3	滑油进机压力	压力	低	
4	滑油进齿轮箱压力	压力	低	
5	滑油进增压器压力	压力	低	指独立润滑系统
6	冷却水出机温度		高	
7	冷却水膨胀箱水位		低	
8	齿轮箱滑油温度或冷却水温度		高	
9	排气温度	温度		每缸及排气总管设置
10	主机超速		超速时	
11	主机或离合器的转向		错向	

续上表

12	驾驶室遥控主机，离合器的换向指示	前进后退		
13	主机紧急停车		停车	
14	控制系统的动力(电力、气动、液压)		失效	
15	离合器的电力、气动或液压动力		不足	
二、柴油发电机组				
(1)发电机组的原动机				
1	滑油进机压力	压力	低	
2	冷却水出机温度		高	
(2)发电机				
1	自动卸载装置		动作时	
2	设有电站自动化时的报警			
三、燃油辅助锅炉				
1	炉水水位		极限低位	1和2可为综合报警
2	燃烧器点火		点火失败	
四、舵机系统				
1	舵机电力		失电	1、2、3和4可为综合报警
2	舵机过载		过载动作	
3	舵机油箱油位		低	
4	舵机控制系统的电力、液压动力		失效	
五、其　它				
1	监测报警系统的动力(电力、气动、液压)		失效	
2	主电源		失电	

表 9.5.7—3　**机舱监控室一人值班的显示仪表和报警项目表**

项　目		显　示	报　警	备　注
一、主柴油机及轴系				
1	主机或螺旋桨的转速及转向	转速转向		
2	主机启动空气压力	压力		
3	滑油进机压力	压力	低	
4	滑油进机压力		过低	
5	滑油进齿轮箱压力	力	低	
6	滑油进齿轮箱压力		过低	
7	滑油进增压器压力	压力	低	指独立润滑系统
8	冷却水出机温度	温度	高	
9	冷却水膨胀箱水位		低	
10	冷却水进机压力	压力	低	

续上表

	项目	显示	报警	备注
11	齿轮箱滑油温度或冷却水温度	温度	高	
12	排气温度	温度		每缸及排气总管设置
13	主机超速		超速时	
14	推力轴承滑油温度		高	
15	油润滑的尾轴管轴承温度或润滑油箱油位		高或低	
16	主机或离合器的转向		错向	
17	驾驶室遥控主机、离合器的换向指示	前进后退		
18	主机紧急停车		停车	
19	控制系统的动力(电力、气动、液压)		失效	
20	离合器的电力、气动或液压动力		不足	
21	日用轻柴油柜油位		低	
22	重柴油柜油位		低	
23	滑油循环油柜油位		低	
24	重柴油柜油温		高、低	
二、柴油发电机组				
(1)发电机组的原动机				
1	滑油进机压力	压力	低	
2	滑油进机压力		过低	
3	冷却水出机温度	温度	高	
4	超速		超速时	
5	控制系统的动力(电力、气动、液压)		失效	
(2)发电机				
1	自动卸载装置		动作时	
2	设有电站自动化时的报警			
三、燃油辅助锅炉及废气锅炉				
1	炉水水位		极限低位	废气锅炉应设置
2	燃烧器点火		点火失败	
四、舵机系统				
1	舵机电力		失电	1、2、3和4可为综合报警
2	舵机过载		过载动作	
3	舵机油箱油位		低	
4	舵机控制系统的电力、液压动力		失效	
五、舵底水位				
1	舵底水水位		高	
六、机舱探火				
1	有失火征兆或失火时		失火征兆或失火	
2	探火系统本身故障		故障时	

续上表

项目		显示	报警	备注
七、其它				
1	监测报警系统的动力(电力、气动、液压)		失效	
2	主电源失电		失电	

内河船舶相对来说其吨位和机舱监控室的容积较小,因此其监视报警装置要求有较小的体积和较低廉的成本,此外,为适应大小不同的内河船舶,要求装置有多种安装形式和不同测点数的灵活组合。

1.2 发展概况

70年以前,我国内河船舶除了个别船舶设有主机遥控装置外,总的来说机舱自动化程度甚低。对于机舱运行参数的监视一直只停留在常规的表计测量(其中以直读式表计为主)和少量功能简易的开关式报警上。常规表计的测量也只是少量重要表计的相对集中,而大部分的表计则是分散在各设备处所,开关式报警主要只是柴油机滑油压力过低和淡水温度过高的二位式报警,亦即"油水报警"。在这样的情况下"机舱参数的监视"并未形成一个系统,也没有集中而形成一个装置。

随着我国对内河船舶机舱自动化的重视和发展,对机舱运行参数的监视功能要求大为增加,参数报警的重要性更为突出。因此,70年代中期以来,国内许多单位开展了对各种集中监视报警装置的研制工作,并相继在实船应用上获得成功(详见表9.5.7—4)。

1.3 分类和趋势

1.3.1 分类

监视报警装置按输入量性质可为开关量、模拟量、开关量模拟量兼容3种;按功能可分为单报警、单测量、报警测量兼备、报警测量并带打印记录4种;按电路可分为继电器式、继电器—晶体管混合式、晶体管式、集成电路式、微机式5种等等。但最重要的是按其工作原理、状态来分类,此时可分为连续监视型和扫描监视型二大类。

连续监视型的监视报警装置,是指装置对被监视的所有参数进行连续不间断的监视,而扫描监视型的监视报警装置,是对被监视的所有参数进行分时扫描式的监视。

表9.5.7—4　**国内研制的内河船舶监视报警装置一览表**

序	完成日期	型号	装置概况	研制单位
1	1978年	20点简易式	报警、开关量、组电器电路为主、晶体管闪光电路	长航上海分局
2	1978年	20点组合式	报警、测量、开关量模拟量兼容、多通道、晶体管(少量小规模集成电路)电路	长航上海分局
3	1980年	55点型	报警、开关量、多通道、继电器、晶体管混合电路	长航科研所
4	1980年	38点型	报警、开关量、晶体管—继电器混合电路	长航武汉分局

续上表

序	完成日期	型　　号	装 置 概 况	研制单位
5	1980 年	SYJB－1	报警 20 点、开关量、继电器电路晶体管闪光电路	武汉水运学院
6	1981 年	SYJC—64	64 点报警、测量、模拟量、数字式巡检自打印，PMOS 中规模集成电路	上海渔轮厂
7	1982 年		98 点测量、模拟量、数学巡检 PMOS 电路	长航上海分局
8	1982 年	SYJB－1A	报警 24 点(可选 6 点为重要点)、开关量、晶体管一继电器混合电路	武汉水运学院
9	1982 年	SBQ－12	报警 12 点、开关量、HTL 集成电路带自检闭锁功能	长航市委分局
10	1982 年	L80 小型化数字式监测报警装置	报警、测量、30 点为一个单元可组成 60、90 点模拟量、巡检形式、数据显示测量和报警分二个通道，可附打印记录 CMOS 电路、LED 发光管显示	上海渔轮厂
11	1982 年	CBJ－1A	报警测量、模拟量开关量兼容、多通道组合式、CMOS 电路、18 点、52 点、86 点三组内任选，有自校、闭锁等多种功能	长航上海分局
12	1986 年	CBJ－1B	系 CBJ－1A 的改进型	上海长江轮船公司

连续监视型装置在电路结构上采用多通道的形式，即每一个被监视点占有一个通道，其结构框图如图 9.5.7－1 所示。表 9.5.7－4 中所列的 CBJ－1A 及 CBJ－1B 组合报警监视装置即是此类装置的典型。

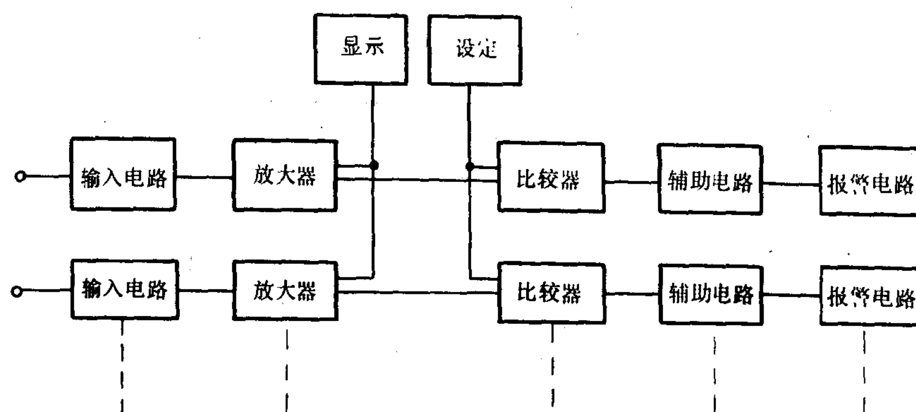


图 9.5.7－1　连续监视型监视报警装置结构框图

扫描型监视报警装置采用巡回选点实现分时监视，因此只需要一个通道。表 9.5.7－4 中所列的 SYTC－64 数字式巡回检测装置即是此类装置的典型，其结构框图见图 9.5.7－2。

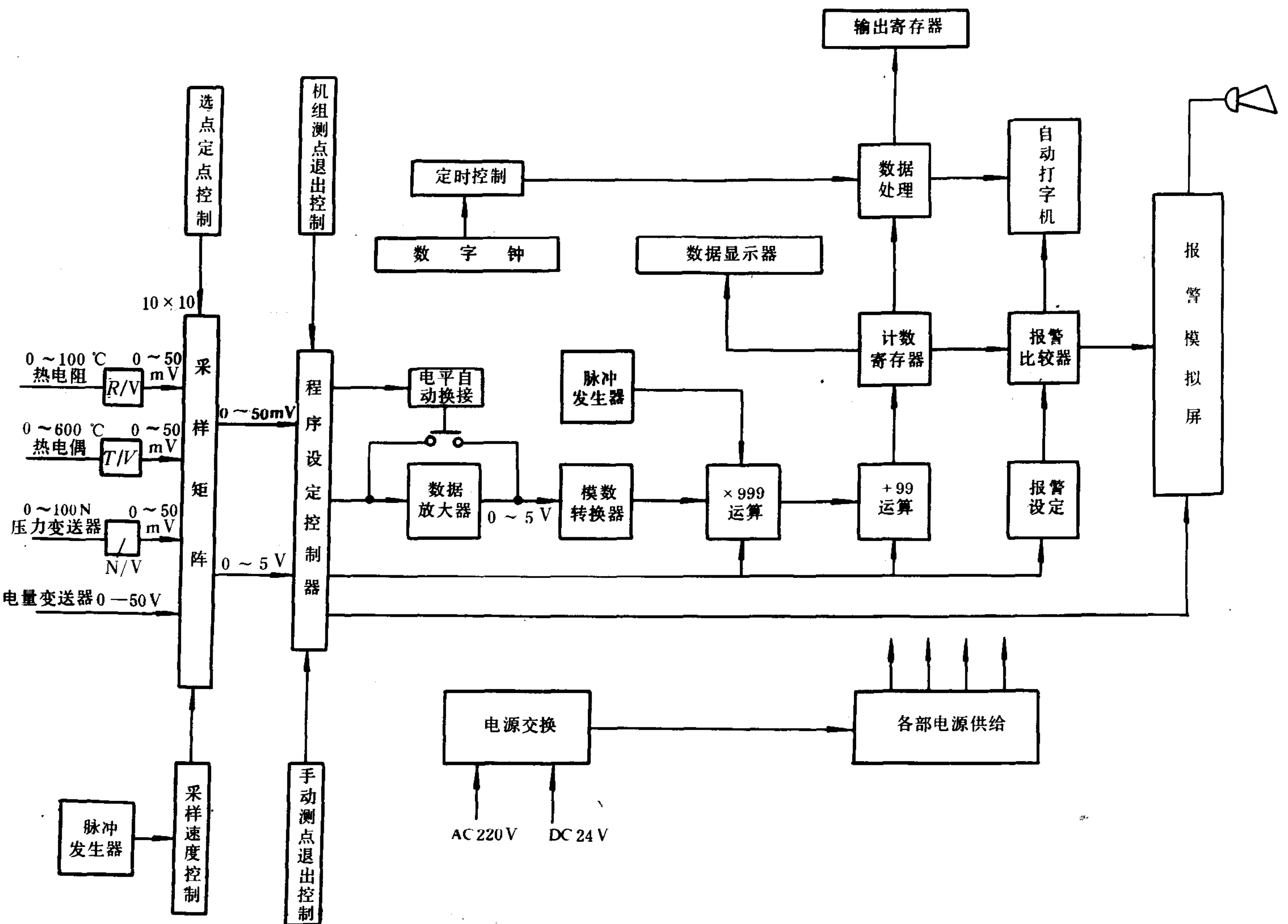


图 9.5.7—2 扫描巡检型监视报警装置结构框图

连续型监视报警装置的优点是：

1)可靠性好

由于对各点的监视从不间断，且各点通道相互独立，使得在一个通道故障时不会影响对其它各点监视的正常工作。

2)组合性好，可适应不同测点任意组合。

3)电路结构比较简单，易采用模块结构，故便于生产厂制造，亦便于维护。

4)开关量、模拟量兼容，可任意组合。

其缺点是当监视点多的时候，装置的体积和投资都较大，因为装置的成本除了公共设备外，其余基本上是监视点数的倍数。此外，由于从经济的观点出发不可能对每一个通道都采用高精度、高质量的放大器，因此整个监视装置的测量精度相对比较低。

扫描型监视装置的优点是：

①由于采用单一的公共通道，故可以采用高精度、高质量的放大器，从而使装置的测量和报警精度较高。

②由于通道为单一，在监视点多的场合其电路器件数及装置成本明显下降。

③易于数字化和功能的扩展(如打印记录等等)。

其主要缺点是一旦通道发生故障，使所有被监视点的测量和报警监视功能失效。其次，对较小的内河船舶(其需要监视点较少)而言其成本显得过于昂贵。

为了提高单通道扫描型装置的可靠性，曾经出现过把测量和报警分为 2 个通道分别扫描的装置。表 9.5.7－4 中的“LED 小型化数字式监视报警装置”即属此类。此外，也有人考虑报警采用连续监视的多通道形式，而测量采用扫描型形式，亦即出现了连续监视－扫描混合型的监视报警装置。其结构框图如图 9.5.7－3 所示。

1.3.2　趋势

采用集成电路的常规扫描型监视报警装置，由于其可靠性较差(特别在早期，其采样开关采用干簧继电器时更是如此)、电路复杂，维修困难，目前已很少采用。对于内河船舶而言，由于其监视点较少(一般单机船不多于 40 点、双机船不多于 60 点)，单通道扫描型的优越性不易显示出来，故实际上这类装置目前已不被采用，也就是说连续监视型的监视报警在目前内河船舶上占居统治地位。

对于监视点数在 20 点以下的内河小船，目前大多采用简单的开关量报警加上常规显示仪表测量的方式，来实现其参数监视。对于监视点数在 20 点以上的大中型内河船舶，则以采用开关量模拟量兼容、报警测量兼有、功能比较完善的组合监视报警装置为主(如表 9.5.7－4 中所列的 CBJ－1A IB 型装置)。

近年来由于船用微机技术的发展，其高速度的扫描和软、硬件设计的可靠性，在很大程度上弥补了传统的电子器件扫描型监视报警装置的缺点，加以国内外微机器件价格的大幅度下降，给扫描型监视装置的发展带来了生机。此外，由于微机的采用，其运算处理、储存功能大为增加，这就为从对船舶机舱运行参数的单值监测发展到对机舱系统的故障诊断带来了可能。因此可以预料，微机的扫描型监视报警装置(包括简易常规功能的和带故障诊断型的)将迅速获得发展和应用，对大型的内河船舶而言更是如此。

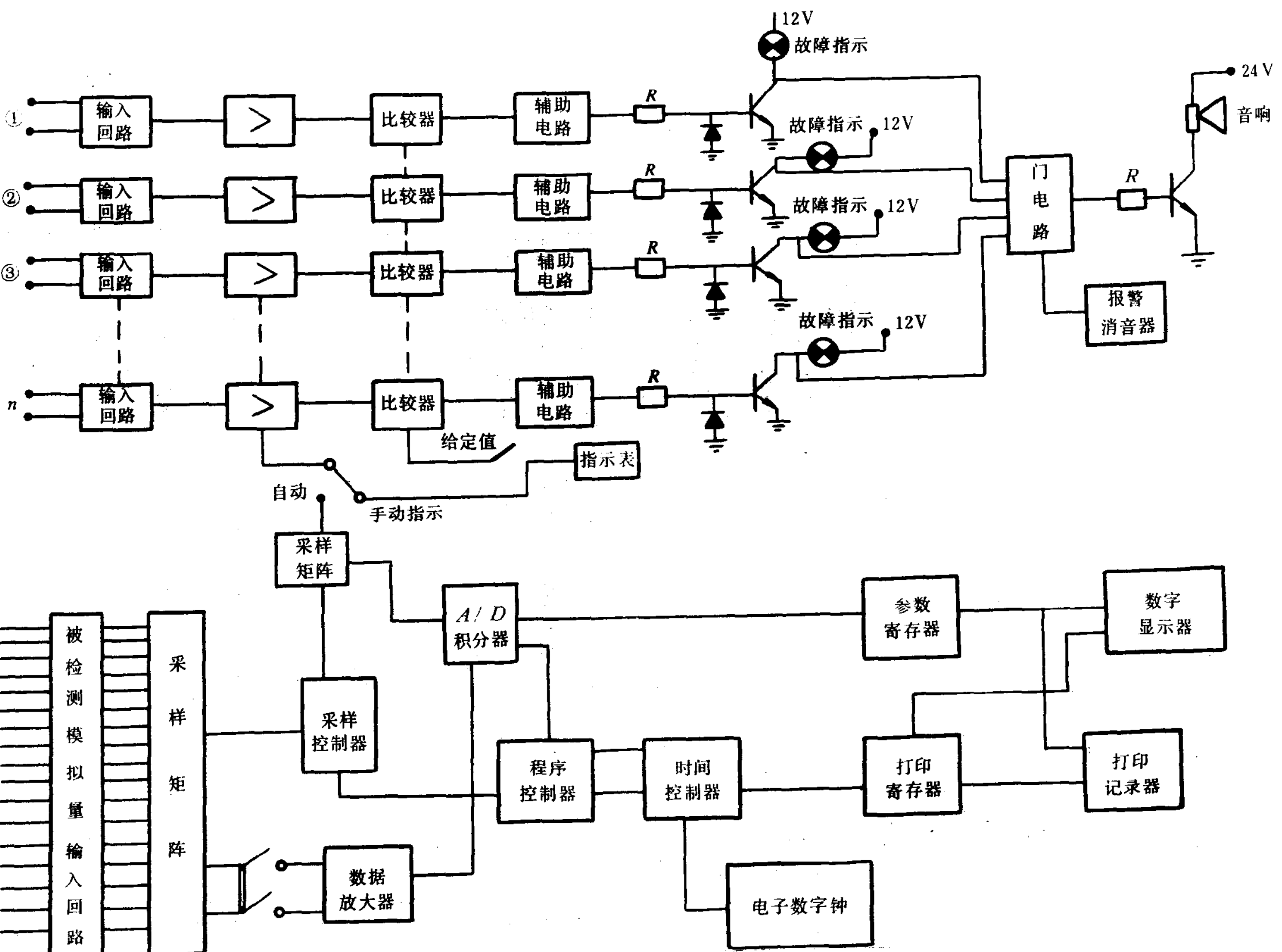


图 9.5.7—3 连续—扫描混合型的监视报警装置结构框图

2 CBJ－1A 型组合报警监视装置

CBJ－1A 型组合报警监视装置是一种连续监视型监视报警装置。开关量模拟量输入兼容、具有越限报警及参数测量 2 种功能。装置采用多通道并联结构及插入模件形式，适用于各类不同要求的自动化船舶机舱（包括经适当扩展后，适合无人值班机舱要求）。由于其结构紧凑、体积小、通用性强、功能组合扩充灵活、便于批量生产、价格低廉故对各类内河船舶尤为适用。

2.1 组　成

CBJ－1A 型装置本体由 Ⅰ 型主机箱、Ⅱ 型主机箱和电源箱 3 部分组成，图 9.5.7－4 为其组成示意图。

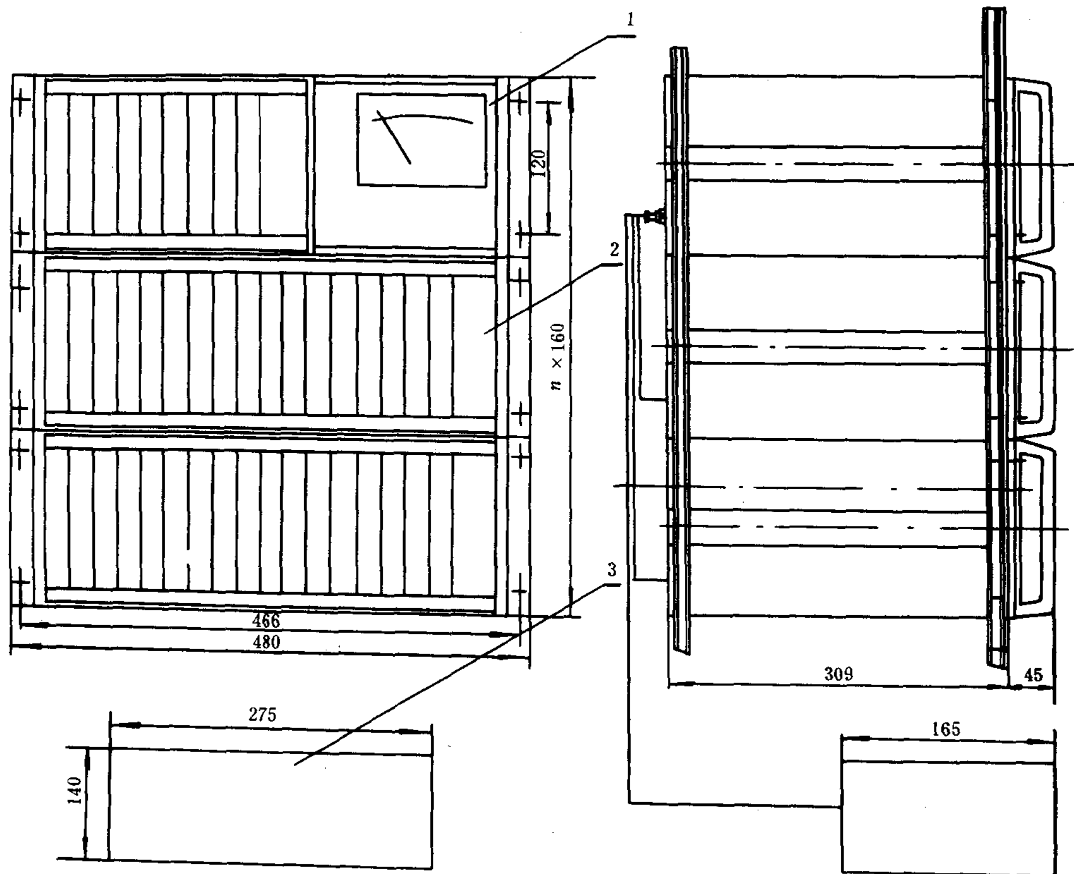


图 9.5.7－4 CBJ－1A 组合报警监视装置组成示意图

1－Ⅰ型主机箱；2－Ⅱ型主机箱；3－变压器箱

Ⅰ 型主机箱包括显示表头公用部件及 18 个通道，它与电源箱一起即可组成具有 18 个监视点的报警监视装置本体。Ⅱ 型主机箱无公用部件，而仅含 32 个通道，用于报警通道的扩展。一个电源箱及一个 Ⅰ 型主机箱，最多可再扩展带 2 个 Ⅱ 型主机箱，此时便组成了 CBJ－1A 装置的最大本体。因此，作为 CBJ－1A 装置的本体，可分为监视点 84 点（一个 Ⅰ 型主机箱、二个 Ⅱ 型主机箱、一个电源箱）、52 点（一个 Ⅰ 型主机箱、一个 Ⅱ 型主机箱、一个电源箱）及 18 点（一个 Ⅰ 型主机箱、一个电源箱）3 种。通常内河船舶（不论单主机还是双主机）在这 3 种以内选择

已足够，对需要大于 84 点的特殊场合，可以采用 2 个本体来解决。

CBJ－1A 装置的本体，加上根据用户需要的其它单元（设备）组成了一个监视报警系统，图 9.5.7－5 为其可扩充成的系统示意图。

用户可根据需要选择有关扩充单元，以满足包括无人值班机舱在内的自动化机舱要求。考虑到国内大量的船舶自动化要求以一人值班机舱为主，故作为 CBJ－1A 装置的基本型系统，仅配带一个输出报警单元 B、一个（延时）音响单元、一个主控站音响单元及一个机舱报警单元。图 9.5.7－6 为此基本系统的电气外接线图（电源箱及 Ⅱ 型主机箱接线未画出）。

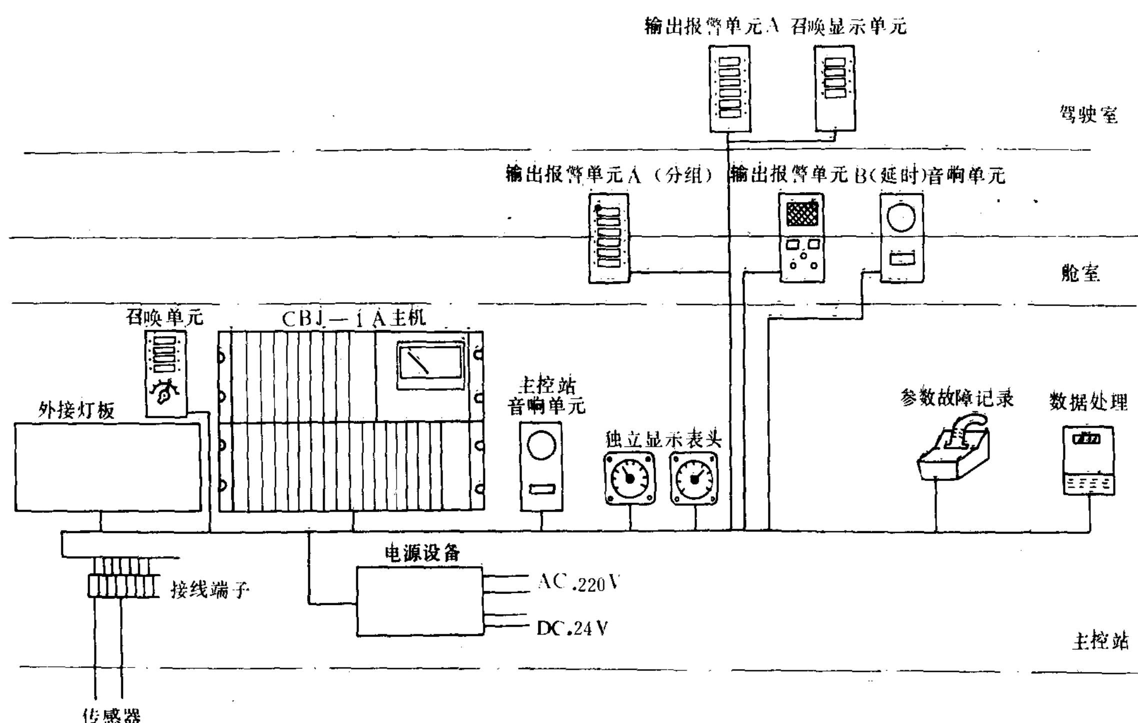


图 9.5.7－5　CBJ－1A 组合报警监视装置系统示意图

CBJ－1A 装置主机箱采用柜式和台式二用标准机箱，图 9.5.7－7 为其 Ⅰ 型主机箱的装配示意图。由图可见，其面板由“显示及公共部分”部件、中央通道板、报警通道板组成。

“显示及公共部分”部件的作用是：

1）提供 CBJ－1A 装置所需的各挡电源、总电源开关。

2）提供报警、延时报警、失电报警讯号及消声功能。

3）提供公共显示表头，用于对各模拟量通道的参数值进行测量显示。

中央通道板的作用是：

1）提供装置所需的快、慢 2 种闪光源及闪光故障报警。

2）提供转速检测讯号，用于转速闭锁。

3）提供 0～50mV（0～5V）的自校信号源，用于对报警通道板进行自校。

报警通道板是 CBJ－1A 装置的核心，其作用是对被监视点进行讯号的放大、鉴别和报警处理。报警通道板分为模拟量通道板和开关量通道板 2 种，前者又分为低电平模拟量通道板和高电平模拟量通道板 2 种。

低电平模拟量通道板接收 0～50mV 的讯号输入，并可专用于配热电阻、热电偶等温度传感器。

图 9.5.7−6 CBJ−1A 装置基本系统电气外接线图

注:当变压器使用B型时,应急入装置由用户解决,系统仅有220V输入。

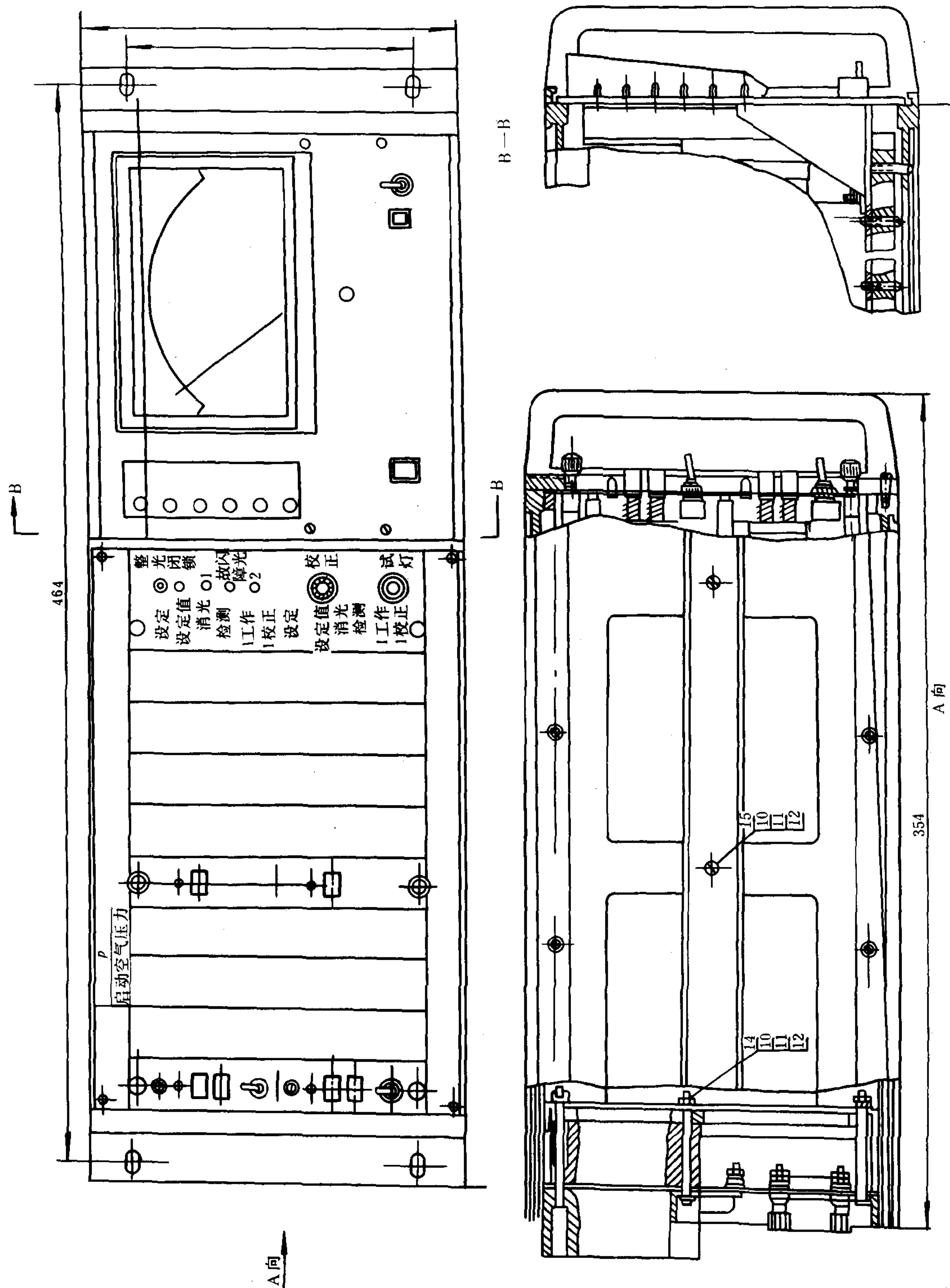


图 9.5.7－7　CBJ－1A 装置Ⅰ型主机箱装配示意图

高电平模拟量通道板接收 0～5V 的讯号输入，并可专用于配 CY1－17 等压力传感器。

开关量通道板接收开关量(常闭或常开接点)讯号。

每一块报警通道板上安装 2 个同类型的通道，亦即可监视 2 个点。报警通道板可以插入主机箱报警通道上的任一位置，不论它是何种类型的通道板，只要接入相对应的传感器即可正常工作。

中央通道板、模拟量报警通道板和开关量报警通道板的面板示意图，如图 9.5.7—8 所示。

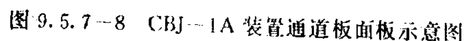


图 9.5.7—8 CBJ—1A 装置通道板面板示意图

2.2 主要技术性能

2.2.1 信号输入

1)低电平输入

0～50mv(通道板代号:CBJ－1A－MD)

2)铜电阻输入

G:0～100℃(通道板代号:CBJ－1A－MD 0～100℃)

3)热电偶输入

EA－2 0～600℃(通道板代号:CBJ－1A－MD 0～600℃)

4)高电平输入

0～5v(通道板代号:CBJ－1A－MG)

5)开关量输入

常闭触点(通道板代号:CBJ－1A－K)

通常配用的传感器为:铜热电阻、镍铬一考铜热电偶、TDZ－2 压力变送器、CY1－17 压力传感器及其它开关量传感器。

2.2.2 报警

1)报警形式

声响 消音 声灭

故障 快闪光 消光 平光 故障消除 灯灭

故障消除→慢闪光 消光 灯灭

任一被监视点均能独立完成上述功能、互不干扰。

2)闪光频率

快闪:1.6 次/s 占空比 1:2

慢闪:0.8 次/s 占空比 1:4

3)报警精度 2.5 级

4)报警回差 2%～4%满量程

5)报警输出

(1)瞬时报警(公共)输出

常开触点一付 AC220V、7A(阻性)

(2)延时重复报警(公共)输出

当瞬时报警 30～180s(可调)后仍无人消音,则重复报警继电器接通:常开触点一付 AC 220V、7A(阻性)

(3)报警(单独)输出

每一被监视点在报警时,均有一付隔离的常开触点输出(容量:DC12V、50mA)。

此 3 种不同功能的报警输出,可用于分组报警、控制、打印记录等多种功能扩展。

6)开关量通道报警延时

有 3 种可选:瞬时 0.2s、短延时 5s、长延时 15s 和 30s。

7)具有报警门限显示

8)具有闭锁输入端

由外部提供一付触点,当此触点闭合时该监视点自动退出报警(触点容量应大于 DC12V、0.1A)。

2.2.3 测量

1)所有被监视的模拟量点,可由装置本身实现选点表头显示。

2)测量显示精度 2.5 级

3)每一模拟量监视点经装置处理后均有 0～5v 的电压输出(负载电阻 1kΩ),可作外接表头连续显示或数据处理等功能扩展用。

2.2.4 自校及电源

1)自校

(1)主机箱可分别试灯

(2)各监视点报警设定值可作校正试验

(3)各监视点的报警及测量可作全功能自校(CBJ－1A 装置内带 0～50mv(0～5Ω)可调自校电源)。

2)闪光电源切换

具有 2 路闪光电源，当主闪光电源故障时，后备闪光电源自动投入并报警指示。

3）电源

交流　220V±10% 50～60Hz±5%

直流　24V±20%

功耗　静态＜100W（86 个点其中 2/3 模拟量、1/3 开关量）、一箱试灯时＜150W

电源的变压器箱分为 2 种：

（A）型变压器箱具有应急电源自动投入功能，此时其输入电源要求为：AC220V 及 DC24V2 路。（B）型变压器箱无应急电源自动投入功能，此时变压器箱电源仅有 AC220V 一路输入。

2.3 基本工作原理

CBJ－1A 装置系多通道组合式报警监视装置，可以用其一个模拟量通道来说明其工作原理（见图 9.5.7－9）。

由传感器测出的被监视点的信号，经变换成 0～50mv 后（对铜热电阻信号 CBJ－1A 装置的通道板上本身带电桥电路），至图 9.5.7－9 所示的信号输入端，经滤波放大后统一转换成 0～5v 的电压信号，其一路供参数输出（测量、数据处理用），另一路送至电压比较器与人为设定的门限值（即报警设定值）进行比较，当越限时继电器 J 通电将此报警讯号送入报警处理电路。报警处理电路的逻辑电路图如图 9.5.7－10 所示。

对高电平模拟量通道而言，图 9.5.7－9 内放大器的放大倍数为 1。对开关量通道而言，则是将传感器的接点信号经延时后直接控制继电器 J，因此各种报警通道板基本上统一，便于制作维修。

中央通道板产生快闪（F.F）、慢闪（S.F）信号、闭锁信号、自校信号等，并接受各报警通道板来的报警信号，经放大后驱动音响器。

2.4 使用及维护

2.4.1 使用调整

1）显示及公共部分

（1）面板右下侧设总电源开关一只，接通时左上侧各挡电源指示灯亮，任一挡电源失电时即发出警报并使该路指示灯熄灭。

（2）面板上方设 0～5V 公共电压表一只，用于对各模拟量通道的参数值进行测量显示。

（3）面板下方设按钮一只，用于报警消音。

2）报警通道板（参见图 9.5.7－8）

（1）设定电位器

该电位器可用小螺丝刀调节，用于在 5%～95%量程内任意设定报警门限，此时如同时揿下“设定值”按钮便可在公共表头上读出其门限值。

（2）设定值/消光按钮

此按钮有 2 个作用。其一是读出报警门限（见（1）），其二是作“光应答”：即当该被监视点发生故障此按钮上方的指示灯呈快闪时，按下此按钮，指示灯便转为平光；当该指示灯呈慢闪时，按下此按钮，指示灯便熄灭。

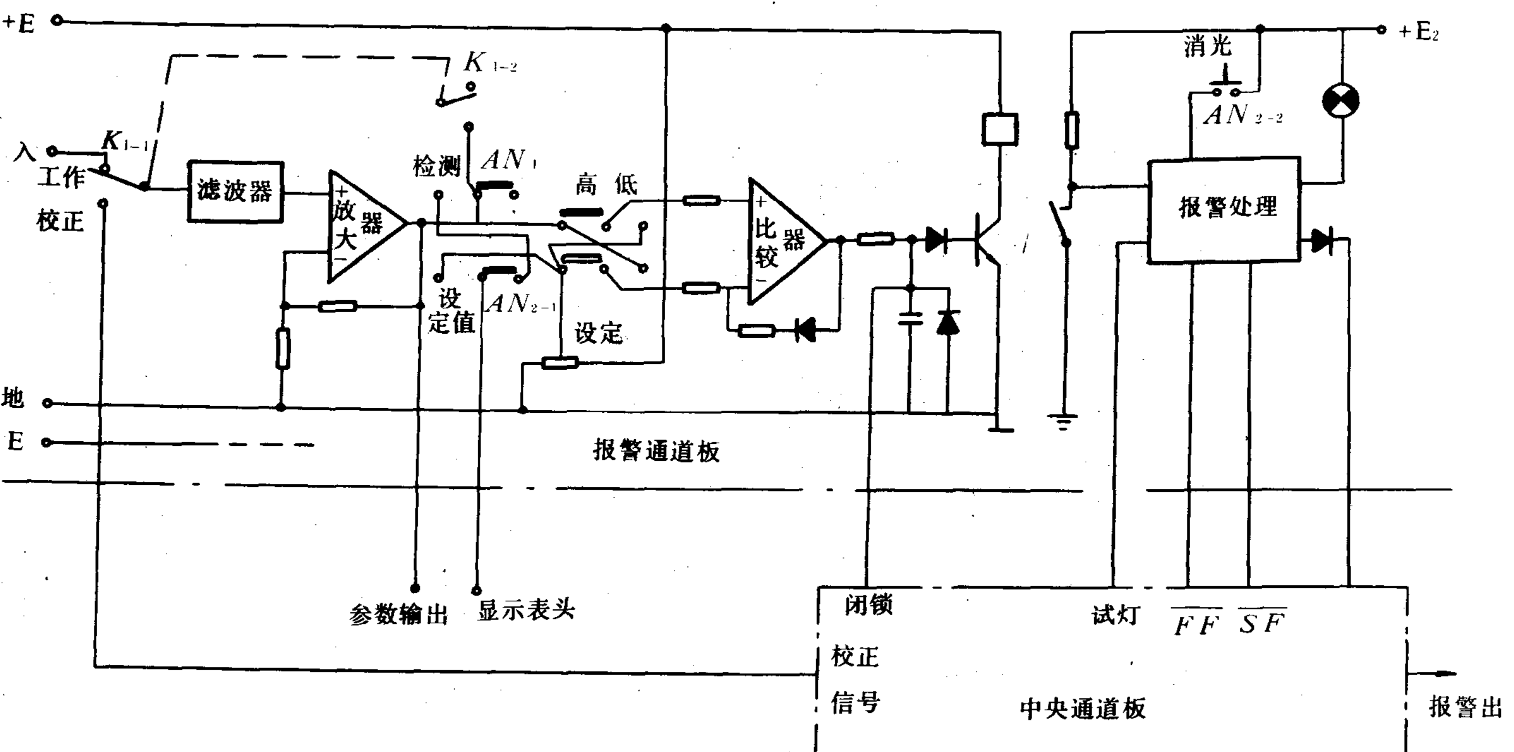


图 9.5.7—9 低电平模拟量通道工作 原理图

注:① 按下 AN1 可在公共显示表头上测量该点的参数值。

② 按下 AN2 可在公共显示表头上测量该点的报警设定值,并使该报警点消光。

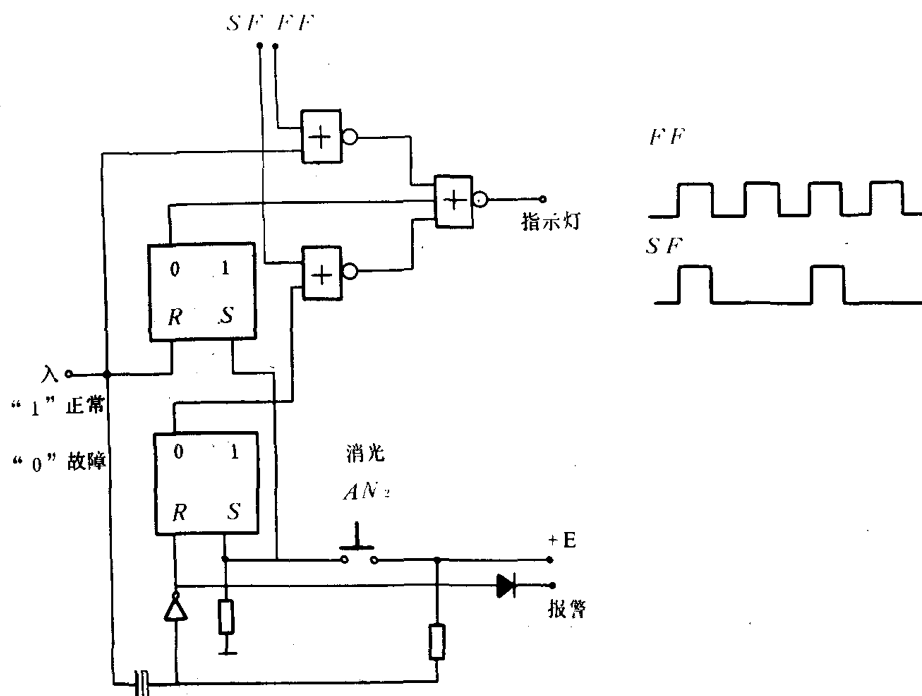


图 9.5.7—10　报警处理电路逻辑电路图

(3)检测按钮

按下此按钮可在公共显示表头上读出该极监视点的参数值(或自校状态下的自校信号值)。应注意不要同时按几个通道板上的这个按钮,否则表头指示值不准。

(4)工作校正开关

当装置处于工作状态时,应将此开关扳向"工作"位置,此时该通道所接的传感器被接入。当开关扳向"校正"位置时,传感器被切除,此时便可对该通道进行自校。

(注:对开关量通道板仅有上述(2)。

3)中央通道板(参见图 9.5.7—8)

(1)整定闭锁

它包括一只闭锁值整定电位器及一只闭锁指示灯。

(2)闪光及闪光频率指示灯

正常时绿色指示灯闪光 1、闪光 2 均闪光,当有一个闪光源故障时其闪光灯灭。发出警报、红色故障指示灯亮,而另一闪光源便自动投入工作状态。

(3)校正电位器

用于改变机内供自校用的校正信号的大小。

(4)试灯按钮

按下此按钮时,同一主机箱内的所有通道报警指示灯均发闪光并发出报警声,用于检查报警处理电路工作是否正常。

4)自校

将模拟量通道板上的工作/校正开关扳向"校正"位置,此时机内校正信号便接入该通道,将校正信号电位器由零逐渐旋大,公共表头上的指针将由零指到满程,并且装置能在该通道的

报警设定值附近发出声光报警。报警的回差约为2%～4%。此项自校工作应对各通道分别进行，否则读数不准。通过“自校”可以判断装置内除传感器以外所有电路的工作是否正常。

5)自动闭锁

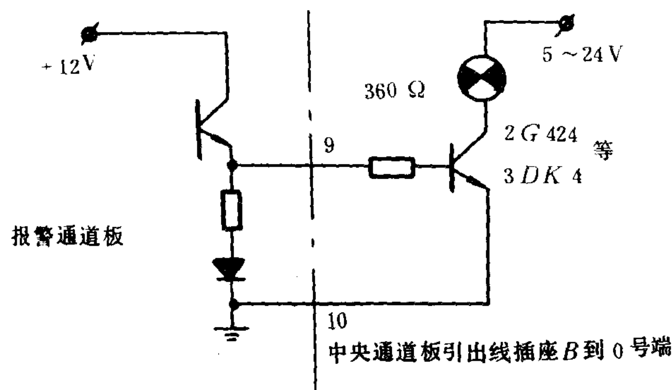


图9.5.7—11　指示灯扩展接线图

本装置具有自动闭锁功能，每一个通道都有一个闭锁输入端(引出线编号5)，当该端与地线(编号0)短接时，报警即被抑制，但此时参数输出等功能仍保留。在每个主机箱的中央通道板内设立了一个转速闭锁环节可供使用，其输入信号为电压(一般来自直流或交流测速发电机)，当主机(或辅机)转速(电压)升高到一定值(通过“闭锁整定”电位器调节)就自动开放该主机箱上某些闭锁点。由于设有上述自动闭锁功能，就可在主机(或辅机)停转时，使某些点(如滑油压力)不发生误报警。

6)输出报警及外接指示灯

除图9.5.7—6所示的基本系统外，本装置还提供了带其它外接设备的可能。

每一监视点均有一故障触头输出(引出线编号7、8)，可外接打印机等设备。

每一监视点有一指示灯输出端(引出线编号9)，可以作扩展指示灯用(见图9.5.7—11)。

2.4.2　故障排除

若某报警通道故障，可按下述步骤检查排除：

1)将该通道板的面板上的工作/校正开关置于“校正”位置，用自校方法判断：若一切正常，说明故障不在装置本身而在传感器或其引线。

2)若自校时，随自校电位器从零增大，公共表头指针不能从零逐渐指到满程，说明该通道放大器损坏，通常是线性集成电路损坏。

3)若放大器正常，但在自校到报警设定值附近时不能报警，则说明是该通道的比较器IC4、三极管IC3或继电器J有损坏。

4)若在进行“试灯”时，该通道不能完成报警处理的正常逻辑功能，则说明其报警处理电路部分有故障，此时可按表9.5.7—5所列之真值表作进一步检查，从而确定其故障所在。

3　CBJ—1B型组合报警监视装置

CBJ—1B型组合报警监视装置是CBJ—1A型装置的改进型。其安装方式、外部接线方式与CBJ—1A型一致，因此用户可以不必作更动就直接换用。

CBJ—1B装置在结构组合的安排、功能的扩展、技术性能的改进等方面均比CBJ—1A型装置有所提高。兹将CBJ—1B装置与CBJ—1A装置的主要区别分述于如下：

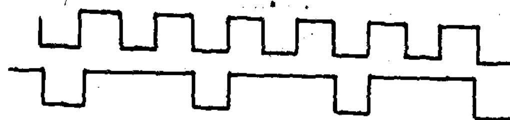
表 9.5.7－5　　**CBJ－1A 装置报警处理电路真值表**

电路编号	IC_1 HF_1 (CO39)						IC_2 HF_2 (CO39)						
电路引出脚号	13 1	2	3	12 8	9	11 10	1	9 6 2	4 3	11 5	8	10	13 12
正常	1	$\overline{FF}$	0	1	0	0	0	1	0	0	0	$\overline{SF}$	1
故障	0	$\overline{FF}$	FF	1	0	0	0	0	1	Ω	SF	$\overline{SF}$	*L L*
消光	0	$\overline{FF}$	FF	0	Ω	1	Ω	1	0	0	0	$\overline{SF}$	1
故障消除	1	$\overline{FF}$	0	1	0	0	0	1	0	0	0	$\overline{SF}$	1
故障消失	1	$\overline{FF}$	0	1	0	0	0	0	1	0	SF	$\overline{SF}$	1
消光	1	$\overline{FF}$	0	U	Ω	0	1	Ω	0	0	1	$\overline{SF}$	1

说明：电路 7 脚接地 14 脚接＋12V

1 表示高电平＋12V(或接近 12V)

0 表示低电平 0V(或接近 0V)



3.1　结构与组成

3.1.1　CBJ－1B 型装置与 CBJ－1A 型装置在宽度和高度上相同，而在深度上由于采用了新型电子器件，加以印板排列密度上的提高使之比 1A 型缩短了约 20%，从而提高了机箱的抗震性并有利于在整个控制台上的合理安装。

3.1.2　由于电路上的改进并采取了电源分箱设置的办法，使原 CBJ－1A 型中电源箱内的变压器取消，其逆变器亦同时取消，从而使电源箱仅作为提供低压直流电源以及实现交－直自动转换用。通常 CBJ－1B 型的电源箱装于控制台的内部，而与 CBJ－1B 型装置的主机箱(装于控制台表面)分设。

3.1.3　主机箱与 CBJ－1A 型一样分为 Ⅰ 型箱和 Ⅱ 型箱，但 CBJ－1B 型的 Ⅰ 型箱上除显示单元外其报警通道增加了 6 个，而其 Ⅱ 型箱的报警通道比 CBJ－1A 型少了 2 个。因此 CBJ－1B 型组合报警监视装置的本体可分为监视点 22 点(一个 Ⅰ 型主机箱、一个电源箱)、54 点(一个 Ⅰ 型箱、一个 Ⅱ 型箱、一个电源箱)以及 86 点、118 点……等等(由于电源箱分设，其容量不受 Ⅱ 型箱数的限制)。可见，就其监视点数的选择而言，CBJ－1B 型装置具有比 CBJ－1A 型装置更大的范围。

3.1.4　为了提高用户选择的灵活性、扩大适用范围，在通道板(即插入单元)的组成上 CBJ－1B 型与 CBJ－1A 型相比：

1)将 1A 型中央通道板中的转速闭锁环节分出，另行增设独立的转速连锁单元板。

2)将 1A 型显示及公共部分中的稳压电源环节分出，另行增设独立的稳压单元板。

3)增设分组集合单元

每个分组集合单元内含有相同的 2 组，每一组可将具有某一共性(如属同一重要性或同一设备等等)的有关监视点(≤8 点)组合后，通过一对常开触点输出，以便用户按扩展功能的需

原书缺页

续上表

号	名　称	规　格	配用传感器
MD	模拟量低电平报警单元	Cu53	铜热电阻　Cu53
		Cu50	铜热电阻　Cu50
		Pt100	铂热电阻　Pt100
		0～50mv	0～50mv 输出变送器
		热电偶　EA－2	镍铬－考铜
		EU－2	镍铬－镍硅

3.2 功　能

3.2.1 由于CBJ－1B型装置的报警单元中增加了铜电阻Cu50、铂电阻Pt100、热电偶EU－2单元板，故与CBJ－1A型相比，其适用范围有所扩大。

3.2.2 CBJ－1B型装置把原CBJ－1A型装置的各报警点同时"试灯"功能改变为报警"全功能"试验。即按下"试验"按钮开关(自锁)，便可对本主机箱内所有报警通道的检测、放大、比较电路以及报警处理电路进行功能试验。当再按此按钮开关使其复位时，便能使被试验的电路自动恢复正常工作状态(CBJ－1A型装置需要各点逐一复位，故在操作上带来不便)。试验时所有远传报警不会动作，对于处于闭锁状态的各点要在其闭锁解除后，才能使对其试验有效。

注意：此"试验"不应长时间进行，且不应对各主机箱同时进行，以免电源过载。

3.2.3 鉴于CBJ－1A型报警通道板上所选之工作/校正开关因质量问题经常误动作，故CBJ－1B型已将此开关取消，并因此取消CBJ－1A型装置内原设的0～50mV(0～5V)自校电源及其相应的"各监视点报警设定值校正"功能。

3.2.4 增设"分组集合"功能。

3.3 技术性能

3.3.1 电源部分作了2项改进：一是电压种类减少，二是以开关式稳压代替比例式稳压，从而降低了电源的功耗、提高了稳压精度(特别是对供传感器的＋8V电源)。后者有利于系统精度的提高。

3.3.2 信号输入放大器电路由CBJ－1A型的单端输入改为双端同相正端输入，这样既改善了线路阻抗对放大器的不良影响，对热电阻单元而言又可不必采用各自的隔离电源，从而提高了放大器的精度并简化了电源。

3.3.3 检测、放大、比较鉴别电路均改用双列直插的四运放324电路。

由于采用上述技术性能改进措施，使CBJ－1B型组合报警监视装置的测量和报警精度，由CBJ－1A型的2.5级提高到1级(10～40℃时)或1.5级(0～55℃)。

图9.5.7－13为CBJ－1B装置通用电路方块图，图9.5.7－14为其低电平模拟量通道测量鉴别部分的电原理图。

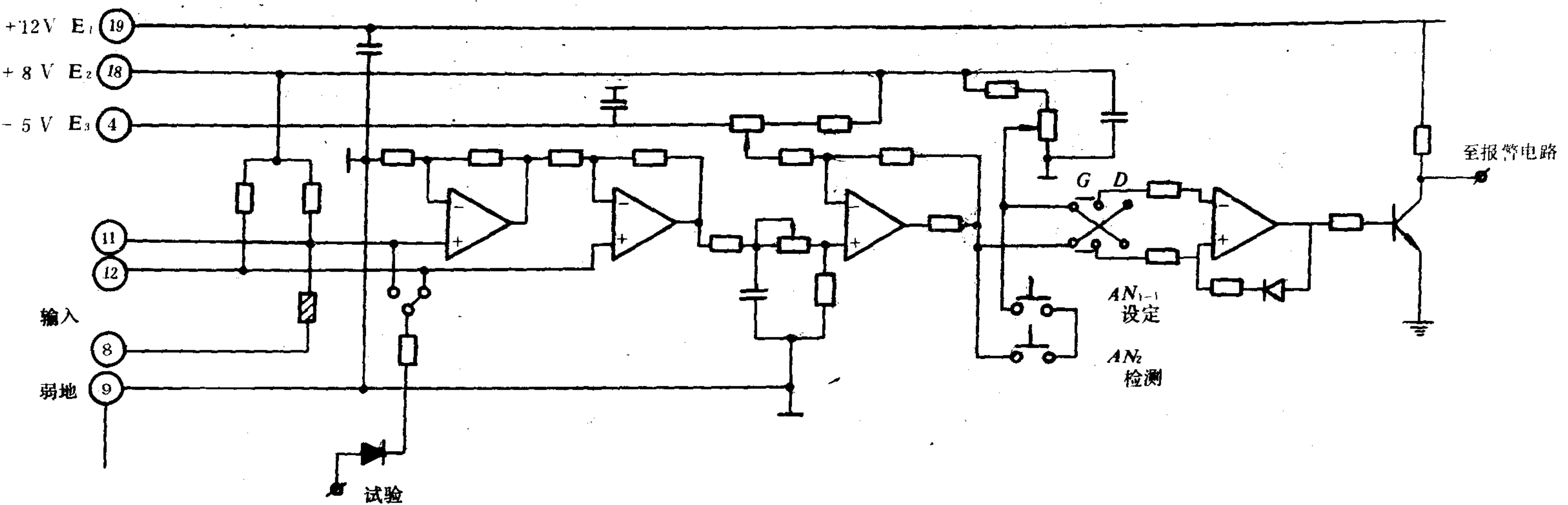


图 9.5.7-14 CBJ-1B 装置低电平模拟量通道(测量鉴别部分)电原理图